

Matériaux superficiels et paléogénèse dans la région de Marrakech (Maroc)



R. Moreau

**TRAVAUX
ET DOCUMENTS
DE L'O.R.S.T.O.M.**

ÉTUDE DES MATÉRIAUX SUPERFICIELS DANS LA RÉGION
DE L'OUED TENSIFT AU NORD DU HAOUZ DE MARRAKECH



R. Moreau



**ÉDITIONS DE L'OFFICE
DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
ET TECHNIQUE OUTRE-MER**

Pour tout renseignement, abonnement aux revues périodiques, achat d'ouvrages et de cartes, ou demande de catalogue, s'adresser au :

SERVICE DES PUBLICATIONS DE L'O.R.S.T.O.M.
70-74, route d'Aulnay - 93140 BONDY (France)

Les paiements sont à effectuer par virement postal au nom de *Service des Publications de l'ORSTOM*, C.C.P. 22.272.21 Y PARIS, (à défaut par chèque bancaire barré à ce même libellé).

TRAVAUX ET DOCUMENTS DE L'O.R.S.T.O.M.
N° 139

**ÉTUDE DES MATÉRIAUX SUPERFICIELS
DANS LA RÉGION DE L'OUED TENSIFT
AU NORD DU HAOUZ DE MARRAKECH**

DIFFÉRENCIATION GÉOMORPHOLOGIQUE, LITHOLOGIQUE, PÉDOLOGIQUE ET PALÉOGENÈSE

R. Moreau

« La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, « que les «copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées « à une utilisation collective» et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but « d'exemple et d'illustration, «toute représentation ou reproduction intégrale, ou partielle, faite sans le « consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayant cause, est illicite» (alinéa 1er de l'article 40).

« Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une « contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code Pénal».

.....

.....

RESUME

A partir de l'étude morphologique détaillée de huit toposéquences de référence et de l'observation d'un grand nombre de coupes naturelles et artificielles dans la région étudiée, la caractérisation géomorphologique, lithologique et pédologique des matériaux superficiels conduit à distinguer trois générations de dépôts correspondant au trois étages continentaux les plus récents du Quaternaire marocain : Tensiftien, Soltanien et Rharbien. Une typologie des accumulations calcaires est établie pour chaque catégorie de matériaux allochtones ou autochtones, en fonction de la situation topographique et de la texture ; la carapace calcaire tensiftienne est ici étudiée dans sa région éponyme.

L'interprétation paléogénétique des données recueillies, considérées dans un cadre spatio-temporel, permet de proposer un schéma de l'évolution régionale depuis le Quaternaire moyen qui rend compte des caractères actuels observés dans la région considérée. L'auteur envisage trois épisodes de morphogénèse en alternance avec autant d'épisodes de pédogénèse, en relation avec les variations paléoclimatiques. La morphogénèse résulterait de ruptures climatiques, d'origine climatique ou même anthropique, entraînant des phénomènes d'érosion généralisée sur les zones d'amont et d'épandage sur les zones d'aval ; le niveau de base local réglant l'importance de l'accumulation sur les dernières. C'est plus vraisemblablement à l'occasion du passage Pluvial-Interpluvial que s'établirait l'état de crise favorable à la morphogénèse. Au contraire, la pédogénèse nécessiterait le maintien d'un équilibre climacique prolongé, favorisant les processus chimiques et biologiques d'évolution. Les conditions de paléogénèse ne se sont pas répétées identiques à elles-mêmes, et les conséquences des épisodes de morphogénèse et de pédogénèse qui se sont succédés ont diminué d'importance au cours du temps.

ABSTRACT

Starting from the detailed morphological study of eight reference toposequences and the observation of a large number of natural and artificial sections in the region under consideration, the geomorphological, lithological and pedological characterization of the surface materials lead to distinguish three types of deposits which correspond to the three most recent continental formations in the Moroccan Quaternary : Tensiftian, Soltanian and Rharbian. A typology of calcareous accumulations is defined for each type of allochthonous or autochthonous materials in relation to the topography and the texture. The tensiftian calcareous hardpan is analysed in its eponymous zone.

The paleogenetic interpretation of the data gathered in space and time makes it possible to suggest an outline of the regional evolution since the Mean Quaternary which accounts for the current features observed in the region under study. The author considers three stages of morphogenesis which would alternate with so many stages of pedogenesis related to paleoclimatic variations. Morphogenesis would result from climatic or anthropic disturbances in the climax, leading to general erosion of the upstream zones and to dissipation of the downstream zones whose accumulation is controlled by the local basic level. Morphogenesis would be more likely to occur during the evolution from the Pluvial to the Interpluvial. On the contrary, pedogenesis would require the maintenance of a prolonged balance as far as climax is concerned, thus encouraging the chemical and biological evolutionary processes. The paleogenetic conditions did not maintain unchanged and the consequences of the successive morphogenetic and pedogenetic stages lost their importance over the years.

S O M M A I R E

	pages
AVANT-PROPOS	1
INTRODUCTION	3
CHAPITRE I : LES FACTEURS DU MILIEU	13
CHAPITRE II : CARACTERISATION DES MATERIAUX SUPERFICIELS	39
CHAPITRE III : LES ACCUMULATIONS CALCAIRES	89
CHAPITRE IV : ESSAI D'INTERPRETATION A L'EVOLUTION REGIONALE	137
CONCLUSIONS GENERALES	169
A N N E X E : ETUDE DESCRIPTIVE DES TOPOSE- QUENCES DE REFERENCE	175
BIBLIOGRAPHIE	249
PLANCHES - PHOTOS	257
LISTE DES FIGURES	265
LISTE DES TABLEAUX	267
TABLE DES MATIERES	269

AVANT-PROPOS

Cet ouvrage est tiré des travaux de cartographie pédologique qu'il m'a été donné de réaliser dans la région de l'oued Tensift au nord du Haouz de Marrakech, de 1970 à 1973, dans le cadre d'une convention entre la Direction de la Recherche Agronomique du Ministère de l'Agriculture et de la Réforme Agraire au Maroc et l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer en France. Malgré l'arrêt prématuré des travaux, les données recueillies sont apparues suffisamment importantes pour mériter un effort de synthèse et d'interprétation dont je livre ici les résultats.

Je remercie tous ceux qui m'ont aidé dans ma tâche, soit par les moyens de travail qu'ils m'ont procurés, soit par leur engagement personnel dans la réalisation des études, ou bien par les conseils judicieux dont ils m'ont fait bénéficier.

C'est aux populations du Haouz et des Djebilet que je dédie ce travail. C'est un gage de reconnaissance pour l'accueil bienveillant qu'elles m'ont toujours réservé et pour les multiples prévenances manifestées à l'égard de l'étranger que je n'avais point l'impression d'être. Je les remercie pour leur esprit de franche collaboration et pour toutes les choses concernant "leur" terre dont elles ont bien voulu m'instruire.

INTRODUCTION

Les travaux de cartographie pédologique précédemment réalisés dans la région de l'oued Tensift, au nord du Haouz de Marrakech (MISSET et MOREAU - 1971-1972 ; MOREAU-1973), avaient mis en évidence l'existence de plusieurs types de sol développés sur des catégories de matériaux différents. Prolongeant et complétant l'inventaire pédologique dans la région, la présente étude est consacrée aux matériaux superficiels, considérés comme supports et témoins de l'évolution de surface. Cette étude, qui touche à la fois aux aspects géomorphologique, lithologique et pédologique, conduira inévitablement à une évocation de la paléogénèse au cours du Quaternaire. Une meilleure connaissance des conditions d'évolution des matériaux superficiels permettra, en retour, de mieux comprendre la répartition et les caractères des sols existant actuellement dans la région.

Si la connaissance du Quaternaire a connu une progression remarquable au cours des dernières décennies au Maroc, de nombreuses lacunes ainsi que des sujets de controverse demeurent encore (BEAUDET - 1971-1977). Un bref rappel bibliographique, volontairement limité aux aspects intéressant le plus directement notre étude, permettra de fixer, dans ses grandes lignes, le cadre du Quaternaire marocain selon les conceptions actuelles. A la lumière de nos propres résultats, nous aurons l'occasion de voir, par la suite, comment la région de l'oued Tensift au nord du Haouz s'intègre dans ce cadre évolutif général. On peut distinguer trois principaux thèmes, sur lesquels il convient de faire séparément le point des connaissances : les variations paléoclimatiques, la stratigraphie quaternaire et l'interprétation paléogénétique.

Comme dans l'ensemble de l'Afrique du Nord, on reconnaît au Maroc l'existence de *VARIATIONS PALÉOCLIMATIQUES* qui se sont manifestées par une alternance de phases climatiques plus sèches ou plus humides. Les périodes pluviales auraient été contemporaines des périodes glaciaires en Europe (RAYNAL - 1955 ; HERVIEU - 1975). Si l'on admet que les glaciations ont commandé les variations eustatiques, cela implique également une correspondance entre régression marine et Pluvial, d'une part, et entre transgression marine et Interpluvial, d'autre part. Notons que sur les bordures septentrionale et occidentale du Sahara, incluant le Sud-Marocain désertique, la concordance Glaciaire-Pluvial semble se trouver en défaut (ROGNON - 1975; BEAUDET et *al.* - 1976).

D'une façon générale, la persistance d'un climat de type méditerranéen paraît avoir été assurée au cours du Quaternaire, et la zonation climatique serait restée homologue de la zonation actuelle. Les périodes pluviales auraient été sensiblement plus humides qu'actuellement, et la durée des Pluviaux connus aurait progressivement diminué avec le temps (CHOUBERT - 1965 b ; RUELLAN - 1969). Cependant, en raison de la grande diversité du milieu naturel marocain, notamment en fonction de la différenciation du relief et de la géologie, de la proximité de la mer ou, au contraire, de la continentalité, les variations paléoclimatiques n'ont certainement pas connu partout la même ampleur ni induit les mêmes effets (BEAUDET et *al.*, - 1967).

La *STRATIGRAPHIE QUATÉRNAIRE* a fait l'objet de nombreux travaux qui ont conduit à la création d'une terminologie locale, aussi bien pour les formations marines que pour les formations continentales. La stratigraphie marine repose sur l'observation de huit niveaux marins (BIBERSON-1958 ; CHOUBERT- 1965). Si l'eustatisme et l'isostasie expliquent l'étagement de ces niveaux (ARAMBOURG- 1952), ces théories ne permettent cependant pas de rendre compte des différences régionales, parfois importantes, qui existent entre plusieurs secteurs du littoral. Jusqu'à une période récente, la tectonique a vraisemblablement joué aussi, dans certaines régions, un rôle non négligeable vis-à-vis de la différenciation stratigraphique (BEAUDET- 1971 ; WEISROCK et ROGNON- 1977 ; CHI-TRACH HOANG et *al.* - 1978).

La stratigraphie continentale compte sept niveaux de dépôts quaternaires, qui constituent la séquence suivante (CHOUBERT et *al.* - 1956) ; BIBERSON- 1971) :

- | | | |
|--------------------|--------|-------------------------|
| - <i>Rharbien</i> | : | Holocène |
| - <i>Soltanien</i> | : Würm | : Pléistocène supérieur |

- <i>Tensiftien</i>	: Riss] Pléistocène moyen
- <i>Amirien</i>	: Mindel	
- <i>Salétien</i>	: Günz] Pléistocène inférieur
- <i>Moulouyen</i>] Villafranchien	
- <i>Argoubien</i>		

Selon BIBERSON (1971), chaque étage continental serait encadré par deux transgressions marines ; les niveaux marins fixeraient, de ce fait, les limites des principales périodes de la chronologie continentale. La durée des périodes successives et l'importance des dépôts correspondants ont diminué avec le temps, au cours du Quaternaire (CHOUBERT- 1965 b).

Par soucis de clarté et pour ne pas donner d'emblée une valeur interprétative à nos observations, nous n'utiliserons pas, au cours de l'étude descriptive dans ce travail, les termes classiques de la stratigraphie continentale. Les différentes formations distinguées seront simplement repérées par un numéro d'ordre, qu'il s'agisse des terrasses fluviales (T₁, T₂ et T₃) ou des épandages alluviaux (G₁, G₂ et G₃). Ce n'est qu'au dernier chapitre, consacré à l'interprétation paléogénétique, qu'on établira les correspondances suivantes :

<u>terrasse</u>	<u>glacis</u>	<u>étage continental</u>
T ₁	G ₁	<i>Rharbien</i>
T ₂	G ₂	<i>Soltanien</i>
T ₃	G ₃	<i>Tensiftien</i>

Seuls les trois étages les plus récents du Quaternaire continental : Tensiftien, Soltanien et Rharbien, se trouvent directement concernés dans le cas de notre étude. On se bornera à présenter ici les caractères les plus généraux habituellement reconnus pour chacun de ces étages, d'après BEAUDET (1971) et BIBERSON (1971), assortis de quelques données isotopiques obtenues sur des matériaux qui leur sont attribués .

Tensiftien

La région de l'oued Tensift au nord de Marrakech a servi d'éponyme au Tensiftien. Selon les auteurs ayant créé ce terme (CHOUBERT *et al.*- 1956) : "on peut proposer le glacis des Djebilet (suivi par la grande route de Marrakech) et l'appeler Tensiftien, de l'oued Tensift, qui draine la plaine de Marrakech (Haouz)".

Le Tensiftien se place entre les transgressions anfa-tienne (250.000 ans) et ouljienne (75.000 ans).

Les dépôts tensiftiens, bien représentés dans les zones à climat semi-désertique ou subdésertique, apparaissent généralement constitués d'un matériel assez grossier. Des encroûtements bien développés caractérisent cet étage qui aurait connu une profonde altération physico-chimique. En montagne, les cailloutis péri-glaciaires s'observent à des altitudes plus basses que celles du Soltanien ; le climat y aurait été également plus froid qu'à l'Amirien.

Soltanien

Les transgressions ouljienne (à partir de 75.000 ans) et mellahienne (6.000 ans) encadrent le Soltanien. Les datations absolues concernant différents matériaux présumés soltaniens s'échelonnent entre \geq 40.000 ans B.P. et 10.000 ans B.P. (ROCHE- 1958-1959 ; ENNOUCHI- 1966 ; CHUBERT *et al.* 1957 ; DELBRIAS *et al.*- 1976).

Les "limons rouges récents" caractérisent le Soltanien. En fait, la granulométrie de ces dépôts peut varier dans de larges proportions, en fonction des situations topographiques et de la nature des matériaux d'origine. La teinte n'est pas non plus un caractère constant et peut varier du brun au rose selon les régions. L'accumulation calcaire demeure discrète (amas et granules) et ne constitue généralement pas de véritables encroûtements.

Rharbien

Faisant suite à la transgression mellahienne (6.000 ans B.P.), les dépôts rharbiens recouvrent des vestiges puniques, des ruines romaines et des restes musulmans. Les témoins archéologiques joints à plusieurs datations absolues indiquent un âge s'étendant de 5.000 ans B.P. à 200 ans B.P. (GIGOUT- 1959 ; LE COZ- 1960 ; DELBRIAS *et al.*- 1976).

Les dépôts rharbiens présentent un faciès assez semblable dans toutes les régions : ce sont les limons gris ou beiges des basses terrasses. Peut-être suscitée à l'origine par un assèchement néolithique ou protohistorique, l'accumulation récente des dépôts rharbiens pourrait résulter d'une érosion d'origine anthropique.

C'est certainement au sujet de l'*INTERPRETATION PALEOGENETIQUE* que la controverse entre auteurs s'est faite la plus vive. Les rapports entre les variations climatiques et les phénomènes de morphogénèse et de pédogénèse ne sont pas encore clairement établis, et les théories proposées pour l'explication des faits divergent selon les travaux considérés.

Selon la conception dite "classique", qui s'est développée à partir des années 1950 (CHOUBERT- 1953-1957-1965 a et b ; RAYNAL- 1955 ; CHOUBERT et *al.*- 1956 ; GIGOUT- 1957-1959 ; GIGOUT et RAYNAL- 1957-1959), la paléogénèse continentale s'est essentiellement manifestée par une alternance de phases d'alluvionnement et de creusement. N'observant pas de raccordement entre les terrasses fluviatiles et les plages marines, les auteurs considèrent que la mise en place des alluvions serait contemporaine de mers régressives et correspondrait donc aux périodes pluviales, tandis que le creusement des oueds se serait produit au cours des Interpluviaux. Dans ces conditions, la terminologie appliquée aux dépôts continentaux pouvait être étendue aux Pluviaux, et le même nom a été effectivement employé pour désigner le niveau stratigraphique ou le Pluvial correspondant. La couleur variable des sols (rouge, sombre ou claire) résulterait de modifications de la pédogénèse, dans des conditions climatiques différentes de celles du climat actuel (PUJOS- 1957 ; DIVOUX et PUJOS- 1959 ; RAYNAL- 1962). Certains traits caractéristiques du sol, comme la rubéfaction, reflèteraient les conditions climatiques existant au moment de la mise en place des matériaux. Les croûtes calcaires correspondraient à des dépôts de périodes fini-pluviales, sous l'effet de l'alternance saisonnière du ruissellement et d'une intense évaporation.

Une série d'études nouvelles est venue, par la suite, élargir le champ des connaissances, en s'opposant sur certains points d'importance à la conception classique. D'abord, l'étude morphologique des basses vallées exoréïques a établi, dans plusieurs cas, l'existence de raccordement entre les anciens niveaux fluviales et les anciennes plages marines (BEAUDET et *al.*- 1960-1964 ; BEAUDET et MAURER- 1961). Plus généralement, les terrasses fluviatiles se trouvent perchées au-dessus des embouchures, et il est difficile dans ces conditions de les raccorder à des mers régressives. Ensuite, l'importance des migrations latérales, de l'amont vers l'aval, comme facteur de différenciation des sols, a été mise en évidence (RUELLAN- 1965-1970 ; HUBSCHMANN- 1967-1971) ; qu'il s'agisse du déplacement des matériaux : phénomènes d'héritage, matériaux lithochromes par exemple, ou bien de la migration des solutions transportant les sels dissous qui conduit à la formation d'horizons d'accumulation dans les sols des zones aval.

Les travaux de RUELLAN (1965-1969) ont éclairé d'un jour nouveau les implications bioclimatiques de la pédogénèse et mis en relief l'importance des sols en tant que témoins significatifs des conditions de paléogénèse. Cet auteur considère que plusieurs des processus ayant marqué les sols du Maroc : évolution du profil calcaire, rubéfaction, évolution des minéraux argileux, certaines formes d'hydromorphie, sont des processus très lents qui n'ont pu se développer que pendant de longues périodes de stabilité

biostasique : couvert végétal dense, transports faibles sur les pentes. Il conviendrait donc de séparer dans le temps les phases de morphogénèse et celles de pédogénèse.

Cet ensemble d'observations et de considérations nouvelles devait aboutir à la proposition d'une hypothèse plus régionaliste (BEAUDET et *al.*- 1967 ; RUELLAN- 1969 ; BEAUDET- 1971), pour l'interprétation des conditions de paléogénèse. Comme pour la conception classique, dans les régions de haute montagne soumises au froid intense, la morphogénèse résulterait de périodes pluviales. Dans les montagnes moyennes, où ni le froid ni la sécheresse n'ont jamais été assez sévères pour réduire la végétation, la morphogénèse a été réduite et la pédogénèse se serait poursuivie tout au long du Quaternaire. Dans les autres régions, la mise en place des bassins d'envoyage et des glacis d'érosion a dû se faire en présence d'une végétation clairsemée, sous climat semi-aride, au cours des interpluviaux. Les grands processus de pédogénèse indicateurs de climat (rubéfaction, accumulation calcaire...) se seraient, au contraire, développés pendant les Pluviaux. Dans ces régions, la morphogénèse serait donc interpluviale et la pédogénèse pluviale.

Une redéfinition des cycles climatiques du Quaternaire continental marocain, permettant de conserver le cadre classique de l'ancienne nomenclature pour intégrer l'ensemble des observations nouvelles, a été présentée plus récemment par BIBERSON (1971). En prenant pour base les variations eustatiques, cet auteur précise que *"la césure entre cycles continentaux se placera au maximum transgressif, correspondant au maximum d'un interglaciaire"*, et il ajoute que *"les phénomènes continentaux d'érosion et d'accumulation pourront indifféremment, selon les diverses régions, se situer soit au début, soit au milieu, soit à la fin d'un cycle climatique, ce qui donnera satisfaction à toutes les tendances qui se manifestent dans l'interprétation de certaines coupes controversées"*.

D'autres travaux sont encore venus approfondir la connaissance du Quaternaire marocain au cours des dernières années (BEAUDET- 1977). Ces études n'apportent cependant pas d'éléments fondamentalement nouveaux, susceptibles de trancher le débat de façon définitive, en particulier au sujet de la question capitale des corrélations entre formations marines et continentales. Elles viennent, toutefois, renforcer l'idée que la grande diversité du milieu marocain ne peut guère s'accommoder d'une théorie globale, applicable à l'ensemble du pays. La variété des cas observés en différentes situations géographiques paraît en effet importante ; et même sur un plan régional, les phénomènes de paléogénèse semblent avoir été beaucoup plus complexes que ne saurait l'exprimer la conception rigide des cycles clas-

siques : Pluvial-Interpluvial ou transgression-régression (WEISROCK et ROGNON- 1977).

Si la région étudiée a effectivement servi d'éponyme à l'étage tensiftien de la stratigraphie continentale, les données bibliographiques concernant le Quaternaire dans la région de l'oued Tensift restent cependant peu abondantes. Dès 1941, DRESCH, qui s'est le premier intéressé à l'évolution du relief dans le vaste ensemble comprenant le Haut Atlas, le Haouz et le Sous, avait reconnu les terrasses de l'oued Tensift : au moins neuf niveaux dans la basse et moyenne vallée, trois niveaux dans le Haouz occidental disparaissant ensuite vers l'amont. Dans les Djebilet, le même auteur distinguait deux niveaux de plaines rocheuses s'insérant entre les reliefs, à propos desquels il créait la notion de glacis d'érosion. BEAUDET, JEANNETTE et MAZEAS (1964) ont observé, en étudiant les dépôts quaternaires du bas Tensift, que les alluvions continentales s'interstratifient avec les poudingues et les lumachelles fluvio-marins : il s'agit bien de terrasses fluviatiles en position eustatique, mais leur genèse serait avant tout d'origine climatique. Dans le bassin de Sidi Chicker, sur le cours moyen du Tensift, à l'aval proche de la limite ouest de notre zone d'étude, WEISROCK (1973 a) a distingué trois niveaux de glacis-terrasses, au-dessus de la basse terrasse limoneuse de l'oued ; l'auteur aboutit à la conclusion que le façonnement des glacis s'est poursuivi après le dépôt des terrasses fluviatiles. On doit à ANDRE et BEAUDET (O.R.M. V.H.A.- 1970) une esquisse morphologique indiquant le déploiement des dépôts quaternaires dans le Haouz. Dans cette plaine, l'existence de paléosols a été reconnue et mise en relation avec les variations paléoclimatiques du Quaternaire (CONCARET et MAHLER- 1958-1959 ; CONCARET- 1960 a et b ; MAHLER- 1960). Mais les études réalisées ayant toujours eu une vocation avant tout agricole, d'une façon générale les pédologues ne se sont guère attachés à mettre en lumière les conditions et les processus de paléogénèse dans la région.

Il est vrai que dans la plaine du Haouz, et nous le savons par expérience, les remaniements et les mélanges de matériaux qui ont accompagné l'étalement des alluvions à partir de l'Atlas permettent difficilement de restituer, de façon suffisamment claire, les grands traits d'une évolution régionale. Au nord de l'oued Tensift, au contraire, en raison de la forte différenciation de la topographie dans les Djebilet, nous avons pu assez aisément caractériser plusieurs générations d'épandages situés à des niveaux différents. Il était ensuite possible, en particulier par la comparaison des caractères pédologiques, de rapprocher les matériaux du Haouz de chacune des générations d'épandages reconnues au nord de l'oued.

Cette étude des matériaux superficiels s'appuie essentiellement sur des données descriptives, recueillies sur quelques mille deux cents points d'observation, dans la région de l'oued Tensift au nord du Haouz et dans les Djebilet. On remarquera certainement la part importante que tiennent les accumulations calcaires dans nos descriptions : c'est que, dans cette région, le calcaire représente un caractère de différenciation essentiel dans les matériaux superficiels ; le lecteur peu familiarisé avec la terminologie utilisée pourra se reporter au chapitre III, où sont explicités les caractères correspondant aux différentes formes de concentrations calcaires observées dans la région.

Le présent ouvrage est conçu de la façon suivante :

En annexe - ETUDE DESCRIPTIVE DES TOPOSEQUENCES DE REFERENCE

Huit toposéquences proposées en référence regroupent l'essentiel des faits importants observés dans la région. Elles permettent de découvrir et de caractériser les différents types de matériaux superficiels, en fonction des principales situations géomorphologiques ; grâce à ces données, la statigraphie des matériaux pourra être clairement établie. L'étude des profils permet aussi de reconnaître les caractères d'évolution pédologique ayant affecté les différents matériaux et d'en apprécier la différenciation verticale et latérale en fonction de la position topographique.

Chapitre 1 - LES FACTEURS DU MILIEU

On trouvera dans ce chapitre, un résumé des principaux caractères concernant les facteurs du milieu régional. C'est dans son sens le plus large que doit être considéré ce milieu régional : c'est-à-dire sur l'ensemble du bassin drainé par l'oued Tensift à l'amont du Djebel Aleb, si l'on veut bien comprendre les conditions d'évolution de la région avoisinant l'oued, qui fera seule, ensuite, l'objet de notre étude.

Chapitre 2 - CARACTERISATION DES MATERIAUX SUPERFICIELS

La synthèse des données obtenues par l'étude des toposéquences de référence et de nombreuses autres observations étendues à l'échelle régionale, permettra de caractériser les matériaux superficiels dans la région étudiée. Les caractères lithologiques et pédologiques des matériaux seront

examinés en fonction des différentes situations géomorphologiques. On s'attachera, dans le cas des matériaux allochtones, à bien distinguer les caractères d'évolution hérités, de nature lithologique, des caractères acquis en place, strictement pédologiques.

Chapitre 3 - LES ACCUMULATIONS CALCAIRES

On étudiera les différentes formes de concentrations calcaires : les formes élémentaires et les types d'association en profil d'accumulation, en relation avec l'environnement. On tentera d'établir, pour chaque catégorie de matériaux, une typologie des accumulations calcaires, à l'échelle du profil et à celle du paysage. Quelques facteurs importants, susceptibles d'intervenir dans la différenciation typologique des accumulations calcaires, seront finalement examinés.

Chapitre 4 - INTERPRETATION A L'EVOLUTION REGIONALE

Beaucoup des caractères marquant actuellement les matériaux superficiels dans la région étudiée sont le reflet d'une évolution plus ou moins ancienne. Remontant de l'effet à la cause, on s'efforcera de dégager, à partir des faits observés, les grands traits de paléogénèse ayant conduit à la différenciation des caractères actuels. Nous aurons, finalement, l'occasion de confronter nos propres résultats avec les données générales concernant le Quaternaire marocain, avant de proposer un schéma synthétique de l'évolution régionale au cours du Quaternaire moyen et récent.

CHAPITRE I

LES FACTEURS DU MILIEU

SITUATION GEOGRAPHIQUE

L'oued Tensift, qui s'écoule d'est en ouest pour rejoindre l'Océan Atlantique après un cours de quelque 200 km, constitue l'élément central autour duquel s'organise la région étudiée (fig. 1). On considérera que cette région s'étend d'est en ouest depuis la naissance de l'oued près de Tamelelt, au Ras el Aïn ($31^{\circ}47'$ lat. N ; $7^{\circ}37'$ long. W), jusqu'à son entrée dans les gorges du Djebel Aleb ($31^{\circ}44'$ lat. N ; $8^{\circ}44'$ long. W). Au-delà du Djebel Aleb, le Tensift pénètre sur les formations sédimentaires marines du Secondaire. L'étude se limite donc à la partie du cours de l'oued Tensift située dans la plaine de Marrakech ou Haouz.

Au nord du Tensift, soit en rive droite, seule la bordure méridionale des Djebilet a été prospectée de façon systématique. Mais plusieurs reconnaissances ont révélé que les observations concernant les zones à topographie accidentée, sont également applicables à l'ensemble des Djebilet, avec cependant quelques nuances, compte tenu de l'importance des reliefs dans certains cas.

En rive gauche, l'étude ne concerne que la partie septentrionale du Haouz de Marrakech. Il s'agit des calcaires et des épandages meubles plus récents, qui constituent la partie aval de cette plaine alluviale où

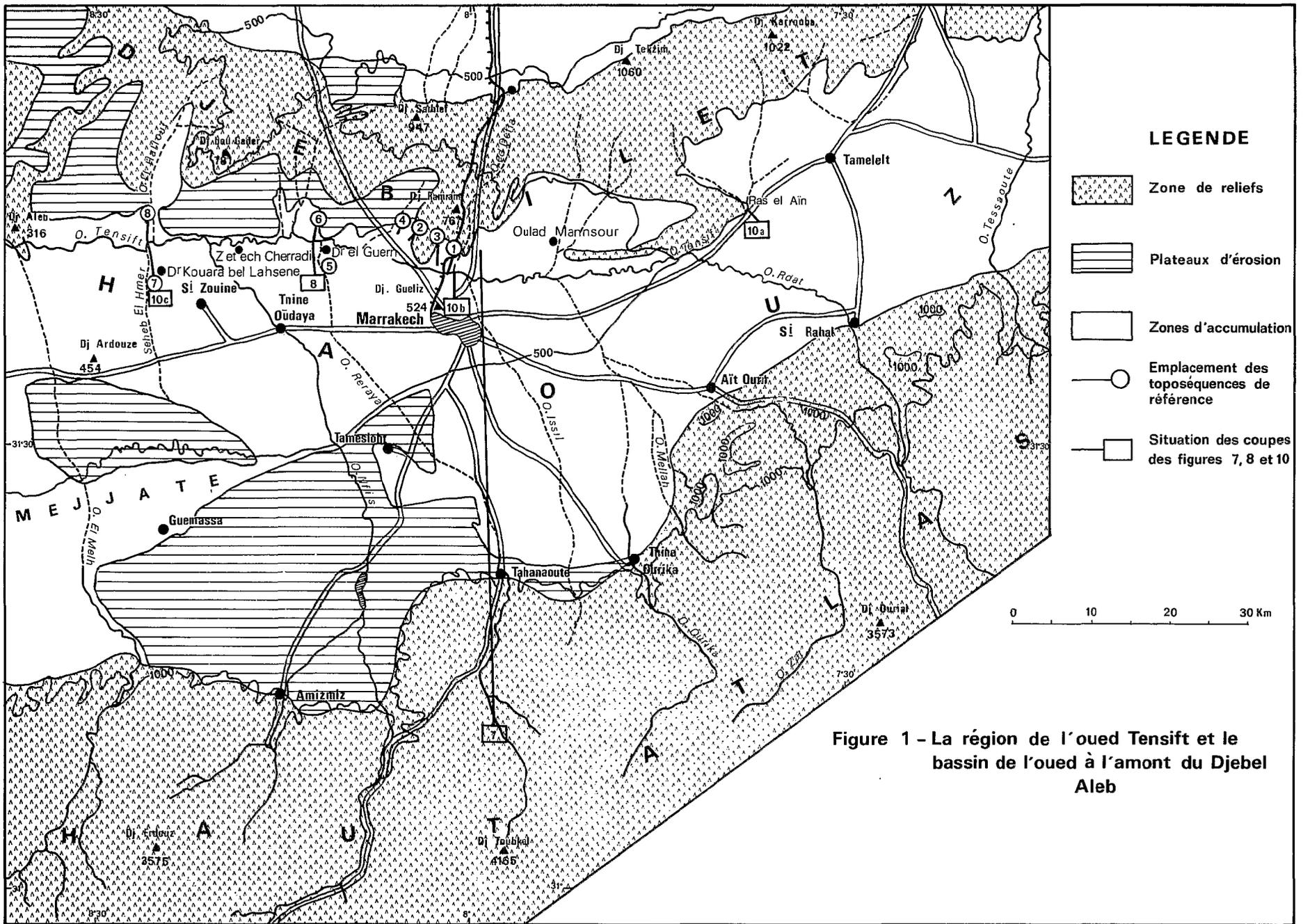


Figure 1 - La région de l'oued Tensift et le bassin de l'oued à l'amont du Djebel Aleb

se sont étalés les matériaux descendus de l'Atlas.

On peut donc remarquer que le cadre de notre étude n'intéresse qu'une partie du vaste ensemble régional représenté par le bassin de l'oued Tensift. Il importe cependant de replacer la région concernée dans son contexte naturel, car les différentes régions du bassin du Tensift ont influencé, à des degrés variables, l'évolution de la vallée de l'oued et des zones avoisinantes. L'oued Tensift draine, au nord, les Djebilet sur toute leur largeur depuis leur limite septentrionale sur la plaine de Benguerir, au sud, la plaine du Haouz puis le versant nord du Haut Atlas. La partie orientale du Haouz drainée par les oueds Gaïno et Tessaout, qui franchissent les Djebilet vers le nord, n'appartient donc pas au bassin du Tensift.

LE CADRE GEOLOGIQUE ET GEOMORPHOLOGIQUE

Les travaux de DRESCH (1941) ainsi que les études réalisées dans le cadre des recherches minières, dans les Djebilet et l'Atlas, et des recherches sur les ressources en eau, dans le Haouz, ont permis de préciser la structure géologique de cet ensemble régional drainé par l'oued Tensift (ROCHE- 1950 ; AMBROGII et *al.*- 1952 ; carte géologique à 1/500.000 : feuille Marrakech- 1955-1956, et feuille Ouarzazate- 1959 ; BERNERT et PROST- 1972).

La surrection du Haut Atlas sous l'effet de l'orogénèse tertiaire, s'est accompagnée d'une légère subsidence du Haouz, où se sont accumulées les formations détritiques continentales issues du démantèlement de la chaîne atlasique, depuis l'Eocène jusqu'à nos jours. Au nord, le vieux socle primaire à relief rajeuni constitue les Djebilet. La différenciation du paysage et la caractérisation des formations superficielles dans les zones avoisinant l'oued Tensift feront ultérieurement l'objet d'une étude détaillée ; on se contentera de donner ici un simple aperçu géologique et géomorphologique de l'ensemble régional comprenant : les Djebilet, le Haut Atlas, la plaine du Haouz, l'oued Tensift et son système hydrographique (fig. 2).

LES DJEBILET

Situées en rive droite de l'oued Tensift, les Djebilet s'étendent sur une largeur de 20 à 30 km du sud au nord. A de rares exceptions près, les roches primaires sont ici partout affleurantes. Elles débordent parfois en rive gauche, soit en affleurements de berge, surtout vers l'ouest

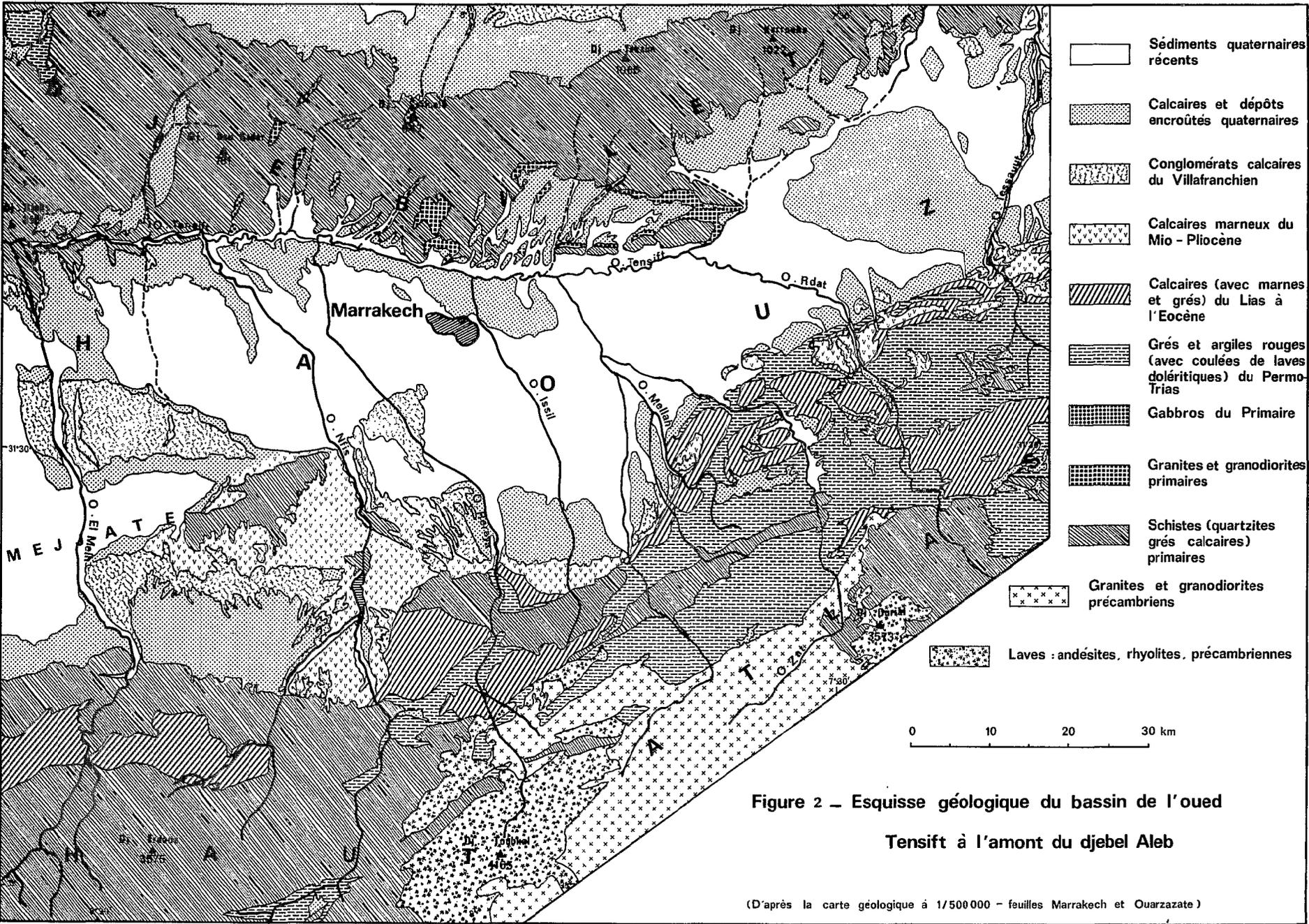


Figure 2 – Esquisse géologique du bassin de l'oued Tensift à l'amont du djebel Aleb

(D'après la carte géologique à 1/500 000 – feuilles Marrakech et Ouarzazate)

où la vallée s'encaisse, soit en quelques pointements isolés plus ou moins éloignés de l'oued.

Les formations appartiennent à plusieurs étages du Primaire, du Cambrien au Carbonifère, avec quelques formations peut-être précambriennes, qui se juxtaposent d'ouest en est. Mais plus que par leur appartenance à un étage bien déterminé, les roches se distinguent surtout, en ce qui concerne la morphogénèse et la pédogénèse, par leur composition et leur structure qui conditionnent leur comportement vis-à-vis de l'altération et de l'érosion. Le socle primaire est ici essentiellement représenté par des roches schisteuses à faciès très variés. On distingue, selon les secteurs, des schistes sombres, gris, rose-jaunâtres, violacés ou verdâtres ; plus ou moins finement lités et fragiles, souvent accompagnés de filons quartzeux ; schistes argileux, sériciteux, ardoisiers, ou gréseux avec des bancs épais de grés ou de quartzites. Très localement, des bancs calcaires et siliceux, parfois des conglomérats, du Dévonien, constituent des reliefs isolés.

Dans les Djebilet centrales et orientales, des roches éruptives : granites et gabbros, liées à l'orogénèse hercynienne, sont enclavées dans les formations sédimentaires métamorphiques. Les roches granitiques constituent deux familles distinctes : les granites post-tectoniques qui affleurent dans la vaste boutonnière des Oulad Mansour, à l'est, et les granites syntectoniques apparaissant en petites enclaves au nord et au nord-est de Marrakech. C'est sur ces derniers que sont situées la toposéquence 1 et une partie de la toposéquence 4 de notre étude. Ce sont des roches dont la composition, la texture et la structure peuvent varier rapidement d'un endroit à l'autre : il existe autour du pôle calco-alcalin, une gamme d'intermédiaires pouvant aboutir selon le cas à des granodiorites, ou bien à des granulites. De nombreux filons de Quartz laiteux, plus rarement noirs, d'épaisseur variable (atteignant parfois plusieurs mètres) traversent ces granites. De la dolomite se trouve dans certains cas associée aux filons de Quartz.

Les Djebilet présentent un paysage mouvementé, se composant d'une succession de reliefs dont les plus vigoureux correspondent aux roches les plus résistantes à la désagrégation et à l'érosion : schistes gréseux, quartzites, plus rarement calcaires et micaschistes. Ces reliefs dominant des thalwegs d'érosion qui drainent l'ensemble vers le Tensift. Les roches les moins résistantes : schistes fins et roches granitiques facilement arénisées, donnent lieu à des zones déprimées ; sur la bordure méridionale, c'est sur ces roches que s'est établi, lorsqu'il

existe, le glacis de raccordement entre les reliefs et l'oued Tensift.

LE HAUT ATLAS

Montagne jeune, le Haut Atlas constitue une imposante chaîne continue qui ferme la plaine du Haouz au sud. Les oueds établis sur son versant nord drainent des bassins qui s'étendent sur des formations géologiques variées. Ces formations ont fourni les matériaux arrachés par l'érosion puis transportés et déposés dans le Haouz, jusque sur les rives de l'oued Tensift.

Sur la bordure montagneuse existent des géosynclinaux portant en affleurement les terrains du Lias à l'Eocène, avec une couverture mio-pliocène dans certains cas. A l'est, ces géosynclinaux sont entourés par le Permo-Trias; ils sont plus irréguliers vers l'ouest, où la stratigraphie devient plus complexe au contact des schistes primaires. Ces formations secondaires et éocènes sont largement dominées par les calcaires, plus ou moins durs, mais avec également des marnes et des grès.

Très faiblement représenté à l'ouest, le Permo-Trias s'étend plus largement vers l'est, d'abord sur le versant en avant des massifs éruptifs, puis il constitue lui-même les sommets de la chaîne à l'extrême est, où il est associé à des roches schisteuses précambriennes et ordovicienes, dans le bassin de l'oued *R'dat*. Ces formations sédimentaires fortement colorées, rouges parfois violacées, sont représentées par des grès, des marnes ou des argiles, avec souvent des conglomérats à la base. Elles sont assez fréquemment recouvertes par des coulées de basaltes doléritiques du Trias.

Vers l'ouest (soit au sud-est et au sud de Marrakech), la partie centrale de la chaîne, où l'on rencontre les plus hauts sommets d'Afrique du Nord, est constituée par les roches éruptives et métamorphiques précambriennes. Les laves sombres ou verdâtres deviennent rougeâtres ou grisâtres lorsqu'elles s'altèrent, et c'est sous cette forme qu'elles apparaissent le plus souvent parmi les galets des terrasses de l'oued Tensift. Les principaux oueds qui drainent ces terrains sont d'est en ouest :

- Les oueds *Zat* et *Ourika* qui, après avoir quitté les sommets où dominent : granites, diorites et dolérites, franchissent ensuite les terrains du Permo-Trias où une bande de schistes primaires a été dégagée, avant de rejoindre la bordure montagneuse secondaire.

- L'oued *Réraya*, dont la partie supérieure du bassin est établie sur les andésites et les rhyolites qui constituent l'extrémité des formations éruptives vers l'ouest. C'est ici que se situe le point culminant de l'Atlas (Djebel Toubkal à 4165 m). Vers l'aval, l'oued Réraya ne traverse que des bribes du Permo-Trias.

- Enfin, la bordure occidentale des massifs éruptifs est également drainée par des torrents affluents de l'oued *N'fis*. Mais le bassin de cet oued s'étend plus largement vers l'ouest, sur les terrains cambro-ordoviciens ou l'altitude est sensiblement moins élevée. Les roches sont essentiellement des schistes, avec des grès et des calcaires.

L'altitude croît très rapidement sur le versant nord de l'Atlas : sur une distance de 35 km à vol d'oiseau, on passe en effet de 900 m au pied de la montagne, à plus de 4.000 m au sommet. A l'ouest, la transition plaine-montagne est atténuée par l'existence de plateaux correspondant aux formations calcaires mio-pliocènes et villafranchiennes, que perce le massif schisteux carbonifère de Guémassa, et dont la présence rétrécit considérablement la largeur du Haouz dans cette région.

LA PLAINE DU HAOUZ

S'étirant sur une longueur d'environ 150 km d'est en ouest, le Haouz est une plaine de piémont où se sont étalés les matériaux descendus de l'Atlas, rejetant l'oued Tensift contre les Djebilet au nord. Plus étroite à l'ouest qu'à l'est, la plaine atteint sa plus grande largeur dans la région centrale, où elle s'étend sur une quarantaine de km du sud au nord, passant de l'altitude 900 m en bordure de la montagne, à 400 m vers l'aval au voisinage du Tensift.

Le socle primaire à base de schistes imperméables constitue le soubassement du Haouz. Du fait de la grande irrégularité topographique de ce socle, associée à un système de failles et de flexures, l'épaisseur du remplissage sédimentaire est très variable (fig. 3). De façon générale, elle diminue cependant du sud vers le nord ; pouvant atteindre plusieurs centaines de mètres au pied de l'Atlas, elle décroît ensuite pour s'annuler au niveau du Tensift où le Primaire réapparaît.

Les couvertures secondaire et éocène

Les couvertures secondaire et éocène n'existent que sur la bordure de l'Atlas ; mais elles disparaissent ensuite rapidement vers le nord, en se biseautant sous la plaine.

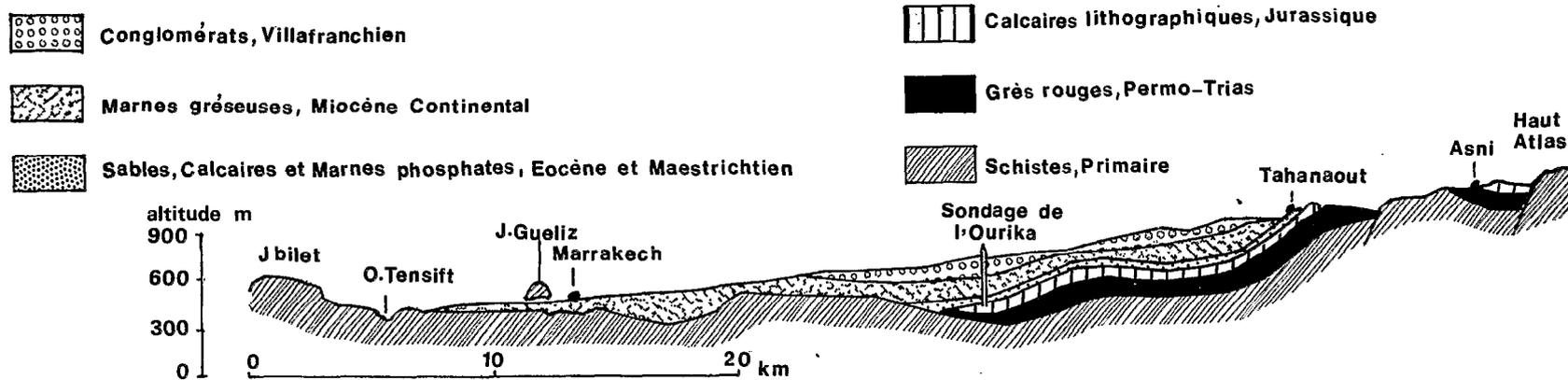


Figure 3 — Coupe Géologique Schématique NS du Haouz central

(D'après R. AMBROGGI et G. TUILLE)

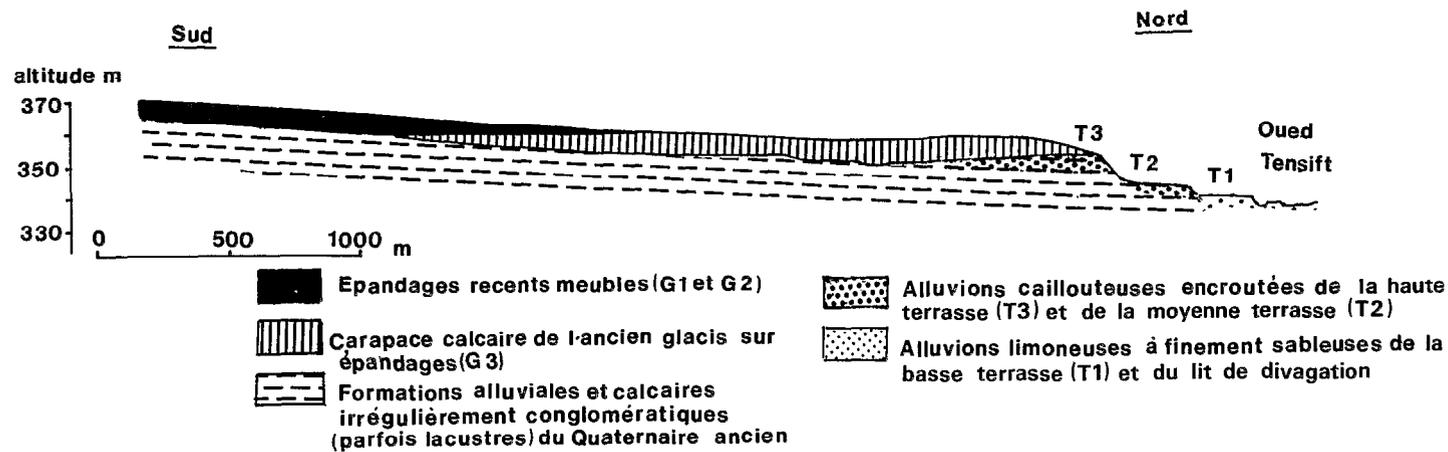


Figure 4 — Coupe schématique des matériaux superficiels au Nord du Haouz central

Ce sont les grès rouge du Permo-Trias, puis les sédiments calcaires et marneux, parfois gréseux, du Crétacé et de l'Eocène. Ces terrains furent ployés en même temps que le socle primaire pour former la vaste gouttière du Haouz, où allaient se déposer les sédiments de comblement néogènes et quaternaires.

Les sédiments néogènes et quaternaires

Ces sédiments ont été traversés par de nombreux forages pratiqués sur toute l'étendue du Haouz par les Services de l'Hydraulique, afin d'atteindre la nappe phréatique dont le plancher est constitué par le socle primo-triasique. Les sondages font apparaître une grande irrégularité et de nombreux faciès dans un matériau hétérogène de caractère alluvial. Ils traversent une succession de formations calcaires variées : conglomératiques, lacustres, marneuses, parfois salines, avec des niveaux non encroûtés de galets, sables ou limons. Les bancs calcaires sont fréquemment de couleur rose ou blanche avec des taches rouille et des petites dendrites ; les marnes sont blanc-grisâtre, parfois bleutées.

Cette hétérogénéité des sédiments, et les variations stratigraphiques rapides d'un endroit à l'autre, ne permettent pas, dans l'état actuel des connaissances, d'établir une stratigraphie chronologique précise des matériaux de remplissage du Haouz. On admet généralement qu'il existe, à la base, des calcaires marneux miopliocènes ; ces formations affleurent sur les berges du Tensift et des thalwegs affluents, dans le Haouz occidental (t.s. 7), où elles présentent des caractères salins et gypseux. Au-dessus, ce sont les dépôts quaternaires avec des niveaux calcaires irrégulièrement conglomératiques ou gréseux, parfois lacustres, entrecoupés de niveaux alluviaux non cimentés. Les conglomérats du Quaternaire ancien affleurent au sud du Haouz, puis ils disparaissent sous le recouvrement des épandages superficiels plus récents. En bordure de l'oued Tensift, des bancs lacustres apparaissent sur la berge en avant du Douar El Guern (t.s. 5), un faciès fluvio-lacustre est également visible près de Marrakech.

Les dépôts superficiels

Ces matériaux d'origine alluviale, que nous aurons l'occasion d'étudier plus longuement par la suite, sont des dépôts en nappe, étalés, repris et remaniés sur de larges espaces par un écoulement diffus et divagant. Nous les qualifierons d'*épandages alluviaux* pour bien les distinguer des *alluvions fluviales*, déposées par un oued

bien établi entre des berges stables. Ces épandages alluviaux constituent l'ensemble des matériaux superficiels dans la plaine du Haouz ; ils existent également en unités de faible étendue sur la bordure méridionale des Djebilet. Certains des dépôts superficiels ont été affectés par l'encroûtement calcaire ; les autres restent meubles.

- Les *matériaux encroûtés* ont été marqués par le développement de forts encroûtements désignés sous le terme général de *carapace calcaire* (BEAUDET, MAURER et RUELLAN- 1967). La carapace calcaire existe au nord de la plaine du Haouz dans la région de Marrakech et s'étend plus largement vers l'ouest. Elle s'est également développée sur la bordure méridionale des Djebilet, sur le glacis de raccordement des reliefs à l'oued Tensift. C'est ici même la région éponyme du Tensiftien (CHOUBERT et *al.*- 1956), partout caractérisé par l'existence d'une carapace calcaire.

- Les *matériaux meubles* couvrent toute l'étendue du Haouz à l'exception des zones à carapace calcaire. A l'est, ils s'étalent de l'Atlas jusqu'à la berge de l'oued Tensift. A l'ouest, ils sont retenus par l'ancienne surface encroûtée dont ils recouvrent la partie amont irrégulièrement érodée (fig. 4) ; mais ils peuvent encore progresser jusqu'à l'oued au fond des thalwegs qui entaillent la carapace calcaire. Des matériaux meubles existent, dans les mêmes conditions, sur la bordure méridionale des Djebilet.

A l'exception des quelques pointements du socle primaire qui percent la couverture alluviale (Dj. Gueliz près de Marrakech ; Dj. Ardouze dans le Haouz occidental), la plaine du Haouz présente une surface très plane, à peine marquée par un léger bombement à l'emplacement des anciens cônes de déjection des principaux oueds atlasiques. La pente générale s'abaisse du sud-sud-est vers le nord-nord-ouest. Sur la plus grande partie du Haouz, la pente reste de l'ordre de 1%, le plus souvent même, de 0,5% vers l'aval ; elle ne se relève sensiblement qu'à l'amont, où elle atteint 4% à l'approche de la montagne. Vers l'ouest, les zones encroûtées deviennent de plus en plus vallonnées au voisinage de l'oued Tensift dont l'encaissement s'accroît dans cette région.

L'OUED TENSIFT ET LE SYSTEME HYDROGRAPHIQUE

L'oued Tensift s'écoule ici sur une centaine de kilomètres d'est en ouest, ce qui représente approximativement la moitié supérieure de la longueur totale de son cours.

Il naît au pied du Ras El Aïn, de résurgences situées à la base des dépôts limoneux ; dans cette zone, il reçoit également quelques petits oueds affluents des Djebilet. Mais son écoulement est essentiellement assuré par les oueds atlasiques qu'il reçoit en rive gauche dans sa traversée du Haouz, et dont les principaux sont les oueds : R'dat, Zat, Ourika, Réraya et N'fis. En rive droite, les oueds des Djebilet n'ont qu'un écoulement très temporaire à l'occasion des plus grosses pluies.

Le Tensift présente un profil longitudinal assez bien régularisé (DRESCH- 1941), passant de la côte 540 m au pied du Ras El Aïn à la côte 210 m à son entrée dans les gorges du Djebel Aleb à l'ouest. La pente qui est de 2,5% à l'amont du confluent avec le N'fis, s'abaisse à 2,1% vers l'aval. Il existe trois niveaux de terrasses alluviales. Bien distinctes à l'ouest, la haute et moyenne terrasses (T3 et T2) disparaissent vers l'amont, au nord de Marrakech. A l'est, la basse terrasse (T1) se confond avec les épandages alluviaux meubles de la plaine du Haouz.

D'abord torrents de montagne, les oueds atlasiques traversent, à leur sortie dans la plaine, d'anciens cônes alluviaux où trois niveaux de terrasses emboîtés peuvent être distingués (MISSET- 1973). La pente longitudinale diminue avec le niveau des terrasses, si bien que les trois niveaux se rejoignent vers l'aval et se confondent avec la surface de la plaine du Haouz. Dans la plaine, aucune terrasse n'est bien distincte, et les oueds ne sont pas partout bien stabilisés. Si le lit mineur est étroit, en période de pluie les débordements peuvent s'étaler sur plus d'un km ; les berges sont alors dégradées, et parfois même de nouveaux chenaux d'écoulement sont créés.

Les principales données concernant les bassins d'alimentation et le régime des oueds atlasiques sont regroupées dans le tableau ci-après (d'après O.R.M.V.A.H.- 1970).

	Superficie du bassin (km ²)	Altitude moyenne du bassin (m)	Pente moyenne du bassin (%)	Pluviosité moyenne (mm)	Apports annuels moyens (10 ⁶ m ³)	Mensuel maxi. (avril) Mensuel mini. (août)	Annuel maximum Annuel minimum
R'dat	550	1120	15	700	120		13
Zat	496	2000	18	696	150	24	12
Ourika	574	2100	21	760	180	22	10
Réraya	324	1680	21	676	58		11
N'fis	1703	1600	17	560	160	10	22

Le régime du Tensift ne fait que répercuter celui de ses affluents atlasiques. Le débit annuel moyen des oueds varie bien sûr en fonction de la superficie des bassins d'alimentation, mais également selon d'autres caractéristiques de ces bassins :

- l'altitude (pluviosité, enneigement, végétation) ;
- la pente moyenne (ruissellement) ;
- la composition lithologique (perméabilité, érosion et débits solides).

Pour l'ensemble des oueds, l'étiage se produit en août, puis le débit augmente progressivement de septembre à février, pour atteindre un maximum de mars à mai, ensuite il diminue en juin et juillet. Comme on peut le constater sur le tableau précédent, la variation saisonnière des débits est très accusée, ainsi que la variation interannuelle. Les débits journaliers maximums sont également très variables d'une année à l'autre ; ils varient par exemple de 2 m³/s à 860 m³/s pour le N'fis. Ces maximums journaliers se produisent pendant les saisons pluvieuses d'automne ou de printemps, mais les crues de printemps sont les plus importantes.

Le débit solide en période de crue varie de 3 à 6 kg/m³ pour l'ensemble des oueds atlasiques à leur sortie de la montagne ; il est probable que le débit solide du Tensift est supérieur à ces chiffres, après l'enrichissement par les apports limoneux arrachés à la surface du Haouz.

Dans la plaine, l'infiltration au travers des dépôts alluviaux perméables est importante. En été, certains oueds comme le Réraya perdent toutes leurs eaux, et leur lit est complètement asséché. Ces infiltrations vont rejoindre la nappe phréatique établie dans les dépôts néogènes et quaternaires au-dessus du socle primaire imperméable.

La nappe s'écoule du sud vers le nord-ouest, en se rapprochant de la surface vers l'aval. Elle se déverse naturellement dans l'oued Tensift par underflow ou par résurgences sur la rive gauche. Son débit est beaucoup plus régulier que celui des eaux de surface, puisque le coefficient d'irrégularité n'est que de 1,66. Des pompages sont couramment utilisés pour la pratique de l'irrigation, mais ceux-ci deviennent économiquement peu rentables lorsque la profondeur de la nappe dépasse 10 m⁽¹⁾. A partir d'une profondeur inférieure à 10 m, et surtout à 5 m, la salure s'accroît par concentration des éléments dissous sous l'effet de l'évaporation. C'est ainsi qu'au voisinage de l'oued,

(1) Les pompages peuvent rapidement aboutir à une surexploitation de la nappe, comme à l'ouest de Marrakech, où les puits qui étaient à l'origine de 10 m, ont maintenant atteint une profondeur de 30 m et plus.

comme dans la région de Sidi Zouine, le résidu sec dépasse 2 g/l, et l'eau est alors impropre à l'irrigation. En fait, il semble que cette limite de 2 g/l de résidu sec, généralement admise, est déjà trop élevée pour les sols à limons fins et argile peu perméables du Haouz, où des manifestations de salure ont été observées à la suite d'irrigations pratiquées avec des eaux de pompage contenant moins de 1 g/l de résidu sec.

Le Haut Atlas constitue l'élément dominant du bassin de l'oued Tensift. Son érection est à l'origine de la dépression du Haouz dont il a nourri le comblement. La montagne joue également un rôle primordial sur le plan hydrographique : c'est elle qui alimente les oueds et la nappe phréatique du Haouz.

Outre leur influence sur la différenciation du relief, en raison d'une inégale résistance à l'altération et à l'érosion, les formations géologiques déterminent également certains caractères des matériaux allochtones qu'elles ont fournis. Par exemple, l'affouillement des terrains du Permo-Trias est vraisemblablement à l'origine de la forte coloration de certains épandages étalés dans la partie orientale du Haouz, l'érosion des calcaires marneux mio-pliocènes a fourni des matériaux de teinte claire et plus fortement calcaires dans la partie occidentale de la plaine.

Le cortège des roches charriées par les oueds, à leur sortie dans la plaine, reflète également les caractères lithologiques de l'arrière pays et met en évidence les différences entre bassins versants. MISSET (1974) a trouvé dans les alluvions des oueds Ourika et Réraya :

- *Ourika* : 48,5% de roches grenues ; 5,5% de laves ; 22,5% de grés ;
- *Réraya* : 20% de roches grenues ; 45% de laves ; 9% de grés.

La nature des roches affleurantes dans les bassins des deux oueds explique facilement ces résultats (fig. 2).

Malgré la faible importance de leur relief et l'érosion très active qui a sévi, les Djebilet conservent les traces de plusieurs épisodes de paléogénèse qui se sont succédés dans la région. Nous verrons que l'on trouve, sur une zone d'extension très limitée, tous les éléments d'une unité physiographique : relief et bassin de réception, cône de déjection, plaine d'épandage et niveau de base

local, qui peuvent constituer un modèle réduit et bien sûr très simplifié du grand ensemble Atlas-Haouz. La comparaison ne doit pas, en effet, dépasser certaines limites, car l'existence de la haute montagne dans l'Atlas a des incidences climatiques qui ne sont pas connues dans les Djebilet.

LE CLIMAT

La plupart des informations relatives au climat ont été empruntées à DELANNOY (1971) qui a réalisé une synthèse climatologique concernant Marrakech et sa région, en exploitant les données disponibles depuis 1920. Les précisions apportées par cet auteur, notamment au sujet des mécanismes du climat, sont de la plus grande utilité pour l'interprétation paléogénétique qui fera l'objet du dernier chapitre de notre étude. Quelques-unes des données présentées ci-après ont également été recueillies auprès de l'ORMVAH (1)(1970).

LES PRECIPITATIONS

Située à des latitudes relativement basses du domaine méditerranéen, la région de Marrakech n'est couverte que de façon marginale par la circulation circumpolaire. L'air polaire, qui est à l'origine de la plupart des pluies, a tendance à se dénaturer et à s'épuiser dans sa course vers le sud et n'intéresse efficacement la région que très épisodiquement. Ceci explique la faiblesse et l'irrégularité des précipitations, en particulier la rigueur de la saison estivale. Pendant cette saison, le front polaire est rejeté à des latitudes plus septentrionales et les seules pluies possibles sont d'origine tropicale. Ce sont de rares précipitations localisées, de caractère orageux, et dont le volume est le plus souvent faible.

La pluviométrie annuelle moyenne est de 242 mm à Marrakech (altitude : 450 m) sur 50 années d'observation (1920-21 à 1969-70), mais les précipitations se répartissent de façon très inégale (fig. 5). La saison pluvieuse, d'octobre à avril-mai, présente deux maximums en novembre et en avril ; le second est généralement supérieur mais plus irrégulier que le premier. La saison estivale est marquée par une sécheresse quasi absolue.

(1) Office Régional de la Mise en Valeur Agricole du Haouz.

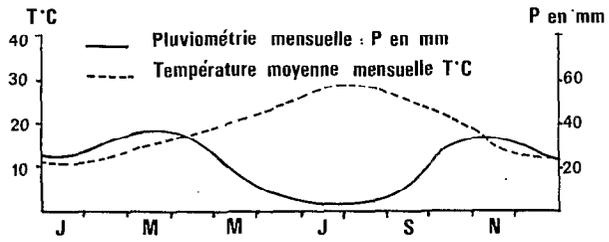


Figure 5 — Diagramme ombrothermique de Marrakech

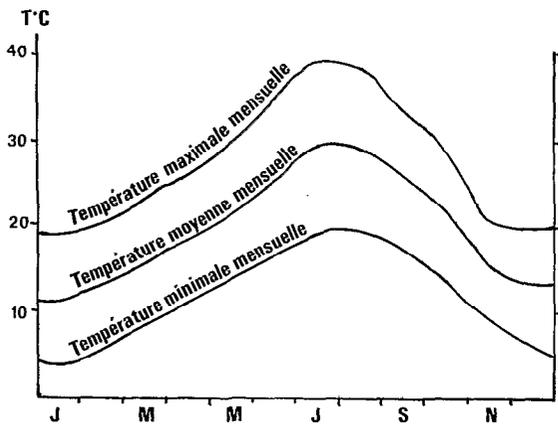


Figure 6 — Températures mensuelles à Marrakech

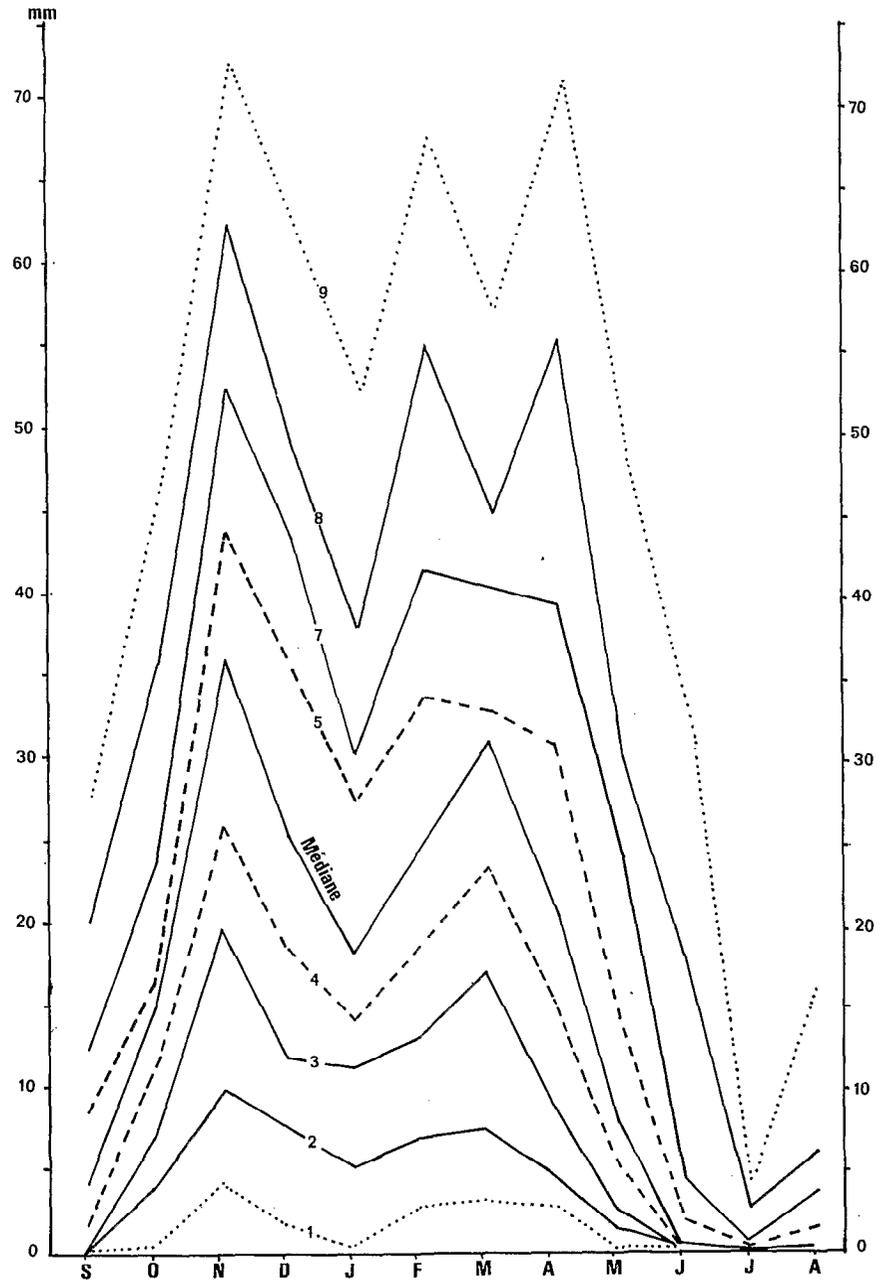


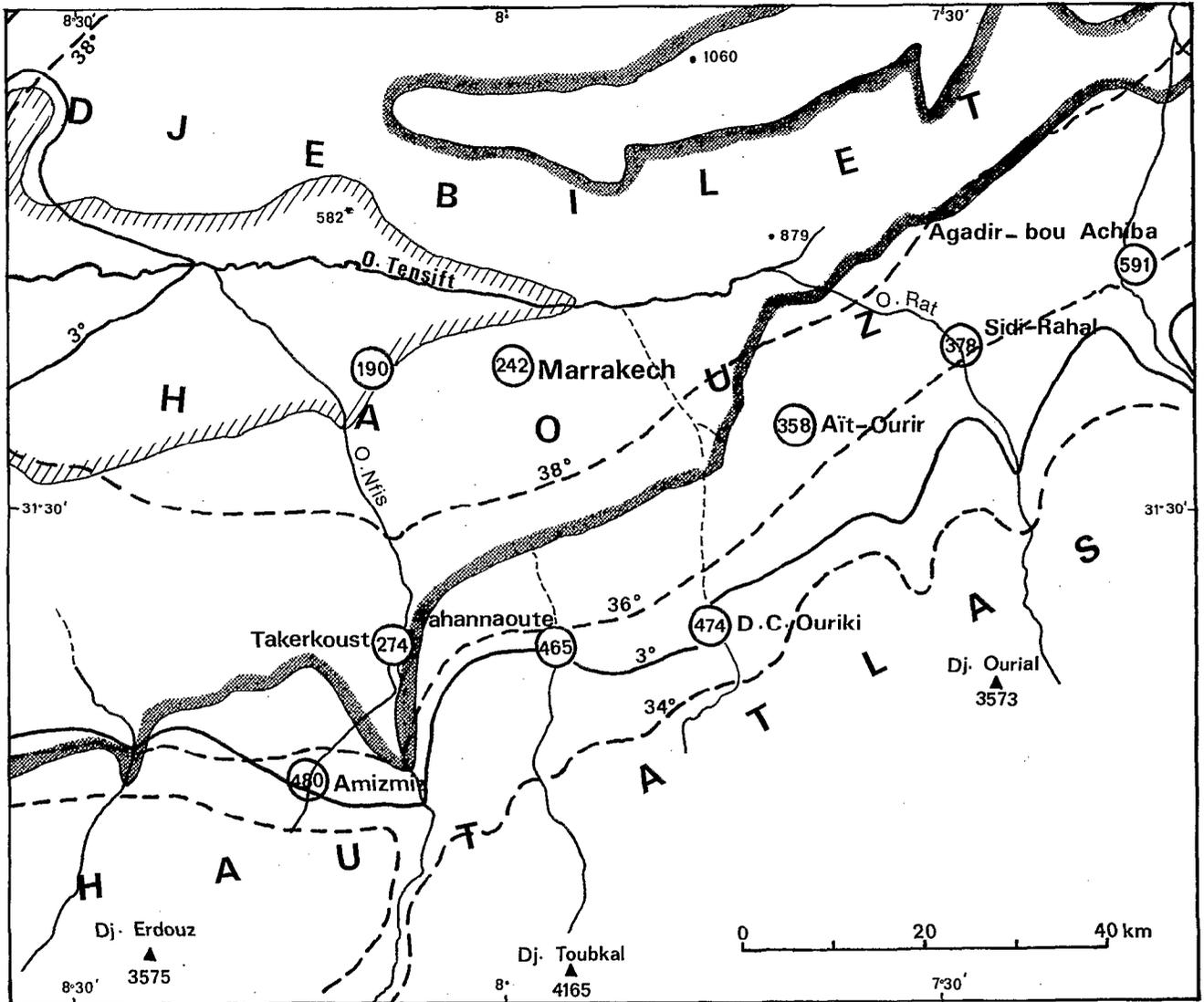
Figure 7 — Les régimes probables à Marrakech (courbes de déciles 1920-21 à 1969-70) d'après DELANNOY (1971)

La pluviométrie montre également une grande irrégularité d'une année à l'autre (fig. 7). Elle peut varier dans la proportion de 1 à 3,5 dans le Haouz. Sur 50 années observées à Marrakech, la moitié des années sont comprises entre 200 et 300 mm, dix années dépassent 310 mm (maximum : 468 mm) et dix sont inférieures à 175 mm (minimum : 115 mm). Dans l'ensemble, il existe des cycles d'années sèches et des cycles d'années pluvieuses. Les années les plus sèches sont presque toujours dues à l'insuffisance des pluies de fin d'hiver ou de printemps, entraînant des conséquences désastreuses pour l'agriculture. Les années pluvieuses sont généralement celles qui connaissent des séquences de pluies longues, résultant de l'enchaînement de flux perturbés de différentes origines. La variabilité des précipitations est plus grande au printemps qu'à l'automne.

Dans la région de l'oued Tensift, les précipitations diminuent d'est en ouest (fig. 8). La pluviométrie qui est de l'ordre de 260 mm à l'est, s'abaisse au-dessous des 200 mm vers l'ouest. L'isohyète 200 mm apparaît le long de l'oued au nord de Marrakech, puis s'écarte ensuite largement vers le sud, délimitant un secteur plus sec dans le Haouz occidental.

Même modestes, les reliefs des Djebilet ont une influence bénéfique sur les précipitations ; la pluviométrie peut dépasser 300 mm dans la partie nord des Djebilet orientales où l'altitude est la plus élevée ; elle est plus faible ailleurs et diminue vers l'ouest où elle atteint l'isohyète 200 mm. Malgré quelques nuances très localisées, en particulier sur les versants offerts aux perturbations d'ouest et du nord-ouest, on peut admettre que les pluies arrosant la bordure méridionale des Djebilet sont du même ordre d'importance que celles qui tombent dans le Haouz en rive gauche du Tensift.

Dans le Haouz, la pluviométrie augmente vers le sud à l'approche de la montagne et surtout sur le piémont de l'Atlas : 350 mm à Aït Ourir (altitude : 660 m), 474 mm à Dar Caïd Ouriki (altitude 800 m) situé seulement à 35 km au sud-sud-est de Marrakech, où la moyenne, sur les mêmes cinq années enregistrées, n'est que de 216 mm. Dans cette région, la saison sèche se trouve réduite à ses deux extrémités, mais davantage à l'est qu'à l'ouest. Sur cette bordure montagneuse, le volume des précipitations peut varier très rapidement en fonction de la position et des conditions de relief, et selon l'orientation des flux perturbés. Mais pour une altitude comparable, le piémont oriental est plus favorisé que le piémont occidental. Cette situation privilégiée des régions situées à l'est par rapport à celles de l'ouest serait due, selon DELANNOY (1971), à



(D'après DELANNOY - 1971)

-  Isohyète 200 mm
-  Isohyète 300 mm
-  Poste météorologique avec pluviométrie totale annuelle moyenne
-  Isothermes des moyennes des maxima de juillet
-  Isothermes des moyennes des maxima de janvier

Figure 8 – Différenciation des caractéristiques climatiques dans les régions du bassin de l'oued Tensift à l'amont du Djebel Aleb.

un environnement montagneux différent⁽¹⁾, dont l'influence s'étendrait assez loin sur l'avant pays, dans le Haouz et la région de l'oued Tensift.

En montagne, les précipitations s'accroissent avec l'altitude et leur volume annuel peut atteindre et dépasser 1000 mm, mais l'enneigement devient alors important. La neige peut rarement tomber en plaine, mais elle devient fréquente dès la bordure de l'Atlas où elle augmente avec l'altitude. De façon générale, il neige de décembre à avril inclus, au-dessus de 1500 m ; cependant, des réchauffements rapides peuvent se produire entraînant la fonte des neiges. Ce n'est qu'au-dessus de 2500 m que l'enneigement persiste longtemps.

On compte en moyenne presque un jour de grêle annuel à Marrakech, sur 40 années relevées (1931-1970). Cependant, comme pour l'ensemble des précipitations, la variabilité inter-annuelle est très importante : plusieurs années sans chute (1958 à 1963), tandis que d'autres sont plus éprouvées (5 jours en 1935, 4 jours en 1968). Les risques de grêle sont les plus importants en mars-avril.

LES TEMPERATURES (fig. 5 et 6)

La température moyenne annuelle est de 19,8°C à Marrakech. Les moyennes mensuelles varient de 11,5°C en janvier à 28,8°C en août. La température moyenne minimum annuelle est de 12,4°C (moyenne en août : 19,7°C, en janvier : 4,9°C). Les moyennes maximum mensuelles les plus fortes s'observent en juillet : 38,6°C, et les plus faibles en décembre : 19,1°C. Des risques de gelée existent en hiver.

Les amplitudes thermiques sont importantes. L'amplitude moyenne annuelle est de 15,6°C. Les amplitudes moyennes mensuelles se situent entre 20°C en juillet et 10,1°C en novembre. Si on compare les maxima et les minima, on peut dire que l'amplitude moyenne extrême entre janvier et juillet dépasse 30°C. L'amplitude entre les maxima et minima absolus est bien supérieure : le maximum absolu est de 48,1°C (juillet 1943) et le minimum absolu de -3°C (février 1935).

(1) La direction E-W de la bordure atlasique, à l'ouest, prend une orientation WSW-ENE, vers l'est. Le rétrécissement de la zone subatlasique, l'altitude plus soutenue de la ligne de crête et la proximité des confins du Moyen Atlas se conjuguent au changement d'orientation de la chaîne pour créer, davantage qu'à l'ouest, des conditions favorables à la réactivation des flux perturbés qui sont à l'origine des précipitations.

Ces amplitudes thermiques traduisent un caractère continental affirmé du climat à Marrakech. Ce caractère s'applique également à l'ensemble du Haouz, ainsi qu'aux Djebilet où, cependant, des petites variations locales doivent exister en fonction du relief. Les données recueillies à Chichaoua indiquent que le caractère continental tend à s'accuser vers l'ouest, où les températures minimales mensuelles s'abaissent de 1,5 à 2°C par rapport à celles de Marrakech.

Vers le sud, les températures conservent le même caractère jusqu'aux collines de piémont de l'Atlas. Ensuite, elles diminuent avec l'altitude. On admet au Maroc un gradient thermique moyen de 0,45, mais celui-ci est plus élevé en saison froide qu'en saison sèche (AMBROGGI et al. - 1952). C'est dire que la montagne abaisse davantage les températures en hiver qu'en été et accroît ainsi les amplitudes thermiques. Naturellement, des microclimats peuvent se créer à la faveur des reliefs. A haute altitude, la neige peut persister toute l'année dans certains couloirs rocheux abrités où elle a pu s'accumuler.

LES AUTRES FACTEURS DU CLIMAT

L'humidité relative varie considérablement selon les saisons. Elle est de 72% en janvier et de 32% en juillet. Elle tombe brutalement lorsque soufflent les vents chauds et secs d'origine saharienne.

L'évaporation moyenne annuelle (Piche) est de l'ordre de 2300 mm à Marrakech. Elle est maximum en juillet-août : 326 et 311 mm, et minimum en décembre-janvier : 88,3 et 89,4 mm.

La nébulosité est très faible. Calculée sur 15 ans (1956-1970), la moyenne de la fraction annuelle d'insolation est de 70% (cette valeur est comparable à celle des bordures septentrionale et méridionale du Sahara). De 1958 à 1967, on ne compte annuellement à Marrakech que 44 jours d'ensoleillement nul, dont 30 de novembre à février.

Les vents dominants sont de secteur W à NW. Ils apparaissent faibles dans l'ensemble. Mais lorsqu'ils s'établissent, ce sont souvent des coups de vent violents qui provoquent de nombreux tourbillons et balaiant la surface du sol non protégée. Les particules fines sont soulevées et restent en suspension dans l'air où elles peuvent être déplacées sur de grandes distances.

Les vents chauds et secs d'origine continentale influencent beaucoup le climat. Ce sont : le "Chergui" qui souffle du sud-est, et le "Sirocco" qui souffle du sud. Ces vents soufflent en moyenne 39 jours par an à Marrakech, principalement pendant la saison sèche.

CARACTERISATION DU CLIMAT

Le climat de la région de l'oued Tensift et du Haouz de Marrakech est donc caractérisé par la faiblesse et la grande irrégularité des précipitations, ainsi que par des écarts thermiques journaliers et saisonniers importants. Faiblesse des précipitations, températures élevées, évaporation importante et hygrométrie faible coïncident durant la période estivale pour définir une saison sèche extrêmement sévère.

L'expression du climat selon les indices proposés par différents auteurs traduit toujours la grande sévérité de ce type de climat méditerranéen continental.

- Selon l'indice de THORNWAITE, le climat de la région de Marrakech se place à la limite du climat subaride et du climat aride.

- Le quotient pluviothermique de EMBERGER, qui est de 24,3 à Marrakech, situe cette région dans l'étage bioclimatique aride.

- Enfin, le diagramme ombrothermique de GAUSSEN et BAGNOLS (fig. 5) met en évidence l'importante saison sèche d'avril à octobre (climat xérothermoméditerranéen, entre 150 et 200 jours secs). En dehors de cette saison biologiquement sèche, la courbe ombrique dépasse à peine la courbe thermique. Cela indique que la pluviométrie est tout juste suffisante pour permettre une végétation active pendant cette période.

Les données climatologiques qui viennent d'être examinées traduisent un caractère assez aride du climat actuel de la région de l'oued Tensift et de l'ensemble du Haouz. Cette aridité s'accroît d'est en ouest et du sud vers le nord.

On a pu observer en 1972 (MOREAU- 1973 b) que dans la région de Marrakech, les pluies naturelles n'humidifient que la partie supérieure du sol, et le déficit demeure très important après les pluies de printemps. Cette humidité superficielle diminue dès la reprise de végéta-

tion pour se rapprocher rapidement du point de flétrissement. La faible importance du stock d'eau après les pluies traduit l'aridité du climat et l'absolue nécessité d'avoir recours à l'irrigation pour l'intensification de la production agricole dans cette région.

A ce type de climat correspond une faible énergie de la pédogénèse. Les matériaux les plus récents ne portent que des sols non ou faiblement différenciés : sols peu évolués, siérozems, avec des caractères de salure et d'alcalisation vers l'ouest, c'est-à-dire dans les zones où l'aridité s'accroît.

Comme nous le verrons, les matériaux plus anciens présentent des caractères d'évolution pédologique mieux affirmés. On peut naturellement penser que ceux-ci résultent d'une durée d'évolution plus longue ; mais certains caractères paraissent incompatibles avec le type de climat actuel et seraient hérités de pédogénèses anciennes certainement liées à des variations du climat.

Les fluctuations bioclimatiques du Quaternaire, qui ont été reconnues par de nombreux auteurs au Maroc, se sont également manifestées dans cette région ; nous essaierons d'en définir les implications, à la lumière des informations résultant de l'étude des matériaux superficiels. Les nuances climatiques en fonction de la localisation géographique qui existent sous le climat actuel, se sont probablement répercutées et maintenues au cours de ces fluctuations ; mais elles ont pu être plus ou moins amplifiées, selon la proximité des reliefs importants.

LES FACTEURS BIOLOGIQUES

Les facteurs biologiques naturels ont été profondément perturbés sous l'effet de l'activité agricole et pastorale, et leur influence sur l'évolution des matériaux superficiels s'en est trouvée modifiée. L'intervention humaine se manifeste de façon particulièrement évidente vis-à-vis de la végétation, mais elle s'est également exercée de façon directe au niveau du sol, par les travaux d'aménagement agricole et d'habitat.

L'INTERVENTION HUMAINE AU NIVEAU DU SOL

En raison des conditions climatiques, les travaux les plus importants ont eu pour objectif de s'assurer la maîtrise de l'eau, partout où celle-ci est disponible et susceptible d'être utilisée. Quelques centaines de milliers d'hectares de terres cultivées sont actuellement irrigués dans le Haouz, soit par des eaux de surface, des eaux souterraines ou par des eaux d'origine mixte. L'importance et l'efficacité des travaux souvent considérables, qui ont été ainsi réalisés dans la région de Marrakech depuis des temps fort reculés, ont naturellement été tributaires des moyens techniques disponibles au moment de la réalisation.

Les systèmes d'exploitation changent selon l'origine des eaux :

- pour les eaux de surface : barrages de dérivation traditionnels sur les principaux oueds, séguias de captation des résurgences et des sources, barrages de retenue modernes sur les oueds N'fis et Tessaoute;

- pour les eaux souterraines : puisage traditionnel utilisant la traction animale (poulie ou noria), de plus en plus remplacé par des puits et forages modernes équipés de moto-pompes ; système original de rhéttaras⁽¹⁾ remontant au XI^e siècle, et qui a connu un grand développement dans le Haouz où environ 650 rhéttaras totalisent 700 km de galeries souterraines, mais qui tend lui aussi à être abandonné.

Après un acheminement plus ou moins long, pouvant facilement atteindre plusieurs dizaines de km dans le cas des eaux de dérivation, l'eau emprunte finalement un réseau hiérarchisé de séguias qui assure une distribution rationnelle entre les différents secteurs et parcelles d'un périmètre d'irrigation. Le plus souvent, des travaux de nivelage ont été nécessaires pour assurer une répartition régulière de l'eau sur les parcelles.

Plusieurs conséquences de l'activité humaine peuvent être constatées au niveau du sol .

- L'irrigation modifie radicalement la physionomie des zones où elle est pratiquée, en particulier dans la zone aride du Haouz. Tous les travaux de terrassement : puits, séguias, rhéttaras, qui ont été extrêmement importants, ainsi que les anciennes zones d'habitat, très nom-

(1) Les rhéttaras sont des galeries souterraines dont la partie amont et creusée dans l'épaisseur de la nappe phréatique. En suivant une pente inférieure à celle du toit de la nappe, et aussi à celle de la surface du sol, l'eau débouche à l'aval où elle alimente une séguia. A intervalles assez réguliers, la galerie est percée de petits puits qui assurent l'aération et facilitent l'entretien.

breuses dans le Haouz, laissent des déblais qui peuvent perturber la topographie et la partie supérieure des sols sur de vastes étendues. Dans certaines vallées de l'Atlas, des pans entiers de versant ont été aménagés en terrasses retenues par des murettes de pierres sèches.

- Naturellement, le nivelage qui accompagne la mise en place de périmètres d'irrigation perturbe aussi les sols. Les eaux d'irrigation elles-mêmes peuvent être très chargées en limons qu'elles déposent dans les séguias et sur les aires irriguées. Cet apport n'est sans doute pas négligeable compte tenu de l'ancienneté de l'irrigation sur certaines zones.

- L'irrigation modifie totalement le pédoclimat et vraisemblablement les processus pédogénétiques. Malheureusement, nous ne disposons d'aucune donnée scientifique précise sur ce sujet. Dans les sols sableux bien drainants de la basse terrasse (T₁), l'irrigation entraîne une diminution de la salure initialement élevée dans les conditions naturelles. Par contre, ailleurs, sur des sols peu perméables : finement limoneux et argileux, elle peut favoriser la salinisation et l'alcalisation par l'utilisation d'eaux de qualité insuffisante.

- L'irrigation, surtout si elle est permanente, se traduit généralement par une augmentation du taux de matière organique du sol. L'activité biologique semble également améliorée. Dans les conditions naturelles, seuls les sols hydromorphes présentent des traces d'activité biologique assez importantes et paraissant actuelles. De nombreux éléments coprogènes existent aussi dans les profils encroûtés, entre les concentrations calcaires, mais ces éléments ne paraissent pas actuels et doivent être plutôt hérités du passé ; aucune présence de mésofaune, susceptible d'en être l'origine, n'a été observée dans ces sols.

- La mise en culture, surtout si elle touche des sols alcalisés (même faiblement), entraîne une dégradation importante de la structure, qui peut encore être aggravée par la submersion répétée dans le cas des sols irrigués. Les sols du Haouz, à texture dominante limoneuse, sont très battants. Laissés nus sans végétation, ils sont très susceptibles à l'érosion. L'érosion en nappe s'y développe et les eaux de ruissellement se concentrent en petits ravinements qui confluent pour former des entailles de plus en plus profondes vers l'oued Tensift. Sur ces sols, la surface fraîchement travaillée est également particulièrement sensible à l'érosion éolienne ; les tourbillons d'air, puissants et fréquents dans le Haouz, soulèvent les particules fines qui sont ensuite transportées avec les vents ; le glaçage de la surface semblerait plutôt jouer un rôle protecteur vis-à-vis de ce type d'érosion. Sur les sols

caillouteux, le travail à l'araire, dont la profondeur n'excède guère 10 cm, a probablement contribué à accroître la pierrosité superficielle en favorisant l'appauvrissement en particules fines ; dans l'état actuel, cette pierrosité est un facteur de résistance à l'érosion.

LA VEGETATION

Dans les conditions sévères du climat régional, la mise en culture et la pratique de l'élevage extensif sur les terrains non cultivables ont contribué à la dégradation de la végétation naturelle, parfois même, à sa complète transformation dans le cas des plantations irriguées. Les troupeaux de caprins et ovins, broutant toujours les plus jeunes pousses, exercent une action néfaste vis-à-vis des espèces arbustives, lorsque leurs passages se répètent à intervalles trop rapprochés.

La végétation forestière n'existe que dans l'Atlas jusqu'à 2.000 ou 3.000 m, selon l'exposition des versants. Mais dans cette montagne à fort peuplement humain, la forêt a reculé sous l'effet d'une exploitation abusive et de la dégradation des sols consécutive aux défrichements, laissant ainsi le champ libre à l'érosion sur des versants entiers. La forêt reste encore bien représentée dans plusieurs vallées de l'Atlas où elle est essentiellement composée de chênes verts, genévriers, thuyas, pins d'Alep et tamaris. Les reboisements réalisés sur des surfaces importantes, notamment sur les collines de piémont, sont également à base de résineux. Le fond des vallées atlasiques abrite des noyers et aussi, dans certains cas, des plantations de pommiers, de pruniers, et même des cerisiers.

Dans le Haouz et sur les Djebilet, la végétation spontanée correspond à une maigre steppe essentiellement herbacée, surtout à base de graminées et de composées. Seuls les jujubiers (*Zizyphus lotus*) constituent les témoins d'une végétation arbustive qui devait prédominer dans le passé. Ils constituent des touffes éparses en rejets vigoureux qui font l'objet d'une exploitation intensive (chauffage, clôtures) ; la taille importante des souches enterrées qu'ils ont développées témoigne de leur implantation très ancienne. Dans les zones d'aridité décroissante, des pistachiers (*Pistacia atlantica*) se joignent aux jujubiers, puis sur la bordure de l'Atlas apparaît le doum (*Chamaerops humilis*). Sur les sols irrigués, les adventices se développent abondamment : chiendent et soucis, entre autres, prospèrent sur les zones d'irrigation permanente.

Beaucoup de plantes sont ubiquistes ; mais certaines

conditions particulières n'acceptent que les espèces bien adaptées. Tel est le cas des zones salées qui favorisent les espèces halophiles : *Atriplex halimus* sur les sols à salure modérée ; *Limonium ornatum* sur les sols moyennement ou assez fortement salés, par plages aux endroits les plus humides ; *Sueda fructicosa* et *Frankenia corymbosa* supportent des salures fortes qui s'accompagnent d'une certaine humidité (fréquentes en bordure de séguia) ; *Mesembryanthemum nodiflorum* caractérise les zones fortement salées et non humides ; *Salicornia arabica* est lié à la proximité de la nappe phréatique souvent associée à des joncs ; *Tamarix galica* est limité aux sols d'alluvions salés du lit de divagation des oueds.

Certaines espèces sont nettement influencées par la nature texturale des sols : *Peganum armala* sur limons calcaires, sableux ou graveleux, et encroûtement même légèrement salés ; *Scolimus hispanicus*, abondant sur les sols limoneux, disparaît sur les sols plus argileux où il est remplacé par *Scolimus maculatus*.

Outre les cultures annuelles : surtout céréales en culture sèche et maraîchage en zone irriguée, l'homme a installé des plantations fruitières qui prennent de plus en plus d'extension avec la progression des possibilités d'irrigation. Les oliveraies sont sans doute les plus anciennes ; l'implantation des agrumes est souvent contrariée par la salure et le calcaire ; par contre, les abricotiers sont installés un peu partout, même sur les carapaces calcaires après écroutage. Des treillages existent également à l'ouest de l'oued N'fis, pour la production de raisin de table. Les amandiers sont traditionnellement réservés aux plus mauvaises terres calcaires non irrigables ; figuiers et figuiers de Barbarie prospèrent un peu partout, les derniers étant souvent utilisés comme haies de clôture.

N'oublions pas, enfin, de mentionner la vaste palmeraie de 13.000 ha qui constitue le décor naturel de Marrakech, et sans laquelle la capitale du Sud perdrait son charme particulier de ville oasis, si apprécié des visiteurs.

A côté des zones irriguées, la pression démographique est telle (77 habitants/km² dans le Haouz) que les surfaces cultivées en sec ont une extension maximum. Ces surfaces sont composées, pour une bonne part, de sols à fertilité réduite, qui englobent les sols d'érosion peu profonds (15-20 cm) et à forte pierrosité, situés sur les carapaces calcaires, sur les cailloutis et quelques basses

pententes rocheuses des Djebilet. Seuls, les pententes trop abruptes, les croûtes affleurantes et les affleurements rocheux sont laissés en terrains de parcours permanents. Les cultures sont exclusivement céréalières et les résultats sont toujours très aléatoires. Lorsque la pluviométrie est insuffisante, surtout au printemps, les céréales ne montent pas à épiaison ; elles sont alors livrées en pâturage au bétail. Au nord de l'oued Tensift, les Djebilet constituent une vaste zone consacrée à l'élevage très extensif.

La faiblesse du tapis végétal n'assure que des restitutions très limitées de débris organiques au sol. Aussi le taux de matière organique des horizons humifères est-il très bas : souvent moins de 1% ; cependant, dans les périmètres irrigués, ce taux tend à augmenter et peut atteindre 2%. L'enracinement de type herbacé, surtout celui des graminées, semble favoriser la formation des pseudomycéliums calcaires dans la zone d'activité racinaire, à la partie supérieure du sol. Les plantes halophiles, quant à elles, concentrent les sels dans leurs organes puis les restituent ensuite au sol, entretenant ainsi la salure superficielle.

CHAPITRE II

CARACTERISATION DES MATERIAUX SUPERFICIELS

L'oued Tensift représente le niveau de base local autour duquel s'organise la topographie d'une vaste région qui englobe les Djebilet, en rive droite, le Haouz de Marrakech et le versant nord de l'Atlas, en rive gauche. L'Atlas et son piémont ne sont pas inclus dans les limites géographiques de notre étude, mais ils ne peuvent pas être ignorés en raison de leur influence qui s'est manifestée dans les régions aval. Les épandages alluviaux du Haouz et les alluvions de l'oued Tensift illustrent l'importance de cette influence.

On ne peut manquer d'être frappé par la dissemblance du paysage au sud et au nord de l'oued Tensift. Au sud, la plaine du Haouz est caractérisée par une topographie plane et monotone, seulement interrompue au voisinage de l'oued par quelques pitons, comme ceux du Djebel Gueliz qui dominent la ville de Marrakech. Au nord, au contraire, les Djebilet déterminent un paysage varié, le plus souvent très accidenté, malgré la modestie des altitudes atteintes par les sommets.

Les toposéquences qui ont été étudiées sur la partie méridionale des Djebilet et sur les bordures de l'oued Tensift fournissent les données essentielles de cette étude. Mais les observations ponctuelles, réalisées ailleurs, permettent d'aboutir par extension à une interprétation plus large des données. C'est ainsi que certains des éléments géomorphologiques facilement observables au nord de l'oued Tensift, où la différenciation du modelé est bien marquée, peuvent être rapprochés des nappes d'épandages

alluviaux au sud de l'oued et permettent de supposer l'existence d'une évolution similaire.

Trois grands ensembles morphogénétiques peuvent être distingués dans la région. Ce sont de l'amont vers l'aval :

- les zones d'érosion à topographie différenciée ;
- les zones de glacis ;
- les terrasses de l'oued Tensift.

La différenciation géomorphologique a induit des facteurs d'ordre stationnel qui ont largement suscité les caractères actuels des matériaux superficiels. L'étude de ces matériaux sera donc développée en considérant successivement les différentes situations géomorphologiques reconnues. Dans chaque cas, l'élément de paysage concerné sera succinctement défini par ses caractères généraux de surface (situation, modelé, aspect superficiel), avant de présenter les caractères lithologiques et pédologiques des matériaux proprement dits (observations après excavation). De cet ensemble de données, se dégageront des indications très utiles concernant les processus d'évolution qui ont affecté les matériaux superficiels dans la région étudiée.

La représentation cartographique des matériaux superficiels, qui fait l'objet de la figure 13, n'intéresse que la région de l'oued Tensift située à l'ouest de Marrakech. Cette région est la plus intéressante à considérer puisqu'elle rassemble toutes les catégories de matériaux et les différentes situations géomorphologiques qui ont été reconnues dans le cadre de notre étude. C'est également la région pour laquelle nous disposons d'une couverture cartographique la plus étendue (CONCARET- 1960 a et b ; MISSET et MOREAU- 1971 ; MOREAU- 1973 a). Toutefois, les zones situées au nord et à l'ouest de Sidi Zouine n'avaient pas été cartographiées. Pour compléter la cartographie des matériaux superficiels sur ces zones, nous avons travaillé sur une couverture aérienne à 1/20.000 jusqu'au méridien 8°30'. Au-delà de ce méridien et jusqu'à la limite ouest (Djebel Aleb), nous ne disposons plus que d'une mosaïque photographique, sans possibilité de vision stéréoscopique. Mais la restriction des matériaux aux formations encroûtées (G₃ et T₃) et aux affleurements primaires, présentant un fort contraste visuel, rendait utilisable la mosaïque photographique dans cette région jusqu'au Djebel Aleb.

LES ZONES D'ÉROSION A TOPOGRAPHIE DIFFÉRENCIÉE

Ce sont les zones d'érosion du vieux socle primaire qui caractérisent l'ensemble des Djebilet au nord de l'oued Tensift, ainsi que quelques reliefs très localisés au sud de l'oued.

Le modelé

Il s'agit d'une topographie d'érosion bien différenciée, où la forme du modelé conduit à distinguer des zones à reliefs accusés et des zones plus doucement vallonnées.

Les zones à reliefs accusés

Elles couvrent la plus grande partie de la région comprise entre l'oued Tensift et la bordure nord des Djebilet. De petites collines le plus souvent fortement redressées et à crêtes vives se juxtaposent pour former une topographie très accidentée. Ces collines sont séparées les unes des autres par des thalwegs d'érosion qui drainent les Djebilet, sur toute leur largeur du nord au sud vers l'oued Tensift. Il n'existe pas de ligne de séparation des eaux, ou celle-ci a été rejetée sur la bordure nord des Djebilet, au-delà de laquelle le drainage s'effectue vers la plaine de la Bahira. Il s'agit d'un relief hercynien résiduel que J. DRESCH a pu qualifier de "crêtes appalachiennes".

Les Djebilet ne constituent donc pas une chaîne de montagnes modeste, mais plutôt une association de collines vigoureuses, pouvant être, chacune, considérée comme une petite montagne. L'appellation de "Djebilet", ou petites montagnes, se trouve bien justifiée. Un exemple de petite montagne, parmi les plus réduites, est fourni par la colline Tabouchent de la toposéquence 2 (photo 2, pl. 1), et nous avons constaté que celle-ci fonctionnait effectivement comme une unité physiographique de montagne.

Les reliefs les plus vigoureux correspondent aux roches les plus résistantes à l'érosion : quartzites, schistes quartzeux, grés, calcaires durs et micaschistes. Des pentes de l'ordre de 35 à 40% ne sont pas rares. Mais les altitudes restent toujours modestes : 1022 m au Djebel Karrouba dans les Djebilet orientales, et 944 m au Djebel Sarhlef dans les Djebilet occidentales. Ces sommets domi-

nent les thalwegs rocheux environnants de quelque 400 à 450 m, mais la dénivelée est généralement moindre pour les autres reliefs. Bien que les sommets les plus élevés se situent au nord des Djebilet, le modelé peut rester très accidenté jusqu'au voisinage de l'oued Tensift ; certains reliefs surplombent même directement le lit de l'oued. Cependant, à plusieurs endroits, les collines s'écartent du Tensift pour laisser la place à un modelé de type vallonné. A l'ouest, elles se retirent à plus d'une dizaine de km au nord de l'oued Tensift.

Au sud de l'oued Tensift, il se trouve également quelques petits pointements vigoureux du socle primaire qui percent la couverture alluviale : Djebel Ardouze près de Mzoudia, Djebel Gueliz près de Marrakech, et quelques autres reliefs de moindre importance apparaissant en rive gauche de l'oued.

Les zones vallonnées

Ce sont des zones à modelé ondulé, d'où ne se détache aucun relief important ; elles se situent donc à des altitudes plus basses que les zones à reliefs accusés. Elles correspondent à des formations primaires constituées de roches relativement plus sensibles à l'altération et à l'érosion : schistes fins, granites.

Ces zones peuvent se trouver enclavées dans les zones à reliefs accusés, puisqu'il suffit que des roches résistant différemment à l'érosion soient juxtaposées pour que les deux types de modelé se développent côte à côte. Or, il existe dans les Djebilet différentes roches qui présentent un faciès très varié, même au sein des formations du même âge, et ceci favorise l'irrégularité de la topographie.

La distinction entre les deux types de modelé est relativement aisée s'ils peuvent s'exprimer séparément sur des étendues suffisamment grandes. Mais elle devient parfois plus délicate lorsqu'il existe des formes intermédiaires : reliefs en croupes arrondies plus ou moins dressées par exemple. Selon l'importance de ces formes intermédiaires et leur environnement, celles-ci peuvent être assimilées à l'un ou à l'autre type. Nous verrons, d'ailleurs, que les caractères d'évolution pédologique des différentes zones de la topographie d'érosion différenciée sur roches primaires présentent une grande similitude ; ce qui permettra de considérer l'ensemble comme une seule entité morpho-pédogénétique dans la suite de l'étude.

Sur la bordure méridionale des Djebilet, les zones vallonnées se développent en plusieurs endroits. Elles sont dominées, vers le nord, par les sommets irréguliers des "petites montagnes". Vers l'aval, au contraire, elles s'abaissent vers l'oued Tensift sans rupture de pente très marquée. Elles se raccordent ainsi au glacis encroûté G3, ou bien rejoignent directement la vallée de l'oued.

Au nord et à l'est de Marrakech, les zones à reliefs accusés se développent souvent jusqu'au voisinage de l'oued Tensift. Elles correspondent aux aires de métamorphisme de contact des granites hercyniens indiquées sur la carte géologique au 1/500.000. Les massifs granitiques qu'elles entourent ont été excavés (photo 1, pl. 1) et présentent une pente assez faible et régulière vers le sud. A l'amont s'est développée une topographie vallonnée se raccordant au glacis G3 vers l'aval (photo 9, pl. 2) ; elle n'est jamais très étendue dans cette région et ne dépasse guère 1 à 2 km du nord au sud.

La partie supérieure de la toposéquence 1 correspond à une telle topographie : profils D22, D23, D69 et D38. Les ondulations du profil longitudinal en sommet d'interfluve sont favorisées par l'existence de différents faciès de roche, et surtout par la présence de filons de quartz très résistants auxquels s'accroche la surface.

Ces zones vallonnées prolongent, vers l'amont, les interfluves dégagés à l'aval, sur le glacis encroûté G3. L'étude de la toposéquence 1 permet de penser qu'elles ont été façonnées, pour l'essentiel, au cours des mêmes phases de morphogénèse que le glacis. En raison de leur situation topographique, l'aplanissement n'a pas été réalisé sur ces zones ; mais elles ont été, par la suite, attaquées par les mêmes phénomènes d'érosion qui ont incisé les thalwegs actuels.

Vers l'ouest, les zones vallonnées se généralisent entre l'oued Tensift et les premiers reliefs importants des Djebilet qui reculent à une dizaine de km au nord de l'oued dans cette région. Il s'agit de schistes fins paraissant assez fragiles, mais fréquemment armés de nombreux filons et filonnets de quartz. A l'approche du Tensift, la topographie vallonnée se prolonge vers l'aval par des zones d'érosion du glacis G3 et de la terrasse T3, où le socle primaire mis en affleurement portent des témoins des formations encroûtées G3 et T3 (fig. 13).

On découvre ici un paysage de plus en plus vallonné vers l'ouest. Les nombreux thalwegs parallèles qui rejoi-

gnent l'oued Tensift délimitent des interfluves étroits s'étirant du nord vers le sud. Le lit de l'oued est beaucoup plus encaissé dans cette partie de sa vallée qu'au nord et à l'est de Marrakech, et cela explique le creusement plus important des thalwegs affluents (fig. 9 et 10). Mais la plupart ne sont plus fonctionnels et n'ont pas réussi à régulariser leur profil longitudinal par rapport au niveau actuel du Tensift.

Au sud de l'oued Tensift, il n'a été observé qu'une zone très limitée pouvant être assimilée à la topographie d'érosion vallonnée, en raison d'une similitude des caractères d'évolution résiduels. Il s'agit d'un affleurement de schistes fins qui constitue un léger bombement se dégageant difficilement du glacis encroûté G3 environnant. Cet affleurement ne représente que quelques hectares au nord de la zone irriguée de la Targa.

Les caractères lithologiques et pédologiques

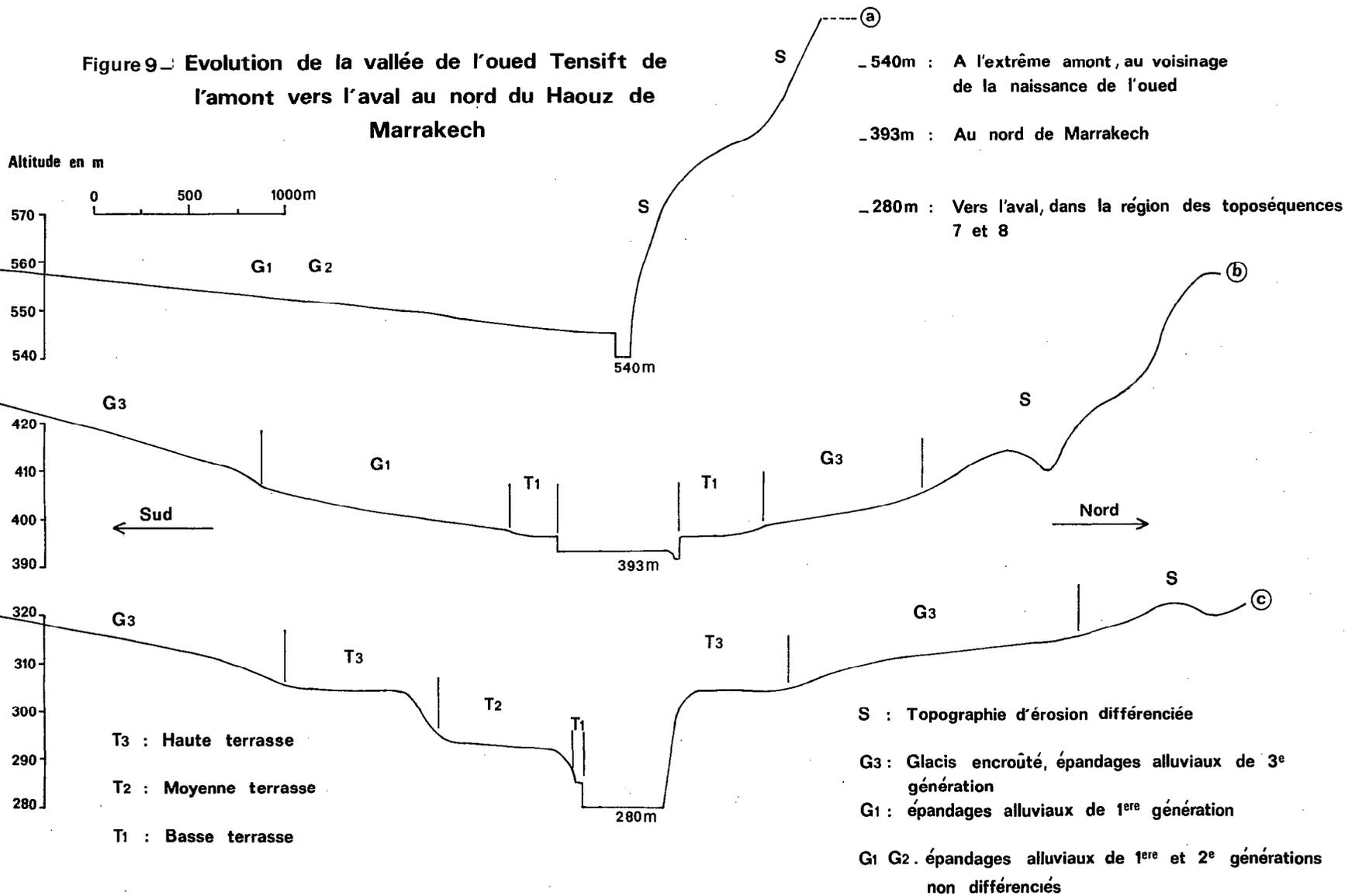
La topographie d'érosion du vieux socle primaire se caractérise par l'abondance des affleurements et des cailloux résiduels. Il n'y a pas lieu de séparer ici les zones à reliefs accusés des zones vallonnées, car la pierrosité est partout très forte et les sols peu épais sont comparables. Cependant, les zones à reliefs accusés, dont l'osature est constituée par les roches les plus résistantes à l'altération et à l'érosion, possèdent une proportion plus importante d'affleurements rocheux.

Il existe trois grands types de sols : des sols minéraux bruts, des sols peu évolués d'érosion et des sols rouges méditerranéens érodés et remaniés, dont l'évolution a été profondément marquée par l'érosion.

Les sols minéraux bruts sont représentés par les affleurements rocheux irrégulièrement recouverts d'un pavage de cailloux anguleux issus de la fragmentation de la roche. Ce sont des lithosols. Dans les nombreuses carrières ouvertes dans les Djebilet, on observe des dépôts calcaires qui remplissent les diaclases de la roche jusqu'à plusieurs mètres de profondeur.

Les sols peu évolués d'érosion, régosoliques ou lithiques, se caractérisent par un horizon de remaniement caillouteux de 20 à 40 cm d'épaisseur (D69, t.s.1 ; D32, t.s.2). Cet horizon possède une matrice de

Figure 9 : Evolution de la vallée de l'oued Tensift de l'amont vers l'aval au nord du Haouz de Marrakech



terre fine dont la couleur varie selon l'environnement. Ainsi, sur les pentes les plus faibles, la couleur apparaît fréquemment rougeâtre, se situant dans la planche des 5 YR. Mais elle est plus brunâtre : 7,5 YR et 10 YR, dans les zones où l'érosion a été plus vive ; notamment sur pentes fortes, où le matériau rubéfié qui a pu exister a été plus radicalement éliminé.

Cet horizon de remaniement repose irrégulièrement sur la roche en place, le plus souvent faiblement altérée. Mais elle est presque toujours imprégnée de calcaire déposé dans les diaclases. Parfois, ce calcaire constitue des poches de plusieurs dizaines de cm de large et semble digérer la roche altérée (photo 4, pl. 1). Accompagnant le calcaire, des veines de terre fine brunâtre, bien travaillée par la faune, pénètrent en profondeur à partir de l'horizon supérieur. L'horizon de remaniement n'est pas calcaire, mais très souvent de fins pseudomycéliums apparaissent à sa base. Ces pseudomycéliums doivent correspondre à une redistribution du calcaire favorisée par l'enracinement herbacé graminéen, à partir de la réserve calcaire contenue dans la roche érodée.

La matière organique est en faible quantité : moins de 1%, mais elle pénètre assez bien en profondeur dans la terre fine associée aux concentrations calcaires. Ce caractère, ainsi que la différenciation d'un "mini-profil" calcaire dans l'horizon de remaniement, pourrait rapprocher ces sols de sols isohumiques ; surtout si l'on considère les profils reposant sur une roche altérée à accumulation calcaire, qui favorise l'approfondissement du sol par la pénétration de veines terreuses (apparemment sous l'effet de l'activité biotique). La tendance à la steppisation, qui a pu être plus active dans le passé, a été contrariée par l'action prédominante de l'érosion vis-à-vis de ces sols.

Comme les sols peu évolués d'érosion, *les sols rouges méditerranéens* possèdent un horizon de remaniement superficiel caillouteux. Mais cet horizon repose ici sur un matériau rubéfié d'épaisseur variable, ne dépassant guère 60 cm. La couleur rouge se situe dans les planches 2,5 YR et 5 YR. Il s'agit de sols rouges méditerranéens, dont l'érosion à la partie supérieure est à l'origine de l'horizon de remaniement. Les mieux développés de ces sols sont situés sur granite. Cette roche semble en effet favorable au maintien des sols rouges. Ils possèdent alors une texture homogène, sablo-argileuse ou argilo-sableuse, et l'horizon de remaniement a été enrichi en cailloux de quartz provenant de nombreux filons qui lardent les roches granitiques. Dans le cas des textures suffisamment argi-

leuses, ces sols présentent la structure polyédrique caractéristique des sols rouges méditerranéens : petits polyèdres anguleux ≤ 5 mm, avec des facettes luisantes ; dans le cas contraire, la structure apparaît plus grossière et moins bien développée. Sur schistes, la résistance différente des feuilletés à l'altération aboutit à des sols de profondeur très irrégulière, à forte pierrosité sur toute l'épaisseur et sans limite bien distincte entre les zones remaniées et le matériau en place.

Ces sols rouges ne sont pas calcaires, mais un horizon d'accumulation existe généralement à la base du profil, au-dessus de la roche-mère. Le calcaire y apparaît sous forme de pseudomycéliums, d'amas, ou de granules. Les teneurs sont très variables selon les profils ; les plus élevées peuvent atteindre 8%. Comme partout ailleurs, le calcaire se dépose également dans les fissures et dans les diaclases de la roche jusqu'à plusieurs mètres de profondeur (photo 12, pl. 2). La matière organique ne dépasse pas 1% dans la terre fine de l'horizon supérieur, et elle diminue rapidement au-dessous.

La généralisation de l'horizon de remaniement indique que ces sols ont été soumis à une érosion importante, provoquant la concentration relative des éléments grossiers en surface. La présence d'un horizon superficiel à forte concentration de cailloux semble actuellement jouer un rôle protecteur vis-à-vis de l'érosion, pour le sol sous-jacent. Fortement marqués par l'érosion, ces sols correspondraient assez bien à la notion de sols pénévulés. Cependant la pédogénèse rubéfiante semble très faible, sinon inexistante sous le climat actuel. Ce sont des sols rouges méditerranéens anciens, érodés, vraisemblablement déjà pénévulés pendant leur formation.

Les zones à topographie différenciée sur affleurement du socle primaire sont marquées par une action prédominante de l'érosion qui se traduit par l'existence de sols de profondeur nulle ou faible, assemblés en complexes. Suivant la situation topographique et la résistance différente des roches, l'érosion différentielle, qui a plus ou moins bien déblayé les niveaux supérieurs affectés par la pédogénèse, est à l'origine du modelé et des sols actuels observés sur ces zones.

L'érosion n'a pas réussi à éliminer complètement les caractères d'une ancienne pédogénèse rubéfiante, ni à contrarier la différenciation de "mini-profils" calcaires avec une tendance à la steppisation dans les matériaux remaniés. Ces observations indiquent bien que ces zones ont connu des périodes d'évolution différentes au cours de leur histoire :

- sols rouges ;
- érosion et remaniement ;
- tendance à la steppisation des sols d'érosion, maintien des sols rouges non totalement érodés.

Cette modification des conditions d'évolution paraît être, selon toute évidence, d'origine climatique.

LES ZONES DE GLACIS

Il s'agit des zones topographiques offrant un profil longitudinal relativement plat, établies entre les zones d'érosion à relief différencié, à l'amont, et les terrasses de l'oued Tensift, à l'aval. Nous y distinguerons :

- un ancien glacis encroûté (G3) ;
- des épandages meubles plus récents (G2 et G1).

L'ANCIEN GLACIS G3

Il correspond aux vastes espaces à carapace calcaire affleurante, sur la bordure méridionale des Djebilet et dans le Haouz occidental.

Sur la bordure méridionale des Djebilet, ce glacis s'est bien développé sur les roches peu résistantes à l'altération et à l'érosion : schistes fins non quartzeux, granites (photo 2, pl. 1 ; photo 9, pl. 2). Il disparaît rapidement vers le nord avec le relèvement de l'altitude. La pente reste toujours très modérée, ne dépassant pas 1%.

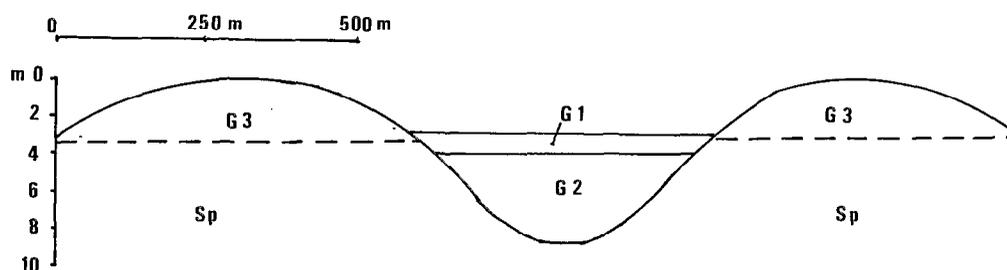
Ce glacis encroûté apparaît surtout au nord de Marrakech : en bordure et à l'ouest de la route vers El Jadida et Safi (T.s. 4 et 6), en avant du Djebel Ramram (t.s. 1), et dans la boutonnière granitique des Oulad Mansour à l'est de la route vers Casablanca. Dans toute la partie ouest des Djebilet, le glacis ne subsiste plus que sous forme de petites buttes témoins (t.s. 8) ou de placages d'encroûtements, et il n'a jamais dû y être très

étendu vers le nord, compte tenu de la prépondérance des affleurements rocheux dans cette région. Cependant, les dépôts quaternaires encroûtés figurant sur la carte géologique à 1/500.000, et qui bordent l'oued El Halouf en pénétrant les Djebilet vers le nord, doivent appartenir à ce glacis.

Au sud de l'oued Tensift, le glacis contemporain du glacis G3 de la bordure méridionale des Djebilet ne peut pas être reconnu dans son ensemble. En effet, le transport et l'étalement des matériaux atlasiques les plus récents dans tout le Haouz ont fortement perturbé les formations antérieures, qui ont été irrégulièrement érodées, remaniées ou recouvertes. Mais à l'approche de l'oued Tensift, dans la région de Marrakech, et vers l'ouest jusqu'au contact avec les formations sédimentaires marines dans la région de Chichaoua, les zones à carapace calcaire sont encore très bien représentées et se distinguent nettement des épandages alluviaux plus récents. Elles correspondent à la partie aval encroûtée (t.s. 5 et 7) d'un vaste glacis d'épandage G3 s'étalant sur toute la largeur de la plaine du Haouz, depuis les piémonts de l'Atlas jusqu'à la rive gauche de l'oued Tensift.

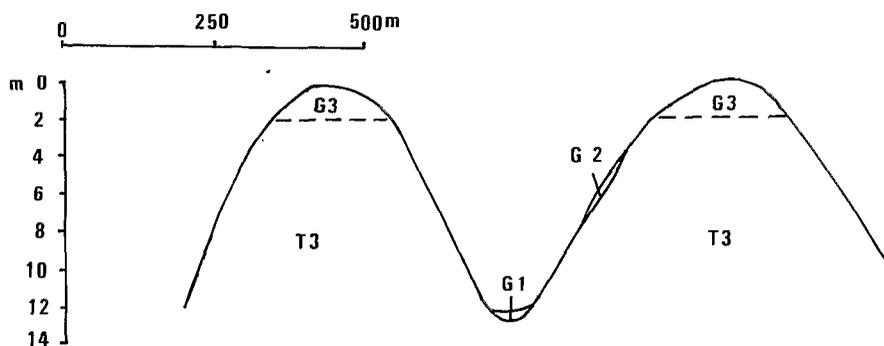
Les zones encroûtées ne constituent qu'une bande étroite et intermittente en bordure de l'oued Tensift, dans la région de Marrakech ; mais elles se généralisent et s'étendent parfois sur plus de 10 km de large au sud de l'oued, vers l'ouest. La plus grande puissance des encroûtements doit être à l'origine de la meilleure conservation de la surface encroûtée dans cette région. La pente orientée vers l'oued Tensift est de l'ordre de 0,5% ; elle apparaît donc ici plus faible que sur la bordure méridionale des Djebilet.

Au nord comme au sud de l'oued Tensift, le glacis G3 a été entaillé et découpé en interfluves étroits s'étirant vers l'oued : dans certains cas particuliers, des inversions de relief se sont produites (t.s. 4). L'ensemble présente actuellement une topographie ondulée. Les entailles s'approfondissent et le vallonnement s'accroît vers l'aval de l'oued Tensift avec l'encaissement de sa vallée (fig. 10). Sur la bordure méridionale des Djebilet, et de façon plus générale vers l'ouest, les roches primaires affleurent sur de larges zones où elles ont été vraisemblablement dégagées par l'érosion du glacis G3, dont il ne subsiste plus que quelques témoins très localisés. Ces zones ont été différenciées par des surcharges sur la carte de la figure 13. Si l'extension du glacis G3 devait effectivement y être importante, il pourrait également exister de faibles reliefs dépourvus d'encroûtements et qui, usés



I - Au Nord de Marrakech .
(un seul niveau de terrasse:T1, de l'oued Tensift)

- G1: épandages alluviaux récents de 1^e génération.
- G2: épandages alluviaux de 2^e génération.
- G3: ancien glacis encroûté, épandages de 3^e génération.
- T3: alluvions de la haute terrasse
- Sp: socle primaire



II - Dans la région de la toposéquence 8, vers l'Ouest.
(Trois niveaux de terrasse: T1, T2 et T3, de l'oued Tensift)

Figure 10 - Coupe transversale des thalwegs affluents de l'oued Tensift. actuellement non actifs, situés dans deux régions différentes sur la bordure méridionale des Djebilet

par l'érosion, ne se distinguent plus des affleurements environnants.

Les matériaux

A l'exception de la toposéquence 3, le glacis encroûté G3 apparaît sur toutes les autres toposéquences étudiées, au moins de façon partielle. Ce glacis s'est établi par érosion et arasement à certains endroits ou par remblaiement de matériaux allochtones dans la majorité des cas (dépôts de 3^e génération G3).

Au nord de l'oued Tensift, le glacis G3, qui raccorde les collines des Djebilet à l'oued, s'étend très irrégulièrement sur le socle primaire ou sur des dépôts d'épandage. A plusieurs endroits, et souvent vers l'amont, il correspond à des schistes ou à des granites arasés ; ailleurs il est constitué par les épandages alluviaux originaires des Djebilet. Le remblaiement est d'épaisseur très variable, puisqu'il peut varier d'une dizaine de cm à 3 ou 4 m ; mais cette épaisseur n'est jamais apparue très importante, au-delà de 4 m. Le matériau est le plus souvent de caractère grossier, riche en cailloux anguleux de quartzites et schistes (jusqu'à 10-15 cm). Mais les dépôts à texture fine existent également. On peut même observer une séquence évolutive verticale en fonction de la granulométrie. Cette séquence n'apparaît pas partout selon le même ordre de disposition, et cela n'est pas surprenant si l'on considère que le matériau s'est mis en place sous l'effet d'un écoulement diffus et divaguant très irrégulier, avec des remaniements et des reprises répétées. Cependant dans la majorité des profils observés, la séquence présente un matériau de texture fine vers le bas, devenant plus grossier vers le sommet. Le dépôt profond apparaît alors généralement rougeâtre et cette couleur disparaît vers le sommet. Dans certains profils, il s'agit indiscutablement d'un dépôt issu d'un ancien sol rouge méditerranéen, ultérieurement recouvert par des dépôts caillouteux arrachés aux affleurements rocheux sur les collines. Sur la toposéquence 6, des fragments de coquille d'escargot bien conservés ont été observés à la base des dépôts G3.

Au sud de l'oued Tensift, il n'existe pas de zone d'arasement du socle, à l'exception de la périphérie des quelques pointements primaires qui percent la couverture d'épandages alluviaux. Le matériau de remblaiement qui occupe de vastes étendues est généralement fin, avec parfois des passées caillouteuses. Les cailloux sont ici des galets bien arrondis de différentes roches originaires de l'Atlas. Ces galets témoignent de l'existence d'un écoule-

ment divaguant, ayant mis en place les épandages essentiellement fins (à dominante limoneuse) qui représentent le glacis G3 dans cette partie septentrionale du Haouz. La couleur du matériau est brun clair, sans manifestations plus rougeâtres. L'épaisseur paraît plus régulière qu'au Nord de l'oued, mais elle ne doit guère dépasser 4 à 5 m.

Sur les deux rives de l'oued Tensift, les épandages qui constituent l'extrême aval du glacis G3 s'avancent sur les alluvions grossières de l'oued, qu'ils recouvrent.

L'évolution supergène

L'accumulation et l'induration du calcaire sous forme de carapace caractérisent l'ensemble du glacis G3 au sud comme au nord de l'oued Tensift. Les dalles compactes et les croûtes feuilletées calcaires apparaissent irrégulièrement en surface ; elles sont souvent disloquées et fragmentées. Au-dessous, l'encroûtement devient rapidement granulo-nodulaire, et l'épaisseur peut atteindre plusieurs mètres. Cependant, plusieurs variantes d'encroûtement calcaire ont été observées ; elles seront examinées au chapitre III, avec l'étude des différentes formes d'accumulation calcaire. Dans les dépôts G3, les éléments grossiers ont pu connaître une certaine altération : peu d'évolution pour les quartzites et les schistes quartzeux, désagrégation totale dans le cas des roches grenues ; les graviers feldspathiques nombreux dans les matériaux d'origine granitique sont totalement pulvérulents.

La carapace calcaire, qui tend à fossiliser la surface où elle s'est développée, a été néanmoins soumise à l'érosion. Celle-ci a abouti à la formation d'un niveau de remaniement superficiel, riche en débris calcaires grossiers. Ce remaniement se retrouve pratiquement partout sur le glacis G3 et caractérise toutes les formations anciennes de la région.

Les sols se développant sur les encroûtements calcaires superficiellement remaniés sont des sols peu évolués d'érosion. Plus rarement, on observe des sols minéraux bruts d'érosion (lithosols), quand la croûte ou la dalle affleurent sans dislocation importante. Dans certains cas, le remaniement superficiel repose directement sur un encroûtement granulo-nodulaire ; l'approfondissement du profil se réalise facilement dans ce matériau pour aboutir à la formation de sols considérés comme bruns modaux. Le plus souvent, on peut penser que la croûte a été complètement démantelée par l'érosion, car on en retrouve des fragments dans l'horizon remanié. Mais elle paraît ne pas

avoir existé dans certains cas, en particulier dans les zones situées à l'extrême amont du glacier.

Les *sols peu évolués d'érosion* se développent sur un matériau de remaniement dont l'épaisseur varie généralement de 20 à 40 cm. Le remaniement contient de nombreux débris calcaires de toutes tailles ; les plus grossiers, pouvant atteindre 10-15 cm, correspondent à des fragments de croûte ou de dalle. Ils sont de forme irrégulière, mais généralement émoussés. Dans certaines zones, il y a aussi des cailloux rocheux semblables à ceux qui existent dans la croûte sous-jacente en place au même endroit : cailloux anguleux de schiste ou quartzite au nord de l'oued Tensift, galets d'origine atlasique au sud.

Dans ce niveau de remaniement, deux horizons peuvent être le plus souvent distingués :

- un horizon superficiel de 10 à 15 cm d'épaisseur, qui correspond à un horizon de culture. Il est motteux et généralement lamellaire en surface.

- un horizon inférieur irrégulièrement structuré : souvent polyédrique, parfois massif. Cet horizon se distingue en outre fréquemment du précédent par l'existence d'engainements calcaires (pseudomycéliums) autour des pores.

Le sol est limité à faible profondeur par une croûte (ou une dalle) calcaire dure. Mais la limite entre le remaniement superficiel et la croûte apparaît le plus souvent ondulée et irrégulière, suivant le démantèlement plus ou moins important de cette dernière. Selon les zones considérées, cette croûte peut être assez bien conservée en place, dure et compacte, ou bien irrégulièrement fissurée, avec de larges éléments basculés et décalés. Ces éléments ont pu à leur tour subir une fragmentation plus poussée qui en réduit la taille et en facilite le déplacement. On aboutit ainsi à des profils intermédiaires passant au deuxième type de sol, où le remaniement à débris calcaires repose directement sur l'encroûtement granulo-nodulaire.

Contrairement à ce que l'on pourrait supposer, la terre fine ne contient que très peu de calcaire : de l'ordre de 2%. Il ne semble pas exister de gradient calcaire dans le niveau de remaniement, et la richesse de l'horizon inférieur n'apparaît pas significativement différente de celle de l'horizon de surface. Le taux de matière organique est toujours faible et ne dépasse guère 1% de la terre fine, sur l'ensemble du remaniement.

Le matériau de remaniement n'est que faiblement différencié. Les sols sont de type régosolique ou, plus rarement, lithique, selon l'importance de la dislocation de la croûte calcaire sous-jacente. Dans une certaine mesure, le profil de ces sols peut être rapproché des profils de rendzines : matériau originel calcaire, faible profondeur avec quantité importante d'éléments calcaires résiduels. Mais la structure est différente. Elle apparaît parfois assez bien développée : polyédrique émoussée ; cependant, elle est souvent très irrégulière, parfois massive, et particulièrement fragile, se détruisant presque totalement lorsque le sol est humide. En outre, contrairement aux rendzines, la teneur en calcaire de la terre fine est ici très faible, malgré la présence de graviers et cailloux calcaires nombreux. On doit noter que ces éléments calcaires sont généralement durs et, par ailleurs, l'aridité du climat ne favorise guère la dissolution du calcaire à partir de ces réserves. Ces considérations pourraient expliquer les faibles teneurs en calcaire dans la terre fine.

Dans les *sols bruns subtropicaux*, l'encroûtement granulo-nodulaire fait directement suite au remaniement superficiel à débris calcaires. L'activité biotique, qui est bien développée dans l'encroûtement au-dessous du remaniement, tend à homogénéiser le profil. Elle est très importante dans ces encroûtements jusqu'à plusieurs mètres de profondeur. Elle se manifeste par un réseau anastomosé de terre brune riche en turricules, qui s'insère entre les éléments calcaires indurés. Cependant, aucune espèce vivante susceptible d'être à l'origine de ces turricules n'a été observée ; ceux-ci sont généralement tapissés de fins pseudomycéliums et ne paraissent pas frais.

A la base du remaniement, sous l'horizon de culture, se sont développés des petits engainements souvent associés aux racines herbacées. Fréquemment, une petite croûte lamellaire : 1 à 2 cm d'épaisseur, blanchâtre, poreuse, fissurée et assez fragile, existe à la limite entre le remaniement et l'encroûtement. Elle est irrégulière et intermittente, ondulée ou inclinée, et peut même constituer quelques fois plusieurs niveaux.

La terre fine n'est que très moyennement calcaire dans le remaniement : 5 à 8%, parfois moins. La teneur augmente en profondeur dans l'encroûtement, mais les valeurs sont très variables suivant les profils : de 10 à plus de 30%. Le calcaire sous forme d'éléments grossiers est toujours abondant ; ceux-ci représentent au moins 20 à 30% et souvent 50 à 60% du matériau.

La structure est irrégulière et assez fragile dans le remaniement. Elle est plus nette, polyédrique émoussée, entre les éléments calcaires dans l'encroûtement. Elle apparaît partout favorisée par l'activité biotique et par l'existence d'une végétation herbacée. Le profil de la matière organique en fonction de la profondeur est comparable à celui que l'on observe dans les autres sols de la région considérés comme isohumiques : teneurs de l'ordre de 1 à 1,5% à la partie supérieure, 0,5% vers 30 cm, 0,2-0,3% vers 70 cm.

La tendance à l'homogénéisation des profils et à l'isohumisme qui se manifeste dans ces sols correspond plutôt à une pédogénèse de type steppique que calcimagnésique. Bien qu'il ne soit pas exclu de considérer l'ensemble du profil comme un sol brun encroûté, il nous semble préférable de considérer l'encroûtement ancien comme le matériel originel de ces sols. Ce sont alors des sols bruns isohumiques subtropicaux, sur encroûtement granulo-nodulaire à remaniement superficiel.

Lorsque l'érosion a éliminé la carapace calcaire pour laisser affleurer le socle primaire, les sols se développent sur des roches plus ou moins altérées, selon l'importance de l'ablation ; de façon générale, le degré d'altération des matériaux affleurants diminue d'est en ouest. Il s'agit de *sols bruns tropicaux* à amas et granules (profil calcaire moyennement différencié), ou bien de *sols régosoliques*, parfois même de *lithosols* sur affleurements de roches relativement saines.

Le glacis G3 s'est établi entre les reliefs d'érosion et l'oued Tensift, par épandage et accumulation des matériaux originaires soit de l'Atlas au sud, soit des Djebilet au nord du Tensift, avec des zones strictement d'ablation dans cette dernière région. Sur la bordure méridionale des Djebilet, des matériaux issus d'anciens sols rouges méditerranéens se sont mélangés aux dépôts profonds, mais ceux-ci n'ont jamais été observés à la partie supérieure de l'accumulation. A l'ouest de Marrakech, le glacis G3 recouvre à son extrême aval les alluvions T3 du Tensift, au nord comme au sud de l'oued.

L'accumulation calcaire s'est développée de façon croissante de l'amont vers l'aval, pour aboutir à la formation d'encroûtements relativement puissants. Les sols

existants sur ce glacis G3 devaient être des sols à profil calcaire très différenciés, selon la terminologie de RUELLAN (1970). Par la suite, l'érosion qui a sévi a causé la disparition de la partie supérieure non encroûtée des sols, et des phénomènes d'inversion de relief se sont même produits dans certains cas. Les éléments figurés des matériaux G3 (graviers et cailloux) ont connu selon leur nature un degré d'altération plus ou moins avancé.

La présence d'une carapace calcaire généralisée, le plus souvent remaniée à la partie supérieure, confère une grande homogénéité morphologique au glacis G3. L'existence d'une croûte calcaire en place limite la profondeur du sol. En son absence, au contraire, l'approfondissement du profil peut se développer dans l'encroûtement granulo-nodulaire. L'activité biotique semble avoir joué un rôle très important vis-à-vis du processus d'approfondissement. L'érosion est la cause essentielle du remaniement superficiel ; mais la dislocation de la croûte a pu être facilitée par l'existence d'une végétation ligneuse dont les racines, en s'insérant dans les enfractuosités, auraient favorisé la fissuration et le décalage des blocs.

LES EPANDAGES PLUS RECENTS G2 ET G1

Se confondant sous une même surface, ces épandages se différencient bien par rapport à l'ensemble du paysage, au nord de l'oued Tensift. On peut y distinguer deux parties: l'amont situé au contact des reliefs, l'aval emboîté dans l'ancien glacis G3 (fig. 11).

A l'amont, ce sont les *cônes d'épandage* installés à la sortie des vallées d'érosion, au pied des reliefs les plus importants (t.s. 2). Il s'agit donc de petits glacis édifiés par les oueds actifs à leur sortie des petits massifs des Djebilet. Ils présentent un profil concave, avec une pente se relevant jusqu'à 10% vers l'amont. Vers l'aval, ils se prolongent par des nappes alluviales occupant les thalwegs. Leur extension est généralement limitée : 1 à 2 km de l'amont vers l'aval. S'ils ont pu s'étaler librement, ils présentent la forme d'un cône régulier, ce qui n'est pas toujours le cas. A la partie supérieure, les bords du cône sont dominés par les basses pentes des reliefs de bordure. A l'emplacement du cône, le substratum rocheux a été érodé et aplani au cours des périodes de morphogénèse.

La toposéquence 2 fournit un exemple précis de ce type de glacis. Le cône d'épandage s'est installé à l'empla-

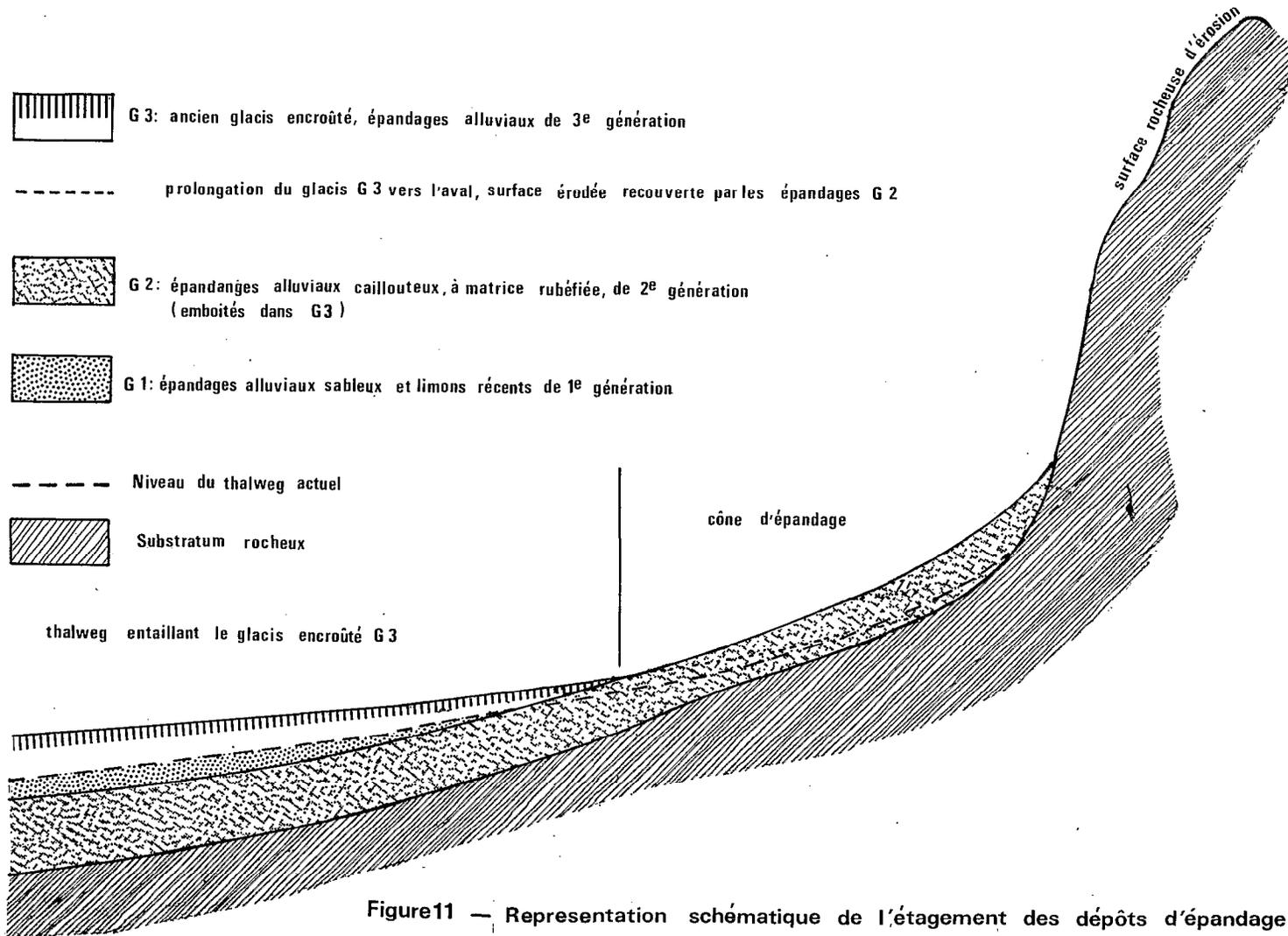


Figure 11 — Représentation schématique de l'étagement des dépôts d'épandage sur la bordure méridionale des Djebilet, au nord de Marrakech

cement de l'extrême amont du grand glacis G3 plus ancien, qui a été irrégulièrement érodé et recouvert. Le recouvrement peu épais, laissant la roche affleurer par endroits, disparaît rapidement vers l'aval et se raccorde sans rupture marquée à l'ancienne surface du glacis G3.

Cependant, les reliefs ne sont pas toujours directement au contact de l'ancien glacis G3. Lorsqu'on s'éloigne de la bordure, vers le nord, ce glacis encroûté n'existe pas à l'intérieur des Djebilet. Les cônes d'épandage formés en avant des reliefs importants se sont ici directement installés sur les bordures rocheuses.

En avant des cônes caillouteux se détachent des *nappes alluviales*, pour suivre les thalwegs qui entaillent l'ancien glacis G3 avant de rejoindre l'oued Tensift (t.s. 4). Dans le cas des oueds les plus travailleurs, possédant un écoulement suffisamment important à l'intérieur des Djebilet, le creusement a été plus accusé, et la partie montagneuse est essentiellement une vallée d'érosion. La nappe alluviale qui s'est développée à la sortie des reliefs se situe alors à un niveau inférieur à l'ancien niveau G3. Il s'agit d'un emboîtement. Au nord du Douar Oulad Aguid, l'oued qui draine la face est du Djebel Ramram constitue un bel exemple de ce cas (fig. 13). Cependant, l'encaissement des épandages récents par rapport à l'extrême amont de l'ancien glacis G3 est très faible (1 à 2 m), et des débordements latéraux sont à l'origine des faibles recouvrements qui existent en bordure de thalweg sur les encroûtements G3. Les thalwegs occupés par les nappes alluviales sont évasés et faiblement déprimés par rapport à la surface encroûtée de l'ancien glacis G3. La dénivelée s'accroît régulièrement vers l'ouest. La pente longitudinale est de l'ordre de 0,7 à 1% ; elle peut augmenter jusqu'à 2% vers l'amont à l'approche des reliefs. Au voisinage de l'oued Tensift, ces thalwegs s'étalent largement et peuvent avoir, par endroits, une extension plus importante que celle de l'ancien glacis encroûté érodé.

Après leur mise en place, les cônes d'épandage de l'amont ont subi une érosion surtout de type linéaire, qui est à l'origine des entailles empruntées par l'écoulement temporaire actuel. Le vallonnement peut être accentué lorsque les matériaux accumulés ont été importants. Souvent des déversements se sont opérés, car le creusement s'est réalisé préférentiellement selon les lignes de plus forte pente sur les bords du cône.

Vers l'aval, les nappes alluviales des thalwegs présentent une surface régulière, où seuls les oueds encore temporairement actifs creusent un chenal d'écoulement peu

encaissé, plus ou moins large selon leur importance.

Dans toute la zone ouest, où l'oued Tensift est plus encaissé, les affluents n'ont pas réussi à régulariser leur profil longitudinal, et il n'existe pas ici de nappe alluviale importante au fond des thalwegs.

Au sud de l'oued Tensift, tous les épandages meubles, sont postérieurs au glacis G3. Ces épandages occupent la plus grande partie de la plaine du Haouz dont la pente s'abaisse régulièrement vers l'oued Tensift, entre l'imposante chaîne montagneuse de l'Atlas au sud et les crêtes décharnées des Djebilet au nord. Sur toute la largeur du Haouz, la surface présente un large profil concave où la pente reste toujours faible : de l'ordre de 4% au voisinage des reliefs, elle passe rapidement à 1-2% et s'abaisse jusqu'à 0,5% dans la partie aval de la plaine.

A leur sortie des défilés de l'Atlas, les principaux affluents de l'oued Tensift ont laissé des dépôts étagés qui constituent des terrasses (3 niveaux d'après MISSET-1973). Mais ces terrasses se rejoignent assez rapidement vers le nord pour se confondre avec la plaine du Haouz. Malgré son apparente régularité, la plaine reste sensiblement surélevée en aval des principaux oueds atlasiques, à l'emplacement des vastes cônes de déjection caillouteux qui se déploient en éventail vers le nord, jusqu'au voisinage de l'oued Tensift. Les variations de pente sont toujours très progressives, mais sur les coupures IGN à 1/50.000, l'allure des courbes de niveau évoque bien la présence des cônes. Elles s'incurvent autour du point de sortie des oueds de l'Atlas, selon des arcs de cercle de plus en plus ouverts vers le nord, à mesure que la pente diminue.

A l'est de Marrakech, les épandages récents s'étendent jusqu'à la rive gauche de l'oued Tensift. Dans la région de Marrakech et vers l'ouest, ils se raccordent aux encroûtements G3 qui bordent le Tensift (fig. 4). Ils progressent parfois jusqu'à l'oued en recouvrant irrégulièrement les encroûtements plus ou moins érodés. Mais le plus souvent vers l'ouest, ces épandages récents se prolongent entre les interfluves encroûtés, au fond des thalwegs qui rejoignent l'oued Tensift. Dans cette région où les croûtes calcaires demeurent prépondérantes, ils apparaissent donc emboîtés dans l'ancien glacis G3, comme au nord de l'oued.

Dans la partie nord du Haouz, ces épandages récents sont soumis à l'érosion ravinante, surtout sur les matériaux les plus fins. Les eaux de ruissellement se concen-

trent pour former des rigoles abruptes, qui confluent en ravines plus importantes s'ouvrant vers l'oued Tensift. Il s'agit donc d'une érosion ravinante remontante, avec un réseau d'entailles bien hiérarchisé.

La topographie bien différenciée au nord de l'oued Tensift a permis un étagement des dépôts qui est très difficilement observable au sud de l'oued, où les apports ont été repris et se sont mélangés au cours des épandages successifs. C'est plus particulièrement vers l'est de la bordure méridionale des Djebilet, dans cette région où le faible encaissement des thalwegs a favorisé l'alluvionnement, que deux nappes de dépôts bien différents peuvent être caractérisées (fig. 11) :

- une nappe d'épandages grossiers (dépôts de 2e génération : G2) ;
- une nappe d'épandages fins plus récents (dépôts de 1ère génération : G1).

LES EPANDAGES GROSSIERS G2

Il s'agit des épandages caillouteux qui s'étalent à la sortie des vallées des Djebilet (photo 1, pl. 1), en avant des reliefs les plus importants, et mis en place après un court transport par les petits oueds descendus des collines schisteuses (t.s. 2). Ces épandages G2 se prolongent vers l'aval en direction de l'oued Tensift, en occupant les thalwegs ouverts dans l'ancien glacis encroûté G3 (t.s. 3).

En se basant sur la nature des matériaux et surtout sur les caractères d'évolution des sols, il est possible d'établir une comparaison entre ces dépôts grossiers des Djebilet et les cônes d'épandage caillouteux des oueds atlasiques au sud de l'oued Tensift.

Les matériaux

Au nord de l'oued Tensift, les épandages G2 sont constitués de cailloux très irréguliers et anguleux de schistes et quartzites (de toutes tailles jusqu'à 10-15cm; parfois quelques éléments jusqu'à 20 et 30 cm à l'amont), mélangés à une proportion variable de terre fine rouge (2,5 YR) à dominante argileuse. Quelques fragments de croûte résiduels peuvent également figurer parmi les éléments grossiers. A l'amont, les dépôts G2 sont d'épaisseur irrégulière, selon la configuration topographique des zones

avoisinant les reliefs d'érosion ; dans certains cas, on observe par places des affleurements schisteux ou des restes d'encroûtements. Ces derniers sont des vestiges de l'ancien glacier encroûté G3, dont l'extrême amont a été en grande partie érodé. L'épaisseur du matériau apparaît plus régulière dans les thalwegs et semble diminuer vers l'aval ; elle ne doit guère dépasser 2 à 3 m dans les cas les plus favorables.

Dans le Haouz, les cônes d'épandage se sont déployés en avant des vallées de l'Atlas, souvent sur toute la largeur de la plaine jusqu'à l'oued Tensift au nord. Il s'agit d'alluvions caillouteuses avec des galets constitués de roches atlasiques diverses, et dont la taille diminue du sud vers le nord. L'étude de la partie aval du cône de l'oued R'dat et du cône de l'oued Réraya a révélé qu'il s'agit d'un matériau très hétérogène, composé de lits caillouteux plus ou moins graveleux ou sableux, avec une alternance irrégulière de lits fins ou sableux. Certains profils apparaissent même dépourvus d'éléments grossiers. La pierrosité et, d'une façon plus générale, la texture dans son ensemble peuvent changer sur de très courtes distances, en raison de la grande irrégularité des nappes ou lentilles alluviales de nature différente. Sur cette partie aval des cônes, les galets ne dépassent généralement pas 20 cm et sont le plus souvent de l'ordre de 10 cm. La terre fine, de teinte brun-rougeâtre (2,5 YR et 5 YR), est essentiellement de caractère limoneux, surtout sur le cône du Réraya ; elle peut être plus argileuse sur le cône du R'dat.

Dans le Haouz occidental, le cône de l'oued N'fis est beaucoup plus discret. Après avoir abandonné une partie de sa charge sur les formations miopliocènes qui constituent, dans cette région, un gradin intermédiaire entre la plaine et la montagne, à son débouché dans le Haouz, l'oued n'a déposé qu'un cône de faible puissance, et celui-ci disparaît presque entièrement sous des dépôts fins de recouvrement (CONCARET- 1960 b). Sur l'extrême avancée du cône de l'oued Réraya au nord de Marrakech, dans la zone avoisinant la route vers Safi et El Jadida, nous avons constaté que des cailloux anguleux très irréguliers, provenant du Djebel Guéliz, se sont mélangés aux galets des épandages G2 d'origine atlasique. Ces épandages recouvrent ici la carapace G3 de façon irrégulière et n'ont bien souvent qu'une épaisseur très faible.

En dehors des cônes caillouteux, on peut aussi observer dans le Haouz (région de Souihla par exemple) des dépôts fins dont les caractères d'évolution correspondent à des sols châtaîns subtropicaux, et qui sont recouverts par

les épandages G1 plus récents. Ces dépôts limono-argileux ont vraisemblablement été mis en place au cours de la même phase d'épandage que les cônes caillouteux G2, dans les larges zones séparant ces cônes, où le matériel alluvial devait être d'autant plus fin qu'il était éloigné de l'axe d'écoulement principal des oueds atlasiques dans leur traversée du Haouz.

D'une façon générale, les teintes rougeâtres caractérisent les épandages G2, particulièrement au nord de l'oued Tensift, où les matériaux allochtones n'ont été transportés que sur de courtes distances et ne résultent pas d'un mélange d'apports divers d'origines très différentes. De toute évidence, la matrice rubéfiée représente ici un matériau lithochrome, hérité d'anciens sols rouges méditerranéens qui ont été érodés à l'amont dans les Djebilet ; sinon, comment expliquerait-on que la rubéfaction ait pu se développer avec une telle intensité sur toute l'épaisseur de l'accumulation, sans que les éléments grossiers aient connu une altération avancée ?

L'évolution supergène

La variabilité texturale importante et rapide d'un endroit à l'autre atteste que les épandages alluviaux n'ont pas connu de transformation profonde après la mise en place. Les roches constitutives des éléments grossiers parmi les plus sensibles à l'altération : schistes fins, granites, ne sont que partiellement désagrégées ; dans les matériaux issus de roches granitiques, les graviers feldspathiques peuvent se fracturer, mais ils ne sont point pulvérolents comme dans les dépôts G3. Des recherches approfondies restent indispensables pour connaître l'importance de l'évolution au niveau de la fraction fine, notamment en ce qui concerne les phénomènes d'argilification.

Au nord de l'oued Tensift, la forte pierrosité et la couleur rouge de la matrice fine constituent un caractère dominant du sol actuel. Toutefois, le brunissement des horizons de culture (7,5 YR) est un phénomène général ; on y observe, en outre, un net appauvrissement en argile. La structure est souvent contrariée par la présence des graviers et cailloux, mais l'importance de l'argile en favorise le développement : petits polyèdres anguleux correspondant aux zones intersticielles entre les graviers, ou prismes bien individualisés (2 à 4 cm de large) lorsque les éléments grossiers sont en moindre proportion.

En raison de l'origine fersiallitique (sol rouge méditerranéen) de la matrice, et de la faible altération des

éléments grossiers du matériau, les sols sont pauvres en calcaire. Cependant, un gradient calcaire s'est différencié dans les profils, avec une intensité différente selon la situation topographique. A l'amont, les sols sont dépourvus de calcaire jusqu'à 60-80 cm ; à partir de cette profondeur, se développent des pseudomycéliums, ou des petits amas ; ces derniers apparaissent d'abord sous les cailloux et se généralisent ensuite tout en restant de taille réduite. Le calcaire ne dépasse pas 2% dans ces horizons profonds. Vers l'aval, l'accumulation du calcaire augmente à l'approche de l'oued Tensift. Elle s'accroît d'abord préférentiellement dans la partie moyenne, puis profonde du profil (fig.12). Il se constitue des amas et des nodules souvent grossiers irrégulièrement localisés ; ceux-ci peuvent même former des masses importantes soudant graviers et cailloux. Cependant, il ne s'agit généralement pas d'un encroûtement généralisé, sauf parfois à la base, au contact de la roche en place. Il est difficile de préciser le taux global de calcaire en raison de l'existence sporadique des accumulations, mais celui-ci ne devrait guère dépasser 10% dans les niveaux les plus riches. Cette différenciation du profil calcaire en fonction de la topographie, s'explique par la diminution du drainage et l'enrichissement par lessivage oblique vers l'aval.

Les quantités de matière organique sont très faibles : environ 0,5% en surface et 0,3% vers 40 cm. Il semble, néanmoins, que l'on puisse conclure à une répartition isohumique de la matière organique. Les caractères d'évolution précédemment évoqués : notamment la différenciation d'un profil calcaire net, avec absence de calcaire à la partie supérieure, ainsi que le développement d'une structure prismatique lorsqu'elle peut s'exprimer, conduisent à considérer les sols comme des *sols châtain-rouge subtropicaux*.

Dans le Haouz, la structure des sols est plus ou moins bien exprimée selon la charge en éléments grossiers et la richesse en argile. Le plus souvent, elle apparaît polyédrique irrégulière (1-3 cm) ; mais elle peut localement s'élargir et présenter des caractères vertiques lorsque le taux d'argile augmente. Les sols ne sont que très faiblement calcaires à la partie supérieure : de l'ordre de 1% ou moins, parfois aucune réaction à l'acide ne se manifeste. Vers le bas, des formes de concentration calcaire apparaissent en fins engainements ou en revêtements filiformes autour des cailloux, avec parfois des amas et granules en profondeur. Cependant, la grande hétérogénéité texturale nuit à la différenciation régulière du profil calcaire. Les teneurs sont de l'ordre de 2-3%, jusqu'à 5% dans certains cas. A côté des sols à profil calcaire plus ou moins différencié, il existe également des sols sans gradient de

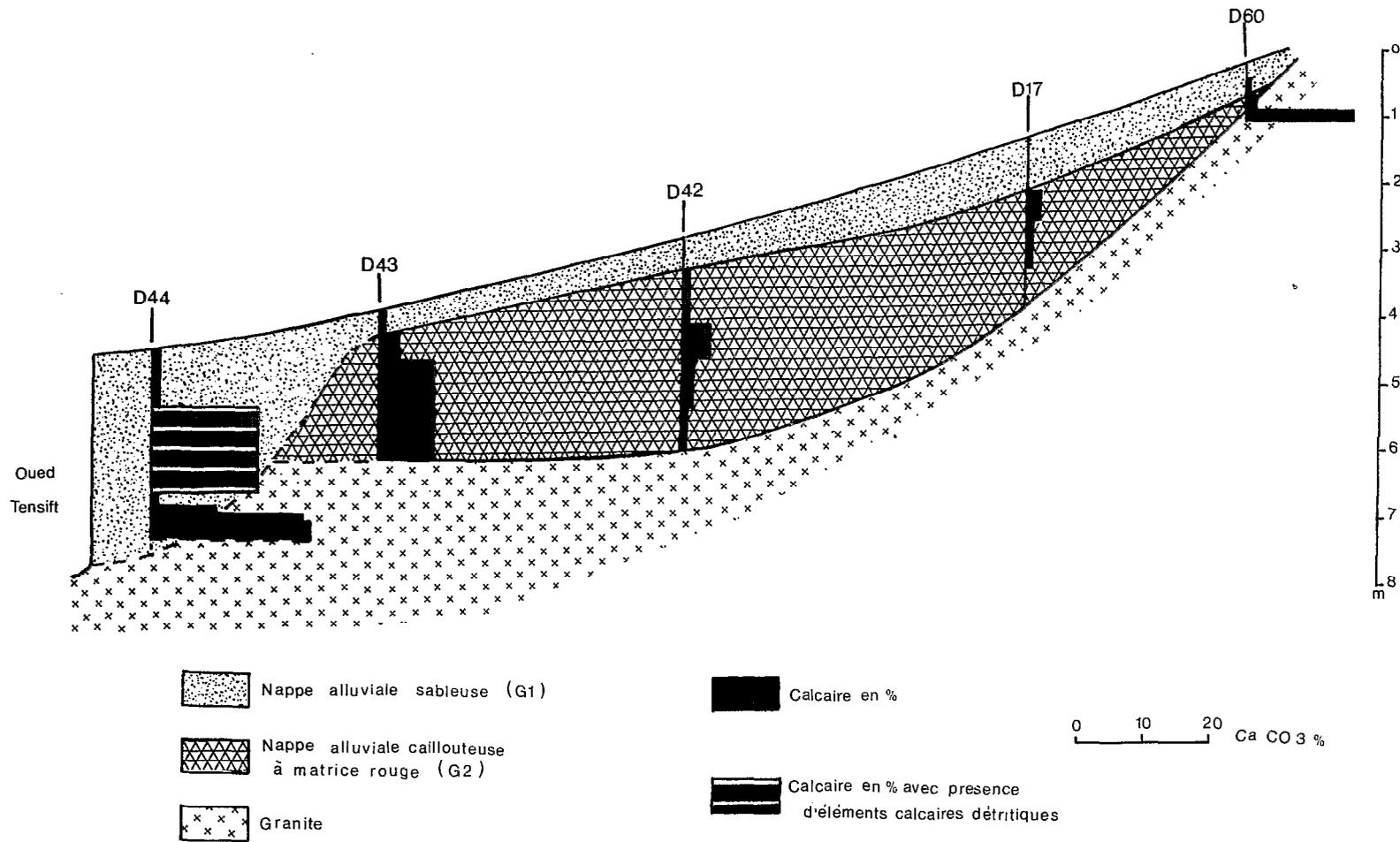


Figure 12 — Accumulation du calcaire en fonction de la pente dans la toposéquence 3

calcaire qui correspondent vraisemblablement à des profils sur remaniements ou recouvrements plus récents (G1). La faible évolution du matériau, par ailleurs, ne facilite guère la reconnaissance de ces remaniements dans les sols.

La matière organique est très variable en fonction de la texture. Elle représente de 1 à 1,5% à la partie superficielle dans les cas les plus favorables, et elle diminue progressivement en profondeur dans les profils les plus homogènes. Mais la répartition isohumique est interrompue dans les profils à niveaux grossiers.

Ces sols se caractérisent par une répartition isohumique de la matière organique et par l'existence d'un profil calcaire différencié. L'absence ou la faible teneur de calcaire à la partie supérieure les distingue de tous les sols sur épandages récents G1 du Haouz. Selon la différenciation plus ou moins accusée des profils, ils peuvent être considérés comme des *sols bruns* ou parfois comme des *sols châtaîns subtropicaux*. Ils sont à rapprocher des sols châtain-rouge des épandages caillouteux G2 des Djebilet, par la différenciation de leur profil calcaire, et ils en sont vraisemblablement contemporains.

LES EPANDAGES FINS G1

Les matériaux

Dans les thalwegs qui entaillent l'ancien glaciaire G3, au nord de l'oued Tensift, les épandages G1 recouvrent les dépôts grossiers G2 à matrice rubéfiée (t.s. 3). Les dépôts G2 disparaissent vers l'aval, où la nappe de recouvrement G1 s'étale au détriment des interfluves encroûtés, pour finalement se raccorder à la basse terrasse T1 de l'oued. L'épaisseur de cette nappe est faible vers l'amont : quelques dizaines de cm au-dessus des épandages grossiers dont les sols châtain-rouge ont été irrégulièrement tronqués ; elle augmente vers l'aval jusqu'à 2-3 cm, au voisinage de l'oued Tensift. La texture varie en fonction de l'origine des matériaux. Elle est limoneuse dans les thalwegs nourris par les régions schisteuses, et sableuse à sablo-limoneuse dans les thalwegs issus de zones granitiques.

Au sud de l'oued Tensift, les épandages G1 constituent les matériaux fins du Haouz qui se raccordent également à la basse terrasse T1 de l'oued. Ces épandages s'étalent entre les cônes caillouteux des oueds atlasiques. Au voisinage de l'oued Tensift, on peut observer que l'extrémité du cône caillouteux G2 du R'dat disparaît sous les dépôts fins G1. Sur de très larges espaces, entre les cônes caillouteux, ces dépôts se sont étalés sur les épandages limo-

no-argileux plus anciens (G2). Ces derniers ont été irrégulièrement érodés ou recouverts, et souvent mélangés aux apports plus récents ; il en résulte une impossibilité de séparer distinctement les deux générations d'épandages G1 et G2 dans beaucoup de cas. L'ensemble de la couverture alluviale meuble G2 et G1 du Haouz recouvre les formations anciennes irrégulièrement érodées et remaniées : calcaires marneux miopliocènes, calcaires conglomératiques et alluvions encroûtées du Quaternaire ancien. Dans la partie nord du Haouz, elle recouvre également la base de la carapace calcaire G3 qui a été érodée ; les niveaux calcaires n'y sont jamais très profonds, et l'épaisseur des alluvions ne dépassent généralement pas 3 à 4 m.

D'une façon générale, les épandages alluviaux G1 du Haouz présentent une texture à dominante limoneuse ; mais à grande échelle ils se caractérisent par une mosaïque de catégories texturales, depuis les textures argileuses à argilo-sableuses, jusqu'aux textures sablo-limoneuses ; chaque catégorie ayant été déterminée par l'origine du matériau et par les conditions particulières de la mise en place du dépôt. Le caractère alluvial est également souligné par l'existence sporadique de lentilles caillouteuses, constituées de galets d'origine atlasique, qui peuvent se multiplier dans certaines zones. Il existe aussi fréquemment une hétérogénéité verticale, mais celle-ci est le plus souvent déterminée par la superposition de niveaux dont la texture appartient à des catégories voisines, si bien que les profils apparaissent relativement homogènes.

Tous ces matériaux d'épandage G1 possèdent une couleur générale brune, mais avec plusieurs nuances. La teinte brun-rougeâtre (5 YR 4/3, 4/4, 5/3, 5/4) apparaît la plus répandue. Localement, le rouge peut devenir plus soutenu et tendre vers la planche des 2,5 YR. Ailleurs au contraire, la teinte peut être brun clair à jaunâtre et se situer dans la planche 7,5 YR et même 10 YR. L'augmentation de la richesse en calcaire se manifeste généralement par un éclaircissement du matériau, mais il n'y a pas de relation obligatoire entre la couleur claire et la richesse en calcaire. La couleur des dépôts paraît essentiellement dépendre de leur origine. Ainsi, au nord de l'oued Tensift, les dépôts sablo-limoneux issus de granite sont brun-rougeâtre (5 YR 5/4, 4/4), tandis que les dépôts limoneux issus de schistes sont brun à brun-jaunâtre (7,5 YR 5/6, 10 YR 5/3-6/3).

La richesse en calcaire des sols est variable et paraît être aussi en relation avec l'origine des matériaux. Les valeurs sont faibles ou nulles au nord de l'oued Tensift. Dans le Haouz, le taux de calcaire dépasse 10% à l'ouest de l'oued N'fis, tandis qu'il est plus variable mais généralement inférieur à 10% à l'est du même oued.

L'évolution supergène

Au sud comme au nord de l'oued Tensift, l'ensemble des épandages G1 se caractérise par une très faible évolution pédologique. La texture joue un rôle essentiel dans la différenciation des profils. Elle est, en effet, à l'origine de la structure dont le développement est très variable selon l'importance de la fraction argileuse. Un taux minimum de 25% d'argile semble nécessaire pour qu'apparaisse un développement assez bien caractérisé de la structure. Il s'agit alors généralement d'une structure polyédrique irrégulière (1 à 3 cm), plus ou moins bien développée. Avec l'accroissement de la teneur en argile se produit un élargissement de la structure pour aboutir à la caractérisation de sols vertiques et de vertisols.

Les *vertisols* de la région de l'oued R'dat, par exemple, présentent les caractères structuraux suivants :

- de 0 à 15 cm : horizon de culture à structure polyédrique émoussée bien développée : 0,5 à 2-3 cm, s'il s'agit d'une culture en sec (orge). Sous culture irriguée (maraîchage), la structure se dégrade et devient massive à très larges mottes prismatiques initiées par des fentes de retrait, si la submersion a été fréquemment renouvelée.
- de 15 à 30-40 cm : avec une teneur de 30 à 35% d'argile, structure prismatique : 15 à 30 cm de large, avec des fentes de retrait de 2 cm de largeur. Les prismes sont constitués par l'empilement d'éléments plus courts : 5 à 10 cm de hauteur, séparés par des surfaces planes horizontales et obliques.
- de 30-40 cm à 90-100 cm, ou davantage : plus argileux, 45 à 55% d'argile, avec développement de plans de glissement obliques. Le développement de la structure peut être irrégulier, mais on y distingue des éléments grossiers (10 cm) dont certains sont aplatis et présentent des surfaces biseautées, avec des faces lissées.

Les faces luisantes sont nettes à l'état frais, mais deviennent ternes dès qu'elles sont séchées au soleil en raison de la formation d'un film calcaire en surface. Un autre caractère marquant de ces vertisols réside dans le fait que les plaquettes, même bien individualisées en place, sont difficiles à extraire du sol sans être endommagées. Il existe souvent de petites zones d'adhérence par l'intermédiaire de sables, et surtout, la surface est toujours marquée par un réseau de fines craquelures, plus ou moins profondes, qui rendent les plaquettes fragiles. Dans certains cas, ces craquelures plus nettes amorcent une

sous-structure polyédrique, qui devient prépondérante dans les sols bruns vertiques où les surfaces biseautées sont absentes.

Ces sols argileux, qui ne représentent qu'une faible proportion des sols du Haouz, appartiennent à la classe des vertisols où ils ont été placés dans un sous-groupe vertique, en raison de l'existence de certains caractères structuraux normalement absents des vertisols typiques. La répartition isohumique de la matière organique y est bien affirmée : 1,4-2% de 0 à 15 cm, 0,8-1,3% vers 50 cm et 0,4-0,6% vers 80-100 cm. Les teneurs en calcaire sont variables et augmentent généralement en profondeur : 3-10% à la partie supérieure, 12-15% à la base. Des formes d'accumulation profondes : amas, granules et nodules, apparaissent parfois en profondeur. Elles se localisent dans les zones à drainage déficient, où des phénomènes de salure et d'alcalisation profonds peuvent également se manifester.

Comme tous les sols de la région, les sols développés sur les épandages G1 du Haouz et de la bordure méridionale des Djebilet sont relativement pauvres en matière organique. Les sols limoneux contiennent de 1 à 1,5% de matière organique dans l'horizon superficiel (de 0 à 15-20 cm). Les valeurs augmentent sensiblement jusqu'à 2%, lorsque la texture s'enrichit en argile ; au contraire, elles sont généralement inférieures à 1% dans les sols sableux. Pour des sols comparables, la mise en culture irriguée entraîne normalement une légère augmentation de la matière organique. Le profil organique en fonction de la profondeur marque toujours un léger décrochage au-dessous de l'horizon de culture, mais les valeurs diminuent régulièrement ensuite.

La pauvreté en matière organique rend souvent difficile la mise en évidence du caractère isohumique qui devient d'ailleurs lui-même peu significatif. Ce caractère ne suffit pas pour distinguer les moins différenciés des sols isohumiques subtropicaux que sont les siérozems, des sols peu évolués d'apport à faciès isohumique qui présentent aussi une pénétration de la matière organique en profondeur. Ces deux catégories appartiennent à deux classes distinctes de la classification française mais correspondent à des sols faiblement marqués par la pédogénèse. L'évolution des siérozems est normalement plus accentuée, mais dans les sols de la région de l'oued Tensift les critères de classification sont généralement mal exprimés. Les siérozems ont été distingués d'après l'existence de caractères indiquant une tendance du profil à s'organiser :

- structuration mieux marquée, surtout à la partie supérieure du profil ;
- redistribution du calcaire, même discrète (engai-

nements), mais tendant à individualiser un ou plusieurs horizons ; à condition que ce phénomène ne se manifeste pas à grande profondeur (mauvais drainage, action de la nappe) ;

- appauvrissement en argile de l'horizon superficiel.

Quelques *sols peu évolués d'apport, à faciès isohumique*, ont été observés sur des épandages récents subactuels. Il s'agit des alluvions finement sableuses de débordement des oueds atlasiques, de part et d'autre du lit actuel creusé dans les épandages récents, au sud de l'oued Tensift. Au nord de l'oued, ce sont des remaniements de divagation de quelques oueds temporaires des Djebilet. Dans tous les cas ces sols n'ont qu'une extension très limitée.

La grande majorité des sols situés sur les épandages G1 sont donc des sols isohumiques pour lesquels la répartition du calcaire constitue un critère de classification essentiel. Dans la plupart des cas aucun gradient calcaire ne se manifeste. Cependant, les valeurs sont parfois légèrement plus élevées en profondeur, notamment dans les profils reposant sur croûte ou débris de croûte profonde. Selon les profils, on peut distinguer des engainements discrets à moyenne profondeur, des taches claires diffuses ou plus rarement des granules en profondeur. Mais l'écart entre les horizons supérieurs et profonds reste inférieur à 1% de calcaire total. Il s'agit de *siérozems*. Les valeurs sensiblement plus importantes à grande profondeur, au moins à 90-100 cm, correspondraient mieux à des enrichissements profonds (mauvais drainage, proximité de croûte ou débris libérant du calcaire), qu'à une accumulation sous l'effet de la pédogénèse.

On observe, plus rarement, des profils calcaires mieux différenciés caractérisant des *sols bruns*. Ce type de profils peut avoir pour origine :

- l'existence à moyenne profondeur d'un matériau granulaire remanié ou non, qui a été recouvert par les épandages fins récents. Les profils présentent alors des caractéristiques assez voisines de celles d'un sol brun encroûté, mais en raison de leur origine complexe ils ont été considérés comme sols bruns modaux sur épandage alluvial recouvrant un encroûtement granulo-nodulaire. Ils sont naturellement répartis au voisinage des zones encroûtées G3 au nord et à l'ouest de Marrakech.

- l'existence d'une zone à mauvais drainage, qui a favorisé l'accumulation de calcaire à une profondeur moyenne. Ces sols sont très localisés, essentiellement au voisinage de l'oued Tensift, et correspondent à des conditions stationnelles particulières. On peut alors avoir dans ce cas des sols bruns encroûtés vrais.

Enfin, la salure et l'alcalisation qui se développent localement sont à l'origine des *sols halomorphes*, lorsqu'elles se manifestent d'une façon prépondérante. Elles interviennent au niveau du sous-groupe dans les autres catégories de sol : vertisols, siérozems, sols bruns, où elles apparaissent avec moins d'intensité comme caractère secondaire. Les sols halomorphes se développent au voisinage de l'oued Tensift, lorsque la nappe phréatique est suffisamment proche de la surface pour permettre la remontée et l'accumulation des sels dans les sols. Ce sont, des sols à alcali, à structure dégradée, où l'accumulation du calcaire peut également se manifester en profondeur. L'accumulation de chlorure de sodium en surface détermine l'apparition d'une couche superficielle pulvérulente. Mis en culture, ces sols à alcali présentent un fort glaçage superficiel. A côté des sols halomorphes dont l'origine s'explique facilement par l'environnement, il existe aussi des taches de sols salés dont la situation ne devrait pas, à priori, favoriser la formation. Ces sols apparaissent sur des zones planes où la nappe phréatique se situe à 9 ou 10 m de profondeur. Ces zones sont cultivées depuis longtemps, et l'irrigation pourrait être à l'origine de la salure et de l'alcalisation. Le mauvais drainage de ces sols, où la texture est dominée par les limons fins avec plus ou moins d'argile, auraient favorisé le phénomène. On a d'ailleurs pu constater un développement de la salure dans des sols limono-argileux irrigués depuis quelques années seulement, avec des eaux de forage dont la conductivité n'est que de 0,85 mmhos/cm (MOREAU- 1973 b).

De cette étude sur les épandages alluviaux G2 et G1 postérieurs au grand glacis encroûté G3, nous pouvons conclure à l'existence de deux générations de dépôts marqués par des caractères d'évolution d'intensité différente. Ces deux générations se distinguent facilement sur la bordure méridionale des Djebilet (fig. 10 et 11) .

- Les dépôts G2, les plus anciens, sont grossiers, avec une matrice de terre rouge souvent argileuse. Sur ces matériaux lithochromes se sont formés des sols isohumiques à profil calcaire faiblement à moyennement différencié.

- Les dépôts de recouvrements G1, plus récents, sont absents à l'amont et s'épaississent vers l'aval. Ce sont des épandages fins de couleur brune, le plus généralement claire, qui n'ont subi qu'une pédogénèse de faible intensité. Les sols isohumiques n'y présentent qu'un profil calcaire non ou faiblement différencié. Dans des conditions particulières, certains phénomènes peuvent cependant se

développer d'une façon prépondérante dans les sols : salure, alcalisation, accumulation calcaire d'origine hydromorphe.

Au sud de l'oued Tensift, il semble que l'on puisse également reconnaître au moins deux générations de dépôts dont l'évolution respective est comparable à celle des épandages situés au nord de l'oued. Les dépôts les plus anciens apparaissent aussi plus rougeâtres (2,5 YR et 5 YR) que les dépôts récents (5 YR et 7,5 YR) et ils portent des sols à profil calcaire mieux différencié. Cependant, dans cette plaine alluviale de piémont, où les matériaux ont subi un long transport en remaniant et en se mélangeant aux épandages plus anciens, il est plus difficile de préciser la situation et l'importance respectives des différents épandages.

LES TERRASSES DE L'OUED TENSIFT

La figure 9 illustre l'encaissement croissant de l'oued Tensift vers l'aval. Le profil transversal de la vallée évolue rapidement sur les 20 km situés à l'ouest de Marrakech, où se dégagent 3 niveaux de terrasse alluviale emboîtés :

- une haute terrasse:T3,
- une moyenne terrasse:T2,
- une basse terrasse:T1.

Les vestiges d'un quatrième niveau, correspondant à une terrasse supérieure plus ancienne, ont également été repérés dans la région des douars El Guern et Sidi Ayed.

L'absence de la moyenne et de la haute terrasse (T2 et T3) à l'est du douar El Guern peut s'expliquer par le fait que la régularisation du profil longitudinal de l'oued Tensift a pu ne pas se réaliser dans cette partie aval du cours. Mais on constate également que, dans cette région, les encroûtements ont été beaucoup moins puissants, et les anciennes berges ont pu être plus facilement érodées et dégradées, pour disparaître avec le temps.

Les épandages récents à partir de l'Atlas et des Djebilet sont au contraire très abondants dans toute cette région est, où ils constituent souvent les berges de l'oued. Ces épandages se sont mis en place en érodant et en remplaçant les dépôts plus anciens. Des phénomènes de creusement et de comblement ont pu se succéder, effaçant ou masquant les traces des formations superficielles préexistantes, et ceci d'autant plus facilement que les variations de niveau

semblent avoir été assez limitées ici. A l'amont de son cours, l'oued Tensift s'enfonce directement dans des épanchages récents. Il n'existe aucune trace d'anciennes terrasses. Ce phénomène apparaît également dans le Haouz pour les principaux oueds atlasiques. L'oued N'fis, situé le plus à l'est, s'est aussi creusé un nouveau lit dans des formations meubles récentes. L'ancien lit qui subsiste constitue une dépression hydromorphe dont le fond est occupé par des alluvions fines que l'on peut assimiler aux alluvions de la basse terrasse T1 ; une étroite terrasse encroûtée subsiste également d'un côté de la dépression, il pourrait s'agir d'un témoin de la moyenne terrasse T2.

A l'ouest du Djebel Aleb, sur la partie inférieure du cours de l'oued Tensift, DRESH a également observé les 3 niveaux de terrasse reconnus dans cette étude, auxquels s'ajoutent plusieurs niveaux supérieurs : aux environs des 40 m, 60 m, 100 m, avec des replats d'érosion encore plus élevés. Ces niveaux supérieurs n'apparaissent pas dans le Haouz, ainsi qu'il l'avait lui-même noté en 1941.

LES VESTIGES D'UNE ANCIENNE TERRASSE SUPERIEURE

Ces vestiges ne sont visibles qu'en rive gauche, où ils ne constituent qu'un étroit liséré irrégulier dominant la terrasse T3, en bordure du glacis encroûté T3. Vers l'avant, l'érosion du versant de la vallée du Tensift en réduit encore l'extension.

Entre les douars El Guern et Cherif, il s'agit d'un niveau d'abrasion sur les schistes, qui s'étend probablement aussi sur les calcaires lacustres plus à l'est. Un léger pavage de galets atlasiques avec des débris de croûte recouvre les schistes et quartzites du socle primaire. La plupart des galets sont fragmentés. La surface a été encroûtée et l'érosion est à l'origine du remaniement superficiel.

A 2,5 km vers l'ouest, au douar Sidi Ayed, le même niveau doit correspondre aux alluvions disposées sous le glacis encroûté G3 qui surplombent la haute terrasse T3 de l'oued dans cette région. La coupe suivante a été observée dans un puits :

- 0 à 180 cm : encroûtement granulo-nodulaire et rognons calcaires. Par endroits, structure feuilletée sur 5 cm d'épaisseur.
- 180 à 550 cm : alluvions grossières, avec sables et galets originaires de l'Atlas. Ces alluvions sont cimentées dans des bancs calcaires continus alternant vers le haut avec des zones friables. Mais ces bancs deviennent de plus en plus épais vers le bas, et sur les 2 m

- inférieurs, il s'agit d'un véritable conglomérat continu.
- 550 à 700 cm : sable alluvial grossier, meuble et boulant.
 - 700 à 800 cm : galets et sables non consolidés, sans ciment et au-delà ment calcaire. Ces alluvions sont uniquement marquées par de fins dépôts noirs manganifères sur la surface des galets.

Cette coupe révèle l'existence d'alluvions grossières cimentées en conglomérat par le calcaire, qui reposent brutalement sur des alluvions non consolidées. Des coupes comparables existent aussi vers le sud dans la plaine du Haouz. Elles se localisent sur une étroite zone où l'étude de la nappe aquifère a révélé que les transmissivités de la roche magasin sont beaucoup plus élevées : $24.10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ (BERNERT et PROST- 1973). Cette zone correspondrait à un ancien passage, ou paléochenal, d'un oued affluent du Tensift, probablement l'ancien cours du N'fis. Ces paléochenaux se retrouvent également pour les autres principaux oueds atlasiques, dans le Haouz. Les alluvions grossières profondes non cimentées permettent une circulation facile de la nappe phréatique et expliquent les valeurs élevées de la transmissivité.

LA HAUTE TERRASSE T3

Elle n'apparaît qu'à l'ouest de Marrakech, dans la région du douar El Guern, et se développe vers l'aval, en s'élevant jusqu'à 25-27 m au voisinage du Djebel Aleb vers l'ouest. Au nord de Marrakech, la haute terrasse T3 ne se distingue plus de l'extrême aval du glacis encroûté G3 ; mais on peut reconnaître à plusieurs endroits sur la berge, les alluvions grossières qui caractérisent cette terrasse vers l'ouest.

C'est la mieux représentée de toutes les terrasses de l'oued Tensift dans la région étudiée. Elle se développe le plus souvent sans discontinuité sur les deux rives et peut s'étendre sur plus de 1 km de largeur de part et d'autre de l'oued (toposéquences 7 et 8).

Vers l'arrière, la terrasse T3 se raccorde à l'ancien glacis G3, souvent par une légère inflexion de la surface, mais sans discontinuité brutale ; la limite entre les deux éléments géomorphologiques n'est guère distincte sur les documents photographiques, et des observations de terrain sont nécessaires pour la reconnaître avec précision. Les interfluves dégagés sur l'ancien glacis se prolongent sur cette terrasse elle même encroûtée. La succession des nombreux thalwegs affluents déterminent un vallonnement caractéristique, de plus en plus marqué vers l'aval, en même

temps que s'accroît l'encaissement de l'oued Tensift (fig. 10). A l'extrême ouest, la couverture alluviale T3 a été disséquée par l'érosion et a partiellement disparu, laissant affleurer le socle primaire qui se trouve lui-même profondément entaillé ; elle ne subsiste plus qu'en lambeaux isolés, très irréguliers et retirés des berges de l'oued. En rive gauche ces lambeaux peuvent être associés à des placages marneux mio-pliocènes, et les deux formations ont pu être confondues sur le document de la figure 13, dans cette région.

La haute terrasse T3 est constituée d'alluvions grossières sur une épaisseur qui varie généralement de 5 à 7 m. Cette épaisseur est plus importante à l'aval de la toposéquence 7, où elle atteint au moins 20 m à l'emplacement d'un ancien lit de l'oued Tensift.

Les alluvions reposent sur le socle schisteux qui a été arasé, ou bien, parfois en rive gauche, sur les calcaires marneux mio-pliocènes. Il s'agit de galets ne dépassant guère 15 à 20 cm, où se retrouvent les principaux types des roches de l'Atlas : grès, andésites, dolérites, granites... Parmi les lits de galets, sont intercalées des lentilles sableuses irrégulières, mais l'ensemble du matériau est grossier et suppose une puissance de charriage assez importante.

Les alluvions disparaissent à l'arrière sous des matériaux plus fins qui correspondent à l'aval du grand glacis encroûté G3. Elles ont été elles-mêmes encroûtées sur toute leur épaisseur. La toposéquence 6 révèle cependant que la partie supérieure de la couverture alluviale n'a pas été encroûtée dans tous les cas et montre que le rôle de la nappe phréatique a été essentiel vis-à-vis de l'encroûtement. Ce dernier se caractérise par l'alternance de lits compacts conglomératiques irréguliers, avec des zones friables. Toutes les lentilles sableuses, sans exception, sont cimentées en grès calcaire (photo 5 et 6, pl. 1). Comme sur l'ancien glacis encroûté G3, l'érosion est à l'origine d'un remaniement superficiel où l'on retrouve des galets et des débris calcaires mélangés. Les sols sont de type régosolique, et un dépôt de calcaire secondaire, sous forme de pseudomycéliums, différencie souvent un horizon distinct dans la moitié inférieure du remaniement. Le sol peut aussi s'approfondir par pénétration de veines terreuses, favorisée par l'activité biotique, si les alluvions parfois plus faiblement encroûtées le permettent ; le profil s'uniformise et tend alors vers un sol brun subtropical sur alluvions encroûtées.

En raison de leur situation par rapport à l'ancien glacis G3, d'une part, et des caractéristiques de l'encroûtement en lits compacts qui s'y est développé, d'autre part, les alluvions partiellement schisteuses qui existent à

l'aval de la toposéquence 1, sous le manteau d'épandages grossiers du glacis G3, doivent être rattachées à ce niveau alluvial. Les cailloux schisteux faiblement usés qu'elles contiennent proviennent des Djebilet et ont été déposés par l'oued ed Defla dans sa zone de confluence avec l'oued Tensift.

LA MOYENNE TERRASSE T2

La moyenne terrasse T2 n'existe pas non plus dans la partie supérieure du cours de l'oued Tensift. Elle n'apparaît distinctement que dans la région du douar El Guern (à l'est du méridien 8°10'), pratiquement en même temps que la terrasse supérieure T3 (t.s. 5). Elle se situe alors aux environs de 6 m, mais elle s'élève ensuite progressivement vers l'aval jusqu'à 10-12 m à l'ouest de la région étudiée.

Cette terrasse est très discontinue et ne constitue que quelques petites unités essentiellement localisées en rive gauche. Lorsque les deux terrasses T2 et T3 sont bien développées, la moyenne terrasse se raccorde à la terrasse supérieure par un talus bien marqué. A l'avant, elle surplombe directement le lit de l'oued, si la basse terrasse T1 n'existe pas, et elle peut même être affouillée par ce dernier au cours de ses divagations. Comme la haute terrasse, la moyenne terrasse T2 a été érodée et entaillée par les oueds affluents de l'oued Tensift. Le fond des axes de drainage ainsi dégagés, a été ensuite colmaté par des apports récents G1 qui se raccordent à la basse terrasse T1 (E54, t.s. 7).

Au nord de Marrakech, l'ancien cône caillouteux G2 de l'oued Rêraya, qui s'est étalé sur toute la traversée de la plaine du Haouz, se prolonge en recouvrant la carapace calcaire G3 irrégulièrement érodée. A proximité de la voie ferrée vers Casablanca, les épandages alluviaux grossiers se terminent brutalement par un talus de 2 à 3 m au-dessus de la basse terrasse T1. Il pourrait s'agir ici d'un niveau témoin de l'ancienne terrasse T2, qui se trouve en rapport direct avec les épandages G2 du cône de déjection du grand oued atlasique.

La moyenne terrasse T2 est également constituée d'alluvions grossières d'origine atlasique, qui recouvrent une surface d'abrasion du socle primaire. L'épaisseur des alluvions est variable, mais ne dépasse généralement pas 3 à 4 m et souvent moins. Les galets n'excèdent généralement guère 10 cm et paraissent, dans l'ensemble, plus petits que ceux de la haute terrasse T3 ; toutefois, des galets de plus fort calibre peuvent également s'observer, surtout en profondeur. A certains endroits, on reconnaît dans ces alluvions des éléments hérités de la terrasse supérieure, en

particulier des éléments calcaires détritiques facilement identifiables. Théoriquement, il pourrait même exister des cas où la terrasse T2 se serait établie sur des alluvions T3 de comblement de l'ancien lit encaissé de l'oued Tensift.

Les alluvions de la moyenne terrasse sont caractérisées, à leur partie supérieure, par l'existence d'un *encroûtement nodulaire grossier*. Celui-ci est constitué d'éléments calcaires très irréguliers qui s'assemblent en réseau relativement homogène mais non massif, laissant subsister de larges zones terreuses. En profondeur, des lits calcaires compacts peuvent également exister, en particulier dans les niveaux sableux, et constituer un type d'encroûtement se rapprochant de celui de la haute terrasse T3. Dans la région où elles ont commencé à se différencier à des niveaux très proches, au nord-ouest de Marrakech, il est, de ce fait, parfois difficile de bien distinguer l'une de l'autre les deux terrasses T2 et T3. En effet, dans certains cas, l'érosion n'a laissé subsister que des alluvions encroûtées de profondeur, qu'il est délicat de rattacher plus particulièrement à l'une ou à l'autre terrasse sans étude approfondie (confusion possible sur la fig. 13).

Sur les zones de la terrasse suffisamment épargnées par l'érosion existent des *sols bruns encroûtés*. Développés sur le matériau alluvial, ces sols sont très faiblement calcaires à la partie supérieure et possèdent généralement un horizon de remaniement superficiel. Vers 30 ou 40 cm, apparaît un encroûtement en éléments calcaires irréguliers, qui devient rapidement plus dense et se développe sur toute l'épaisseur des alluvions en profondeur. Des zones terreuses, fortement travaillées par la faune, existent entre les éléments grossiers de l'encroûtement. Ces sols ont une répartition isohumique de la matière organique et présentent un profil calcaire bien différencié.

En rive droite, sur des zones érodées de la haute terrasse T3, le même type de sol s'observe sur des épandages localisés (D88, T.s. 6 ; E22, T.s. 8 ; photo 8, pl. 2). Ces épandages sont constitués par des galets remaniés de la haute terrasse et par des apports fins de couleur brun-rougeâtre (5 YR 5/4), vraisemblablement déposés à certaines périodes par les oueds issus des Djebilet, au cours du façonnement des interfluves actuels sur la haute terrasse. Les apports paraissent avoir les mêmes origines que les épandages G2 observés sur la bordure des Djebilet. Ces matériaux n'appartiennent pas à une terrasse de l'oued Tensift; mais d'après leur situation et leurs caractères d'évolution, ils permettent de faire un rapprochement entre les épandages grossiers à matrice argileuse rubéfiée (G2) des Djebilet, d'une part, et les alluvions de la moyenne terrasse de l'oued Tensift (T2), d'autre part.

LA BASSE TERRASSE T1

La basse terrasse borde le lit de divagation de l'oued Tensift qu'elle domine par un escarpement abrupt ; mais elle n'est que très irrégulièrement représentée. Les divagations de l'oued ont affouillé les alluvions, souvent jusqu'à totale disparition ; parfois, la terrasse ne subsiste plus que sous forme d'étroits épaulements accrochés sur la berge (t.s. 7). Elle n'a pas été observée à l'extrême ouest sur la partie du cours où le lit actuel est très encaissé. Cette terrasse se raccorde régulièrement aux épandages récents G1 lorsque ceux-ci arrivent jusqu'à l'oued. Le passage se fait le plus souvent sans aucune rupture de pente, parfois une légère inflexion marque la limite de reprise des apports d'épandages latéraux par les eaux de l'oued Tensift.

La terrasse T1 se situe aux environs de 4 à 6 m par rapport au lit mineur. A certains endroits elle se subdivise en 2 niveaux distincts. Ailleurs, surtout en rive gauche, les anciennes divagations de l'oued ont pu façonner plusieurs niveaux irrégulièrement étagés. Cette terrasse est actuellement entaillée par les affluents de l'oued Tensift qui s'efforcent de rejoindre le niveau de base local. Les entailles sont étroites et prennent l'aspect de ravines plus ou moins profondes, selon la nature des alluvions et la puissance de l'écoulement des affluents.

Les *alluvions fines* de cette terrasse T1 la différencient bien des terrasses à alluvions grossières T2 et T3 qui la surplombent. La texture est dominée par les limons, mais elle apparaît irrégulièrement plus sableuse, surtout vers le bas. Parfois en rive gauche, les alluvions prennent un caractère fortement argileux : plus de 55% d'argile. Ces alluvions se caractérisent par l'existence de niveaux pelliculaires de décantation. Il s'agit d'un enrichissement argileux par des apports latéraux à partir des épandages du Haouz et repris par l'oued Tensift. Les alluvions fines recouvrent généralement, sur une épaisseur d'au moins 4 m, un soubassement de galets où circule la nappe. Les alluvions de la basse terrasse de l'oued N'fis, ainsi que les alluvions limoneuses à limono-sableuses de l'ancien thalweg de cet oued, où se manifeste une hydromorphie de nappe associée à des phénomènes de salure et d'alcalisation, sont également considérées comme des alluvions T1.

Un réseau de séguias alimenté par des captures à l'amont de l'oued, ou par des résurgences de la nappe à flanc de vallée, permet l'irrigation et la culture de la plupart des sols sur les alluvions T1, à condition qu'il existe des possibilités de drainage. Les cultures traditionnelles intensives, pratiquées avec apports d'amendements organiques depuis très longtemps par les riverains, ont pu modi-

fier d'une façon importante les caractères originaux des sols : diminution de la salure, enrichissement par les résidus organiques, apports limoneux par les eaux d'irrigations.

Les profils sont peu différenciés. L'horizon de culture apparaît souvent plus sombre et plus humifère que dans les autres sols de la région : jusqu'à 2-3% de matière organique ; celle-ci diminue progressivement vers le bas. En profondeur, l'humidité augmente et on observe parfois des taches rouille de réoxydation ferrugineuse indiquant l'existence d'une hydromorphie temporaire.

La présence de la nappe phréatique à faible profondeur, parfois dès 1 m et rarement à plus de 3 m, constitue le facteur d'évolution le plus marquant de ces sols. Elle est à l'origine des phénomènes de salure et d'alcalisation, ainsi que de l'accumulation du calcaire en profondeur, qui se manifestent avec plus ou moins d'intensité selon les endroits. L'existence de la salure est révélée par la présence des espèces halophiles nombreuses sur cette terrasse : *Atriplex halimus*, *Limonium ornatum*, *Frankenia corymbosa*, *Sueda fructicosa*, *Mesembryanthemum nodiflorum*. Trois types de sols peuvent être distingués : peu évolués d'apport, halomorphes à alcali et hydromorphes peu humifères.

Les *sols peu évolués d'apport* occupent la plus grande partie de cette terrasse. Ce sont des sols sans différenciation du profil et faiblement calcaires : moins de 5%. Une salure faible, parfois moyenne, se développe et diminue du sommet vers le bas. Les valeurs de la conductivité électrique ne dépassent pas 3-4 mmhos/cm, sauf en surface où elles peuvent atteindre 9 mmhos/cm dans certains cas. Il n'y a pas d'alcalisation dans ces sols. La mise en culture et l'irrigation favorisent l'élimination des sels et le maintien de la salure à un niveau relativement bas. Sur quelques surfaces non cultivées, s'observe par contre une forte accumulation d'efflorescences salines qui constituent une couche poudreuse blanchâtre.

Les *sols halomorphes à alcali non lessivés*, peu ou moyennement salés, ne se développent que sur les alluvions les plus argileuses ou les moins bien drainées. Ils se caractérisent par une dégradation prononcée de la structure jointe à une très forte cohésion. Celle-ci se manifeste surtout dans les horizons moyens, moins riches en sels que les horizons supérieurs. L'accumulation calcaire est généralement bien marquée au-dessus de la nappe (amas, nodules, rognons), mais le pourcentage de calcaire reste faible à la partie supérieure du sol : moins de 5%.

Les valeurs de la conductivité électrique varient de 3 à 10 mmhos/cm, et la salure apparaît faible à moyenne. L'alcalisation importante représente le caractère le plus représentatif de ces sols. Le sodium occupe 30 à 40% du complexe adsorbant. Dans certains profils le magnésium peut atteindre 50% des cations échangeables ; il s'agit alors toujours des horizons dont la structure est le plus fortement dégradée et la cohésion la plus forte.

Des *sols hydromorphes peu humifères à redistribution calcaire* se développent dans quelques cas très localisés, lorsque la nappe envahie l'ensemble du profil pendant une partie de l'année. S'il s'agit d'une nappe circulante, comme cela est le plus souvent le cas sur cette terrasse, les sels sont régulièrement entraînés et ne s'accumulent pas. Mais le sol est marqué par l'existence d'un pseudogley, ainsi que par l'accumulation du calcaire en éléments irréguliers, dans la zone de battance de la nappe.

Les caractères essentiels des trois niveaux de terrasse qui bordent l'oued Tensift dans la région étudiée, peuvent être résumés de la façon suivante :

- la haute terrasse T3 : alluvions grossières fortement encroûtées sur toute l'épaisseur de la couverture alluviale ; encroûtement caractéristique en lits irréguliers compacts et très durs ; sols d'érosion ;

- la moyenne terrasse T2 : alluvions grossières (généralement de plus faible calibre que les précédentes) ; sols bruns remaniés encroûtés ; encroûtement de type nodulaire, avec des lits compacts irréguliers en profondeur ;

- la basse terrasse T1 : alluvions fines peu différenciées ; marquées par les phénomènes de salure et d'alcalisation, ainsi que par une accumulation calcaire plus profonde, sous l'effet d'une nappe phréatique présente à faible profondeur.

Il existe, en outre, une certaine correspondance des caractères pédologiques, et souvent même lithologiques, entre les trois terrasses T1, T2 et T3 de l'oued Tensift, d'une part, et les trois générations d'épandage G1, G2 et G3 de la zone de glaciais, d'autre part. La nature et l'intensité de l'évolution enregistrée par les matériaux sont comparables pour des dépôts chronologiquement correspondants. Il s'agit là d'un résultat essentiel, qui permettra d'envisager une coordination des événements paléogénétiques sur l'ensemble de la région.

Caractères de différenciation	Reliefs primaires	Zone de glacis			Terrasses de l'oued tensift		
		Glacis G3	Epanrages G2	Epanrages G1	Haute terrasse T3	Moyenne terrasse T2	Basse terrasse T1
Caractères lithologiques	(R). Roches du socle primaire : schistes et quartzites, avec granites, gabbros, calcaires.	(R). M. allochtones. Texture très irrégulière, généralement grossière au N. de l'oued; limoneuse à lentilles de galets au S. M. autochtones uniquement au N. de l'oued et faiblement représentés: schistes, granites.	M. allochtones grossiers. Cailloux anguleux, matrice argileuse rouge, au N. de l'oued, cônes caillouteux des oueds atlasiques au S.	M. allochtones fins. Limoneux (issus de schistes) ou sableux (issus de granites) au N. de l'oued; limoneux irrégulièrement plus sableux ou argileux, à lentilles caillouteuses, au S.	(R). Alluvions grossières. Galets d'origine atlasique: grès, laves, roches vertes, granites.	(R). Alluvions à galets d'origine atlasique, mais de plus faible calibre qu'en T3.	Alluvions fines, limoneuses à finement sableuses, parfois argileuses.
Couleur	Brun (7,5 et 10 YR), ou rubéfaction résiduelle (5 et 2,5 YR).	Brun clair (7,5 et 10 YR) au N. comme au S. de l'oued. (Souvent plus rougeâtre à la base des M. allochtones au N.)	Rougeâtre (2,5 YR) au N. de l'oued. Brun-rougeâtre (5 et 2,5 YR) au S. (Brunissement dans l'horizon de culture).	Brun variable plus ou moins rougeâtre ou jaunâtre (5 - 7,5 et 10 YR).	Brun clair (7,5 et 10 YR).	Brun-rougeâtre (5 YR).	Brun variable (5 - 7,5 et 10 YR).
Structure	Polyédrique irrégulière (1 cm) dans sols d'érosion. Polyédrique anguleuse ($\leq 0,5$ cm) dans sols rouges.	Polyédrique irrégulière (0,5 - 2 cm) parfois massive dans le remaniement. Polyédrique émousée nette dans l'encroûtement.	Bien développée: prismatique (1-4 cm) si elle peut s'exprimer, anguleuse fine entre les graviers dans le cas contraire.	Polyédrique irrégulière (1-3 cm). Bien développée si A > 25%; s'élargit en prismes puis plaquettes si A > 40-50%. Dégradée si alcalisation.	Polyédrique irrégulière à émousée (0,2-1 cm).	Polyédrique émousée (0,2-1 cm).	Très variable. Polyédrique irrégulière (1-3 cm); cubique, prismatique (5-15 cm) ou massive en cas de salure et alcalisation.
Matière organique (% horizon humifère)	0,5 à 1,3% avec pénétration en profondeur (sauf dans sols rouges).	1 à 1,5%. Pénétration en profondeur dans les zones terreuses de l'encroûtement.	$\leq 1\%$ en zone sèche; jusqu'à 1,5 et 2% en zone irriguée.	1 à 1,5%, > 2% si argileux. < 1% si sableux. Répartition isohumique.	0,6 à 1,6%. Pénétration en profondeur dans les zones terreuses de l'encroûtement.	0,6 à 1,4%. Répartition isohumique.	Variable. Jusqu'à 2-3% en zones de maraîchage. Isohumique.
Accumulation calcaire	Pseudomycéliums. Dépôts de diaclasses ou poches calcaires dans la roche.	Carapace calcaire généralisée (érodée, remaniée): encroûtements nodulaires à l'amont, auxquels s'ajoutent encroûtements feuilletés vers l'aval.	Pseudomycéliums et petits amas à l'amont. Amas et nodules vers l'aval. Tendance à l'encroûtement vers l'extrême aval.	Profil calcaire non ou faiblement différencié. Pseudomycéliums fréquents; amas, parfois granules, en profondeur. Encroûtement nodulaire très localisé en zone mal drainée.	Encroûtement en lits compacts irréguliers alternant avec zones friables, sur toute l'épaisseur de la couverture alluviale. (Erosion et remaniement en surface).	Encroûtement nodulaire, lits compacts dans les niveaux sableux profonds.	Profil calcaire souvent mal différencié. Amas, nodules, rognons parfois encroûtement, si la nappe est peu profonde.
Salure	Nulle.	Nulle ou faible (s'accroissant vers l'aval).	Nulle.	Localement faible ou moyenne vers l'aval. Tend à se généraliser dans le Haouz Occidental.	Nulle ou faible.	Nulle ou faible.	Variable: souvent très faible, parfois moyenne ou forte dans les zones à nappe peu profonde.
Les sols	Sols minéraux bruts. Sols peu évolués d'érosion. Sols rouges méditerranéens érodés remaniés.	Sols peu évolués d'érosion sur carapace calcaire. Sols bruns subtropicaux sur carapace calcaire érodée.	Sols châtaîns et châtain-rouge subtropicaux. Sols bruns subtropicaux.	Siérozems et sols bruns jeunes. Vertisols. Sols halomorphes à alcali.	Sols peu évolués d'érosion sur alluvions encroûtées. Sols bruns subtropicaux sur alluvions encroûtées érodées.	Sols bruns encroûtés subtropicaux.	Sols peu évolués d'apport. Sols halomorphes à alcali. Sols hydromorphes à redistributions calcaires.

(R) : Remaniement superficiel grossier.

Tableau 1 : Les principaux caractères de différenciation géomorphologique lithologique et pédologique des matériaux superficiels dans la région de l'Oued Tensift au nord du Haouz de Marrakech.

CONCLUSIONS

L'étude réalisée dans la région de l'oued Tensift, au nord du Haouz de Marrakech, a mis en évidence l'existence de plusieurs catégories de matériaux superficiels qui se différencient par des caractères géomorphologiques, lithologiques et pédologiques (tabl. 1).

LA DIFFERENCIATION MORPHO-PEDOLOGIQUE conduit à distinguer plusieurs éléments.

- Les zones d'érosion à topographie différenciée sur les reliefs primaires présentent un modelé plus ou moins accidenté, en raison de la résistance inégale des roches à l'altération et à l'érosion. Ces zones couvrent toute l'étendue des Djebilet ; au sud de l'oued Tensift, on peut y rattacher les quelques pointements du socle primaire qui percent très localement la couverture alluviale du Haouz.

- L'ancien glacis encroûté G3 s'est établi par accumulation des matériaux issus des Djebilet au nord du Tensift, ou de l'Atlas au sud. Mais des zones d'ablation du socle primaire (schistes, granites) existent également au nord de l'oued.

- Au nord de l'oued Tensift, les épandages de 2^e génération G2 constituent des petits cônes d'épandage pouvant recouvrir l'extrême amont irrégulièrement érodé du glacis G3, au pied des reliefs ; ils se prolongent vers l'aval en s'étalant au fond des thalwegs qui entaillent le glacis G3 (emboîtement). A l'ouest, les dépôts G2 n'existent que par légers placages sur les flancs de vallons en rive droite du Tensift. Au sud de l'oued, cette 2^e génération correspondrait aux vastes cônes d'épandage caillouteux des oueds atlasiques.

- Sur la bordure méridionale des Djebilet, les épandages récents de 1^{ère} génération G1 recouvrent l'aval des dépôts G2 et prolongent jusqu'au Tensift la nappe alluviale emboîtée dans le glacis G3. Ils n'existent pas à l'ouest. Au sud de l'oued, cette première génération doit représenter l'essentiel des dépôts fins de la plaine du Haouz, y compris les limons étalés vers l'ouest, à l'arrière de la vaste zone à carapace calcaire G3 qui borde le Tensift.

La comparaison des épandages des trois générations sur la bordure méridionale des Djebilet montre que la quantité de matériaux mis en place diminue de G3 à G1 ; les dépôts G3 et G2 y sont hétérogènes et plutôt grossiers, tandis que les dépôts G1 sont généralement fins. Une telle conclusion est plus difficile à tirer au sud du Tensift,

où les matériaux fournis par l'Atlas sont beaucoup plus considérables, et où les dépôts successifs ont pu se mélanger et se confondre sous une même surface.

Au nord de l'oued Tensift, les reliefs des Djebilet représentent les zones d'érosion qui ont fourni les matériaux d'épandage à l'aval. L'existence de matériaux fersiallitiques à la base des dépôts G3 disparaissant vers le sommet, puis de nouveaux matériaux rouges lithochromes caractérisant les dépôts G2, tend à prouver que de nouveaux sols rouges méditerranéens ont pu se reconstituer au moins à certains endroits sur les zones d'érosion, au cours de la période de pédogénèse intermédiaire entre G3 et G2. Au cours de cette même période se serait développé à l'aval l'encroûtement du glacis G3.

Si l'on compare des roches de même nature et de même origine présentes dans les matériaux G3 et G2, leur état d'altération est sensiblement plus avancé en G3 qu'en G2. Ainsi, par exemple, les granites sont arénisés, à biotite mordorée, et à feldspaths pulvérulents en G3 ; ils sont moins désagrégés, et surtout les grains de feldspaths se fractionnent mais sans se réduire en poudre en G2.

- La *haute terrasse T3* n'apparaît distinctement qu'à l'ouest de Marrakech. Elle se dégage à l'aval du glacis G3, auquel elle se raccorde par une légère inflexion de la surface. Elle est entaillée par les mêmes vallons que le glacis G3, de plus en plus profondément vers l'ouest. C'est la plus étendue des terrasses de l'oued. Dans la région du douar El Guern, elle est surmontée par des vestiges d'une terrasse plus ancienne. Les alluvions grossières ont connu une forte accumulation calcaire en lits compacts irréguliers.

- La *moyenne terrasse T2* n'apparaît également qu'à l'ouest de Marrakech. Elle existe surtout en rive gauche où sa présence est cependant très irrégulière. Les alluvions sont encore grossières, mais de plus faible calibre qu'en T3. L'encroûtement est de type nodulaire associé à des lits compacts.

- La *basse terrasse T1* existe sur toute la longueur du cours de l'oued, sauf à l'extrême ouest, où elle disparaît lorsque le lit se rétrécit. Vers l'est, elle se rattache aux épandages G1 lorsque ceux-ci arrivent à proximité du Tensift. Cette terrasse existe de façon très irrégulière, et la couverture d'alluvions fines recule sous l'effet des affouillements de l'oued au cours de ses divagations.

Les *CARACTERES PEDOLOGIQUES* permettent un regroupement de matériaux superficiels en fonction de leur *ETAT D'EVOLUTION*.

- Les *sols d'érosion* occupent les zones d'affleurement des roches primaires, l'ancien glacis encroûté G3 et la haute terrasse T3. Les matériaux de cette séquence : zones d'affleurement, glacis G3 et terrasse T3, présentent les caractères d'évolution pédologique la plus avancée. Mais les anciens sols auxquels se rapportent ces caractères ont été fortement érodés, disparaissant souvent en totalité sous l'effet de l'érosion qui a accompagné la mise en place des dépôts plus récents.

- Les *sols châtaîns et bruns subtropicaux* se sont développés sur les épandages G2 et sur la moyenne terrasse T2. Les matériaux G2, caractérisés par l'existence d'une matrice argileuse rouge (lithochrome) sur la bordure méridionale des Djebilet, présentent également dans le Haouz une couleur généralement plus rougeâtre que celle des autres matériaux. Les sols isohumiques développés sur les matériaux de deuxième génération (G2 et T2) représentent un état de pédogénèse moins avancé, en particulier vis-à-vis de l'accumulation calcaire, que dans les matériaux G3 et T3 précédents.

- Les sols faiblement marqués par la pédogénèse : *sols peu évolués, siérozems, certains sols bruns*, ainsi que *vertisols, sols halomorphes et sols hydromorphes*, se répartissent sur les épandages G1 et la basse terrasse T1 qui constituent les matériaux les plus récents dans la région. Les trois derniers types de sols cités présentent, il est vrai, des caractères morphologiques bien exprimés. Cependant ces caractères résultent de processus rapides, généralement liés à des conditions stationnelles particulières, et peuvent être de plus réversibles (RUELLAN- 1969); ils ne traduisent pas une évolution fondamentale plus avancée des matériaux. Sur le plan agricole, ce sont les sols développés sur ces matériaux de première génération qui ont la plus large vocation culturale, avec toutefois certaines limitations dans les cas de salure et d'alcalisation ; l'irrigation n'est pas à pratiquer sans certaines précautions, en particulier sur les sols qui présentent les textures les plus fines.

La synthèse des données géomorphologiques et pédologiques met en évidence l'existence de trois générations de dépôts d'épandage associés à trois niveaux de terrasses alluviales du Tensift. Les caractères de différenciation pédologique développés sur ces trois générations de matériaux sont différents et présentent une intensité décroissante en passant des matériaux les plus anciens aux plus récents. Ces données traduisent une évolution en plusieurs épisodes qui sont vraisemblablement à mettre en relation avec des modifications d'ordre climatique. Nous nous efforcerons, dans le dernier chapitre, de retracer les grandes lignes de cette évolution régionale dont les matériaux superficiels conservent les stigmates.

Quelques *CARACTERES REMARQUABLES*, observés dans les sols, méritent enfin d'être soulignés .

- *Le calcaire* constitue, par ses accumulations, le principal caractère de différenciation morphologique des sols. L'étude des accumulations calcaires fera à ce titre l'objet du prochain chapitre.

- Malgré des teneurs relativement faibles (le plus souvent de l'ordre de 1% dans l'horizon supérieur), *la matière organique* pénètre bien en profondeur, sauf dans les sols rouges méditerranéens, et présente un profil isohumique dans tous les autres sols. Elle est en quantité sensiblement plus importante dans les sols argileux, par rapport aux sols limoneux et surtout sableux ; elle augmente aussi dans les zones soumises à l'irrigation permanente. Les zones de cultures maraîchères, qui de surcroît reçoivent des amendements humiques : fumier, gadoues, comptent parmi les mieux pourvues en matière organique.

- Bien que son développement puisse être contrarié par la pierrosité dans beaucoup de cas, *la structure* est généralement bien caractérisée dans les sols qui ont évolué sur les matériaux anciens. Elle est plus ou moins développée, selon la texture, sur les dépôts récents : la structure s'affirme lorsque la proportion d'argile s'élève ; elle s'élargit et peut présenter des caractères vertiques si l'argile devient la fraction prépondérante. Si elle ne s'accompagne pas d'alcalisation, la salure favorise également la structure ; mais l'alcalisation se manifeste toujours par une importante dégradation structurale entraînant une forte cohésion du sol. La culture et surtout l'irrigation détruisent la structure dans l'horizon de travail qui se prend en masse sous l'effet de la submersion.

- *La salure*, qu'accompagne souvent *l'alcalisation*, se manifeste vers l'aval à l'approche de l'oued Tensift, et elle touche surtout les dépôts les plus récents (G1 et T1). Vers l'est, elle ne constitue que quelques taches très localisées au voisinage de l'oued. Mais à l'ouest de Marrakech, et surtout au-delà de l'oued N'fis, la salure et l'alcalisation affectent dans le Haouz occidental des zones plus vastes et plus éloignées du Tensift. L'accroissement de l'halomorphie dans cette région peut avoir plusieurs causes conjuguées :

- la diminution de la profondeur de la nappe ;
- l'augmentation de la salinité de la nappe ;
- l'aridité croissante du climat vers l'ouest ;
- la contamination des épandages par les calcaires marneux mio-pliocènes parfois salés qui affleurent au sud.

- *L'activité biologique* se manifeste dans les sols, essentiellement par la présence d'éléments coprogènes. Ces

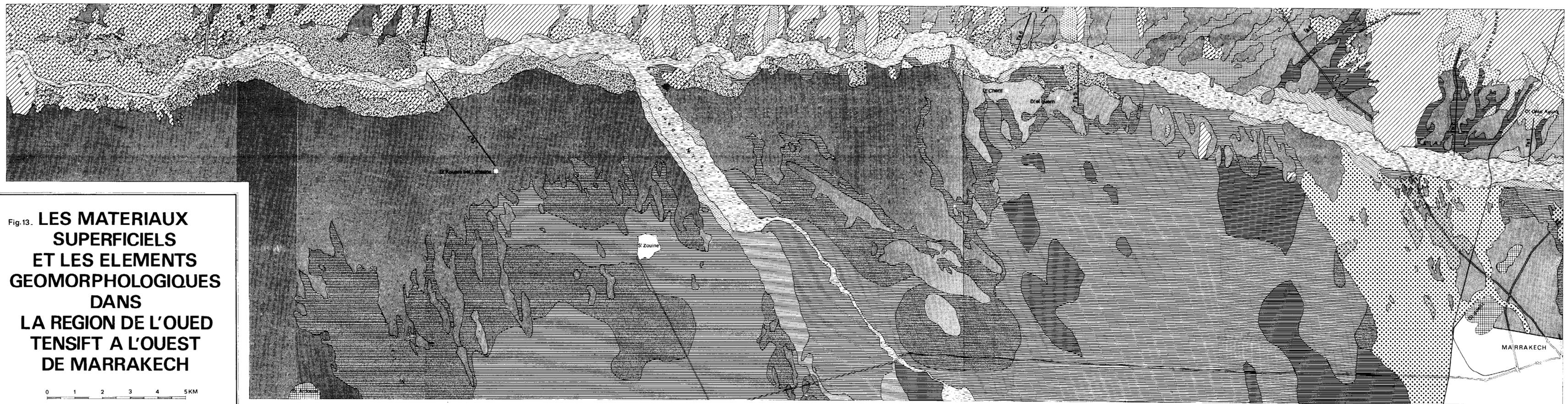


Fig.13. **LES MATERIAUX SUPERFICIELS ET LES ELEMENTS GEOMORPHOLOGIQUES DANS LA REGION DE L'OUED TENSIFT A L'OUEST DE MARRAKECH**

0 1 2 3 4 5KM

PRIMAIRE

- Schistes et quartzites
 - Calcaires
 - Granites
 - Gabbros
- zones de relief à topographie d'érosion différenciée ancienne
- Zones de mise en affleurement après érosion des formations encroûtées sus-jacentes G3 et T3 (érosion récente post-tensiftienne)

TENSIFTIEN

- Carapace calcaire : Glacis G3
- Alluvions grossières encroûtées : Terrasse T3

SOLTANIEN

- Matériaux hétérogènes à cailloux irréguliers et matrice fine rouge
 - Matériaux hétérogènes à galets et limons irrégulièrement plus sableux ou argileux
 - Alluvions grossières encroûtées : Terrasse T2
- Epanrages T2

RHARBIEEN

- Matériaux sablo-limoneux irrégulièrement plus limoneux, sableux ou argileux.
 - Matériaux limoneux irrégulièrement plus sableux ou argileux.
 - Matériaux limono-argileux irrégulièrement plus limoneux, sableux ou argileux.
 - Alluvions fines limoneuses et argilo-limoneuses : Terrasse T1
 - Alluvions limono-argileuses à nappe phréatique peu profonde : ancien lit d'oued se raccordant à la terrasse T1
- Epanrages G1 (éventuellement recouvrement ou mélange avec des matériaux G2, lentilles graveleuses ou caillouteuses)
- Alluvions sableuses, limoneuses et caillouteuses du lit de divagation d'oued actuel.
- Zones de recouvrement d'encroûtements calcaires G3 (érodes, remaniés) par les épanrages G1 ou G2.

CHAPITRE III

LES ACCUMULATIONS CALCAIRES

La terminologie de RUELLAN (1970) relative aux formes d'individualisation et d'accumulation du calcaire a été utilisée dans cette étude. Elle permet de caractériser la quasi-totalité des formes de concentration du calcaire observées dans la région de Marrakech, à l'exception des encroûtements en larges amas et en lits compacts irréguliers profonds. L'importance d'un vocabulaire adapté se justifie par la diversité des formes d'accumulation du calcaire. Ces formes n'apparaissent pas au hasard mais semblent liées à des conditions d'environnement bien définies ; elles possèdent également entre elles des rapports d'association déterminés selon ces conditions (tabl. 3). Les pages qui vont suivre seront d'abord consacrées à l'étude des caractères généraux des formes d'individualisation du calcaire observées dans la région étudiée. Ensuite, seront précisés les principaux types d'association en profils d'accumulation de ces différentes formes en fonction de l'environnement. Puis, quelques facteurs paraissant avoir joué un rôle essentiel dans la différenciation des accumulations seront examinés. Enfin, nous proposerons quelques caractéristiques analytiques concernant les concentrations calcaires.

LES FORMES D'INDIVIDUALISATION DU CALCAIRE

A la suite de RUELLAN, nous distinguerons trois formes d'individualisation : les distributions diffuses, les concentrations discontinues et les concentrations continues. Nous ajouterons une dernière catégorie : les formes résiduelles, qui ne peuvent manquer de retenir l'attention dans la région de l'oued Tensift.

LES DISTRIBUTIONS DIFFUSES

Bien qu'il ne soit pas toujours visible à l'œil nu, le calcaire existe dans la quasi-totalité des sols de la région. Seuls les sols rouges et les sols châtain-rouge en sont dépourvus dans leurs horizons supérieurs. Dans les autres sols, notamment dans les sols à profil peu différenciés situés sur les épandages G1, la présence du calcaire dans les horizons sans concentrations apparentes est décelable sur le terrain grâce au test de réaction à l'acide chlorhydrique N/10. Les très fines particules calcaires mélangées à la terre fine en distribution diffuse ne se distinguent pas à l'œil, mais elles réagissent à l'acide de façon plus ou moins violente selon l'importance de leur concentration.

En appréciant l'intensité de l'effervescence à la vue, et dans certains cas à l'ouïe, il est possible d'établir sur le terrain un classement relatif des sols en fonction de leur richesse en calcaire, à condition que cette dernière ne soit pas trop élevée. Dans le cas contraire, l'effervescence devient si violente qu'il est impossible de saisir une différence éventuelle. Dans les sols à texture dominante limoneuse de la région, la réaction à l'acide devient insignifiante pour des teneurs inférieures à 1% de calcaire total. Le pourcentage peut s'élever jusqu'à 15%, et parfois 20%, sans qu'apparaissent des formes de concentration individualisées. Cependant, des fortes proportions de calcaire diffus déterminent une teinte plus claire de la terre, qui se situe alors dans la catégorie des 10 YR. Pour un même échantillon, l'effervescence à l'acide apparaît plus forte sur sol sec que sur sol mouillé. Ceci est dû à la différence d'humidité et de mouillabilité de la terre. On observe, en effet, que sur l'échantillon humide la goutte d'acide se disperse immédiatement sur un grand volume, en se diluant dès qu'elle touche la terre. Sur l'échantillon sec, au contraire, elle reste concentrée autour du point d'application en déterminant une effervescence plus violente.

Dans beaucoup des épandages récents G1, le calcaire existant en distribution diffuse doit être considéré comme une composante texturale originelle du matériau alluvial ; nous avons d'ailleurs constaté que son importance varie selon l'origine des apports. Cependant, il peut exister des cas où un enrichissement en calcaire s'est réalisé ultérieurement dans le profil, soit à partir des solutions circulant par drainage oblique, soit par action de nappe, ou bien sous l'effet des eaux d'irrigation. L'irrigation pourrait être, en effet, à l'origine des teneurs plus élevées dans les horizons supérieurs observées dans certains sols.

LES CONCENTRATIONS DISCONTINUES

Les pseudomycéliums

Ces concentrations filiformes, dont le diamètre n'est généralement que d'une fraction de mm, constituent un réseau blanchâtre de densité variable qui se détache avec plus ou moins de netteté sur la teinte brune de la masse terreuse. Plusieurs faciès peuvent être distingués .

- Les *engainements* constituent le faciès le plus largement représenté. Ils se développent dans les sols à texture fine où ils soulignent la porosité tubulaire. Une mince couche calcaire déposée sur la paroi des pores constituent ces engainements. La couleur claire n'est parfois que faiblement contrastée par rapport à la matrice terreuse.

- Des *filaments blancs* apparaissent dans des matériaux à porosité lacunaire importante ; par exemple, à la base de certains horizons de remaniement sur croûte ou alluvions encroûtées. Ce sont des filaments calcaires blancs, fragiles, bien individualisés et séparés des éléments texturaux du sol. On les observe souvent associés aux fines racines herbacées, surtout graminéennes. Ce faciès filamenteux présente l'aspect le plus comparable à celui d'un mycélium vrai.

- De *finies lignes calcaires tapissent les cailloux*, préférentiellement à la face inférieure, dans les dépôts grossiers. Lorsque la concentration du calcaire s'accroît, ces dépôts filamenteux et arborescents s'élargissent irrégulièrement pour constituer des amas.

Les pseudomycéliums se développent dans différents types de sol :

- . à la base des sols régosoliques sur schistes, si des poches calcaires existent dans la roche sous-jacente, au voisinage de la limite avec l'horizon de remaniement ;
- . à la base des sols rouges ;
- . à la base des sols régosoliques sur carapace calcaire ou sur alluvions encroûtées ;
- . dans les horizons moyens des siérozems, des sols bruns et des sols châtains subtropicaux.

La richesse en calcaire d'un horizon à pseudomycéliums peut être très variable. Dans les sols faiblement différenciés sur matériau initialement calcaire, la présence de pseudomycéliums dans un horizon ne traduit pas pour autant un enrichissement en calcaire de cet horizon. Il s'agit le plus souvent d'une redistribution du calcaire préexistant. Dans les

sols rouges ou dans les sols châtain-rouge, l'existence de pseudomycéliums traduit naturellement la présence de calcaire en quantité plus importante que dans les horizons supérieurs décarbonatés. Dans ces derniers sols, les pseudomycéliums bien développés correspondent généralement à des teneurs en calcaire supérieures à 2%. Au-dessous de cette valeur ils apparaissent d'une façon plus fugace, mais sont encore observables pour des teneurs de 0,5%. Avec beaucoup d'attention, on a pu observer un développement très discret de pseudomycéliums pour des valeurs de l'ordre de 0,1% de calcaire total.

Les pseudomycéliums représentent une forme de concentration de faible intensité. Lorsque le calcaire augmente, des formes d'accumulation plus larges se développent. Dans les sols à profil calcaire différencié, l'horizon à pseudomycéliums constitue la partie supérieure de la zone d'accumulation calcaire ; mais cet horizon n'apparaît pas forcément dans tous les cas, en particulier dans les sols contenant des quantités importantes de calcaire diffus. Les pseudomycéliums peuvent exister en association avec d'autres formes de concentration. On les observe par exemple dans les zones terreuses des encroûtements nodulaires de l'ancien glacis encroûté G3, et on peut se demander ici s'ils n'ont pas une origine plus récente que les nodules.

Les pseudomycéliums se développent dans des horizons de pénétration racinaire, non travaillés. L'existence d'une végétation herbacée, surtout graminéenne, semble favoriser leur formation. Les racines intensifient la dessiccation de l'horizon et favorisent la concentration et l'accumulation du calcaire à leur voisinage et dans les pores. On peut à ce sujet remarquer que les pseudomycéliums sont plus rares à grande profondeur. Ils ont toutefois été observés avec des amas sous la carapace calcaire, dans des profils situés à l'amont de l'ancien glacis G3 : il s'agit du niveau inférieur non encroûté de la zone d'accumulation, qui correspond à une diminution très importante de la concentration calcaire et n'existe que dans des conditions de drainage profond suffisantes.

Les amas friables

Ce sont des concentrations calcaires non indurées et de dimension variable : depuis quelques mm jusqu'à plusieurs cm de diamètre. Ces accumulations localisées possèdent une teinte blanchâtre d'autant plus soutenue que la concentration de calcaire est plus importante. Il peut s'agir de taches claires, très diffuses, ou bien d'amas blanchâtres bien individualisés contrastant fortement sur la teinte brune de la matrice terreuse. Les amas sont généralement

de forme arrondie mais pouvant être irrégulière. L'aspect, la proportion et la répartition des amas caractérisent l'accumulation calcaire dans un horizon et peuvent être très variables.

Dans les sols développés sur les matériaux G2 et G1 postérieurs au grand glacis G3, les amas sont peu abondants et leur taille est généralement réduite : de l'ordre de 1 cm. Mais ils sont représentés dans les principaux types de sols existants : siérozems, sols bruns, sols châtains, vertisols et sols hydromorphes, dans les horizons moyens ou profonds. Peu importants dans les siérozems, ils sont plus fréquents dans les sols bruns et les sols châtains où ils sont souvent associés à des granules.

Des amas bien individualisés sont présents dans les sols développés sur altérations de schistes, granites, et gabbros. On peut y joindre les dépôts calcaires friables qui remplissent les diaclases en profondeur. Les amas existent également dans les carapaces calcaires, mais ils sont associés là à des formes d'encroûtement qui seront étudiées plus loin.

Dans les matériaux grossiers, le calcaire constitue des revêtements autour des graviers ou des cailloux. Ces revêtements sont localisés ou continus. Ils sont toujours mieux développés à la face inférieure des cailloux où ils peuvent constituer des dépôts indurés ; dans ce dernier cas, il s'agit de formes à rapprocher des nodules.

En profondeur, sous la carapace calcaire G3, des revêtements très fins, offrant l'aspect d'un voile laiteux, recouvrent la surface des grosses mottes compactes qui n'existent que dans le cas de matériaux fins. Celles-ci résultent du tassement des alluvions fines sous la pression des matériaux encroûtés et souvent plus grossiers situés au-dessus ; des phénomènes d'alcalisation ont également pu favoriser la formation de ces mottes compactes. Des *voiles laiteux* ont été observés en plusieurs endroits à l'amont du glacis G3. Comme les revêtements autour des cailloux (ts. 6), ils se sont développés dans des situations où le drainage profond était suffisamment bien assuré pour éviter une accumulation généralisée du calcaire.

Comme les pseudomycéliums, les amas peuvent exister dans des sols dont la richesse en calcaire est très variable. Ils ne correspondent pas toujours à un enrichissement en calcaire de l'horizon considéré et peuvent caractériser une simple redistribution, notamment lorsqu'il s'agit de formes assez diffuses. Cependant, il peut s'agir effectivement d'un enrichissement par rapport aux horizons supérieurs, comme dans le cas des sols bruns et châtains ou de certains sols rouges. Dans certains profils de sols faible-

ment différenciés : siérozems, vertisols et parfois sols bruns, l'accumulation semble essentiellement due à une déficience du drainage en profondeur, souvent associée à la présence de calcaire résiduel à proximité, plutôt qu'à une décarbonatation des horizons supérieurs. L'influence du drainage est bien mise en évidence dans les sols halomorphes, où l'accumulation du calcaire sous forme d'amas et de nodules résulte d'un phénomène de remontée des solutions. Dans ce cas, l'accumulation calcaire n'affecte que la partie moyenne du sol, et ce sont les sels les plus solubles, en particulier le chlorure de sodium, qui s'accumulent en surface.

Les nodules

Ce sont des concentrations calcaires indurées, de taille et de forme variables. Selon les normes indiquées par RUELLAN (1970), les nodules de diamètre inférieur ou égal à 1 cm sont appelés : *granules* ; ils sont généralement arrondis. Les plus grossiers, supérieurs à 5 cm, sont des *rogons* ; ils sont souvent de forme plus irrégulière. La couleur des nodules varie du blanc crème au brun-rosâtre. Comme les amas, ils peuvent contenir des fines inclusions terreuses plus sombres et des sables. L'induration est aussi d'intensité variable et paraît être en relation avec la couleur : à une teinte blanchâtre correspond une faible induration ou même une certaine friabilité, une teinte brune se traduit au contraire par une induration forte. Les nodules anciens, comme ceux des encroûtements de l'ancien glacis G3 sont généralement hétérogènes. Ils présentent une partie périphérique blanchâtre assez tendre, avec un noyau brun très dur ; les plus grossiers peuvent être constitués de plusieurs noyaux emballés dans une masse plus claire et moins indurée.

Dans les sols situés sur les épandages alluviaux G2 et G1 : siérozems, sols bruns, sols châtaîns, vertisols, sols halomorphes, parfois même dans certains sols rouges de la topographie d'érosion supérieure, des granules existent assez souvent à la base des horizons contenant des amas calcaires. Ils apparaissent ici généralement homogènes, peut-être en raison de leur relative jeunesse. Localement, les nodules deviennent prépondérants lorsque l'accumulation calcaire s'accroît et tend à devenir un encroûtement.

Dans les matériaux grossiers : nappes alluviales G2 à cailloux schisteux dans les thalwegs des Djelibet par exemple, le calcaire se dépose au contact des cailloux et surtout à la face inférieure. Il y constitue des dépôts stalactiformes qui peuvent former des calottes calcaires inversées, épaisses et indurées, soudant sables et graviers

à la base des cailloux. Parfois, il existe également des accumulations calcaires en larges éléments irréguliers occupant la totalité de l'espace compris entre plusieurs cailloux. Ces éléments possèdent souvent une consistance hétérogène et constituent des accumulations partiellement friables avec des noyaux indurés. Celles-ci se localisent toujours préférentiellement dans des zones où la texture initiale était relativement fine par rapport à l'ensemble du matériau grossier.

Les dépôts calcaires indurés contenus dans les diaclases des roches peuvent également être rapprochés des nodules. Ces nodules existent aussi bien dans les différents faciès des roches schisteuses et quartzites, que dans les arènes granitiques, même sous sols rouges. Dans le cas des granites, il est intéressant de noter que le calcaire s'est surtout déposé dans les diaclases horizontales ou subhorizontales et n'a pas constitué d'accumulations dans les diaclases verticales ou obliques.

En présence d'une nappe phréatique à faible profondeur : sols halomorphes et hydromorphes, les concentrations calcaires qui peuvent être partiellement ou totalement sous forme d'amas à la partie supérieure, deviennent plus consistantes et plus grossières vers le bas, allant dans certains cas jusqu'à l'encroûtement. Dans les niveaux inférieurs se constituent des rognons très irréguliers, souvent allongés, avec des ramifications bourgeonnantes qui peuvent justifier l'appellation de *poupées calcaires*. Ces accumulations sont homogènes tant par leur couleur que par leur consistance. Dans les alluvions finement sableuses humides, la couleur de ces concentrations calcaires est voisine de celle de la matrice, mais en séchant, la couleur s'éclaircit et la consistance devient plus dure. L'accumulation croissante du calcaire vers le bas peut aboutir à la formation d'une véritable dalle à la partie supérieure de la nappe, comme dans le profil D44 de la toposéquence 3. A la base de ce profil, au voisinage de la nappe phréatique, l'augmentation de l'induration s'accompagne d'une proportion plus importante du calcaire dans la matrice sableuse. Les trois échantillons D4451, D4452 et D4453, qui figurent au tableau 2 et correspondent à des accumulations de dureté croissante, contiennent respectivement : 10,3%, 22,3% et 24,7% de calcaire, pour une texture comparable du résidu de décarbonatation.

LES CONCENTRATIONS CONTINUES

Lorsque la densité de l'accumulation s'accroît, le calcaire tend à se généraliser et prend une importance prépondérante, masquant partiellement ou totalement les caractéristiques

tères originels du matériau qu'il imprègne. Ces accumulations sont communément désignés par le terme d'encroûtements. Le calcaire se manifeste par sa couleur claire qui caractérise les zones d'accumulation. Par ailleurs, la forme, la taille, la consistance des concentrations calcaires déterminent des faciès d'encroûtement variés. Ces différents types d'encroûtements ont été classés en deux grandes catégories par RUELLAN : les encroûtements non feuilletés et les encroûtements feuilletés.

LES ENCROûTEMENTS NON FEUILLETES

Nous y distinguons trois types principaux : les encroûtements massifs, les encroûtements en larges amas et les encroûtements nodulaires.

Les encroûtements massifs

Il s'agit d'un dépôt généralisé et le plus souvent régulier de calcaire. La couleur blanchâtre à beige clair est parfois ponctuée de petites taches rougeâtres ou noires. Deux faciès principaux peuvent être distingués :

- des *encroûtements crayeux* ou *pulvérulents* à toucher farineux et d'aspect massif ;
- des *encroûtements tuffeux*, moins homogènes, et constitués d'un assemblage d'éléments d'induration variable. Ils sont moins réguliers, parfois à tendance alvéolaire ou très finement feuilletée.

Ces encroûtements massifs constituent des accumulations assez tendres et souvent friables. Ils ont été observés à la base de certains profils, sous la carapace calcaire de l'ancien glacis encroûté G3. Ils se sont développés sur des profondeurs très variables : de quelques dizaines de cm à plus de 2 m. Dans le cas d'une épaisseur importante, ils sont généralement subdivisés en plusieurs niveaux par d'étroites zones terreuses friables présentant des traces d'activité biotique (E13 et E17, t.s. 8). Les encroûtements massifs apparaissent dans des situations qui doivent avoir connu un drainage profond très déficient au moment de leur formation. Ils n'ont pas été observés dans des alluvions caillouteuses, et une texture fine paraît devoir favoriser l'accumulation massive. Ainsi dans le profil D13 (t.s. 4), une lentille limoneuse a permis la concentration massive du calcaire qui atteint 54,3% (D131, tabl. 2), alors qu'il ne s'est pas accumulé dans le niveau alluvial sableux environnant où il ne représente que 1,1% (échantillon D132 du même tableau).

Les encroûtements massifs existent également à la partie supérieure altérée des roches schisteuses et granitiques, dans des profils situés à l'amont de l'ancien glacis

Réf. Ech.	Profondeur en cm	Type de concentration	CO ₃ Ca %	Résidu de décarbonation					H ₂ O %	Fer total ‰	Fe.I. Fet. %	MnO ₂ %	pH eau	Gypse mé/100g	L(1/25) mmhos	bilan ionique (1/25) mé/100g							
				A %	Lf %	Lg %	Sf %	Sg %								Cl-	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻	CO ₃ H-	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺
AR 195 AR 196	40 60	ac. massive (dans arène) dalle compacte (dans arène)	31.2 60.4	7.3 7.6	8.7 7.6	9.7 7.1	16.9 16.4	56.2 60.0	0.8 0.5	1.80 1.30	0.28 0.27	.028 .020	9.0 9.0	0.27 0.30	0.28 0.31	0.07 0.07	0.02 0.00	0.12 0.00	0.46 0.75	0.42 0.50	0.04 0.04	0.05 0.05	0.19 0.19
D 441 D 416 D 417 D 418	20 40 85 180	croûte croûte dalle compacte lit compact (dans arène)	67.9 66.3 63.2 60.0	21.8 31.4 15.0 13.8	17.1 13.5 21.8 16.3	12.1 12.8 13.7 9.3	23.1 19.1 20.4 25.8	23.4 21.2 26.7 32.5	0.8 0.7 1.0 1.0	1.10 1.40 1.50 1.20	0.36 0.36 0.33 0.33	.028 .046 .030 .050	9.2 9.1 9.3 9.3	0.08 0.17 0.17 0.34	0.12 0.17 0.15 0.23	0.00 0.00 0.00 0.05	0.40 0.00 0.02 0.18	0.00 0.17 0.15 0.12	0.25 0.31 0.35 0.37	0.22 0.31 0.36 0.35	0.11 0.05 0.04 0.05	≤0.01 0.05 0.05 0.05	0.04 0.03 0.15 0.26
D 281 D 282 D 283	150 200 220	nodule arène sans accumulation lit compact dans arène	40.6 1.3 50.5	16.8 3.5 16.2	19.4 4.6 12.1	12.4 4.7 7.9	17.0 15.7 19.6	36.5 70.5 41.4	1.2 1.0 1.5	2.00 1.30 1.05	0.40 0.35 0.24		9.3 9.2 9.2	0.45 0.08 0.02	0.43 0.34 0.31	0.21 0.45 0.22	0.50 0.04 0.07	0.00 0.00 0.00	0.33 0.33 0.50	0.34 0.34 0.34	0.10 0.10 0.20	≤0.01 ≤0.01 ≤0.01	0.70 0.50 0.33
D 4451 D 4452 D 4453	240 250 260	acc. de nappe encore friable ~ cohérente ~ plus dure	10.3 22.3 24.7	10.0 7.1 7.3	9.5 9.7 12.0	11.7 9.8 8.8	18.3 16.7 15.7	49.0 55.1 53.1	14 1.1 1.1	2.00 1.60 1.80	0.35 0.34 0.31		8.8 9.2 9.2	0.45 0.40 0.40	1.63 0.53 0.59	2.70 0.72 0.33	1.10 0.28 0.23	0.00 0.00 0.17	0.38 0.28 0.72	0.39 0.25 0.71	1.06 0.25 0.08	≤0.01 ≤0.01 0.05	2.88 0.43 0.52
D 964	270	lit compact (all. fines)	73.0	35.2	24.1	13.7	18.6	9.3	0.8	1.00	0.25	.050	9.0	0.17	0.24	0.02	0.10	0.00	0.60	0.56	0.12	0.05	0.04
C 14	150	lit compact (all. sableuses)	44.6	3.6	14.5	7.2	33.2	40.6	0.5	2.50	0.32	.396	9.0	0.77	0.38	0.11	0.35	0.05	0.20	0.42	0.08	0.08	0.10
D 131 D 132 D 133	115 155 260	terre sans accumulation acc. massive acc. massive (sur schiste)	1.1 54.3 44.6	3.5 24.1 15.3	10.1 27.3 25.3	9.0 17.7 4.5	18.8 18.4 11.0	56.2 9.6 40.0	2.3 1.3 2.1	3.90 2.20 2.00	0.27 0.27 0.15	.052 .030 .031	8.6 8.8 9.1	3.00 2.50 3.50	3.57 2.98 2.78	5.86 4.88 3.74	1.40 1.20 1.50	0.00 0.00 0.20	0.52 0.50 0.72	1.42 1.40 1.12	0.62 0.62 0.31	0.23 0.19 0.16	5.27 4.02 4.62
E 420 E 421 E 422 E 423 E 424	0-10 15-30 80 170 500	dalle compacte croûte nodules durs nodules moins durs calcaire Quaternaire ancien	66.9 68.9 72.2 70.5 70.5	7.6 23.6 18.0 32.6 22.0	15.1 17.3 30.3 18.6 30.5	8.5 12.6 14.0 18.3 15.9	20.2 19.8 27.3 20.0 23.4	45.9 26.7 6.5 6.4 5.8	0.9 1.0 1.0 1.3 0.7	1.50 1.20 1.10 1.30 1.40	0.30 0.33 0.23 0.31 0.29	.071 .044 .046 .052 .099	9.3 9.3 9.2 8.8 9.1	0.27 1.70 2.00 2.50 1.20	0.70 1.19 4.57 9.83 1.76	0.12 1.34 8.50 17.50 2.69	0.06 1.06 1.29 2.53 0.68	0.34 0.34 0.17 0.05 0.00	0.94 0.68 0.64 0.23 0.20	0.50 0.41 1.29 3.29 1.22	0.05 0.09 0.45 2.19 0.62	0.07 0.05 0.05 0.08 0.05	0.45 2.36 8.63 14.2 1.83
MP 1 MP 2	100 100	calcaire Mio-Pliocène (1) calcaire marneux Mio-Pliocène	81.1 68.1	39.7 39.2	37.1 28.2	12.7 11.3	3.7 14.1	3.2 3.1	0.7 1.3	0.90 1.20	0.17 0.08	.044 .027	9.3 9.2	0.85 3.50	2.10 15.5	3.30 34.8	0.78 4.25	0.05 0.05	0.54 0.20	0.63 2.55	0.23 4.70	0.05 0.13	3.93 31.5
E 451 E 52	220 300	masse calcaire remaniée (2) masse calcaire du fond (3)	78.7 79.5	32.9 41.5	28.2 34.2	10.3 13.2	18.7 3.4	7.0 3.4	0.7 0.6	1.10 1.00	0.25 0.25	.047 .089	9.4 9.3	0.70 0.70	0.91 1.38	1.52 2.19	0.38 0.53	0.00 0.05	0.25 0.20	0.41 1.52	0.19 0.38	0.05 0.05	0.41 1.23
		calcaire lacustre	71.5	70.9		Analyse SOGETIN Rabat, d'après GILBERT (1959)																	

(1) Probablement faciès d'altération du calcaire marneux-(2) et (3) ces masses calcaires ont vraisemblablement pour origine une reprise du Mio-Pliocène.

Tableau 2 : Résultats analytiques obtenus sur quelques échantillons de concentrations calcaires

G3. Ces roches constituaient vraisemblablement un substratum relativement sain au début de l'encroûtement du glacis. Il s'agit d'encroûtements assez hétérogènes se rapprochant du type tuffeux, qui résultent de l'accumulation du calcaire au contact d'un plancher peu perméable, mais probablement sans existence de nappe permanente. Des galeries à pénétrations terreuses interrompent parfois la continuité de l'encroûtement, surtout si celui-ci est situé à une faible distance de la surface. L'épaisseur de l'encroûtement ne dépasse pas ici quelques dizaines de cm.

Les accumulations calcaires en larges poches dans les schistes et les granites, qui existent aussi au-dessous des sols rouges, constituent également des accumulations massives. Celles-ci sont généralement pulvérulentes, mais elles contiennent souvent des noyaux indurés et peuvent parfois tendre vers un encroûtement nodulaire. Un seul exemple d'accumulation calcaire massive a été observé dans un sol hydromorphe en bordure de l'oued Tensift.

La teneur en calcaire des différents encroûtements massifs est variable, mais elle apparaît d'autant plus faible que la texture du matériau résiduel après décarbonatation est grossière. Les trois échantillons D132, D133 et R195 du tableau 2, qui correspondent à des encroûtements massifs, illustrent bien ce fait. Il s'agit d'ailleurs d'une constatation de portée générale, également valable pour les autres formes de concentration calcaire.

Les encroûtements en larges amas

Ils sont constitués par la juxtaposition de larges amas calcaires blanchâtres, contrastant sur un fond brun plus ou moins rougeâtre. Le diamètre des amas atteint souvent 5 à 10 cm et ceux-ci occupent la plus grande partie de la surface. Ils apparaissent bien individualisés et sont séparés par des zones terreuses étroites. Cette disposition distingue parfaitement ce type d'encroûtement des encroûtements massifs.

L'encroûtement en larges amas existe à la partie inférieure des carapaces calcaires sous l'encroûtement nodulaire. Il a été observé dans les profils situés à l'aval du glacis G3 (D96, t.s. 5 ; E12 et E13, t.s. 8), ou bien en situation particulière vers l'amont : ancien thalweg (D13, t.s. 4), mais toujours uniquement dans des alluvions fines. Cette situation laisse à penser que ce type d'accumulation calcaire s'est formé dans des conditions de drainage ralenti mais encore effectif, et à une profondeur suffisamment éloignée de la surface pour que l'intensité de la dessiccation soit atténuée. L'épaisseur des encroûtements dépasse généralement 50 cm, et elle apparaît le plus souvent de l'ordre de 150 à 200 cm.

Dans les profils de l'aval, les amas contiennent fréquemment quelques noyaux indurés en granules. Dans certains cas, ces derniers peuvent s'aplatir pour passer progressivement à un encroûtement feuilleté en lits compacts vers le bas.

Il faut souligner que cet encroûtement en larges amas correspond à une distribution très contrastée du calcaire. A côté des fortes concentrations de calcaire dans les amas, les zones terreuses voisines ne sont que faiblement, ou parfois pratiquement pas, calcaires. Ainsi à 3,10 m de profondeur dans le profil D13 de la toposéquence 4, il existe 48,2% de calcaire dans les amas, et seulement 0,75% dans la terre rougeâtre voisine. Cette terre rougeâtre se distingue parfaitement des pénétrations terreuses plus brunes d'origine biotique et elle peut être raisonnablement considérée comme faisant partie du matériau en place au moment de la formation des amas. Le même fait a été observé dans plusieurs autres profils, où les zones terreuses ne réagissent souvent pas à l'acide, surtout s'il s'agit d'un matériau rubéfié.

Les encroûtements nodulaires

Ils sont constitués par la juxtaposition d'éléments calcaires durs et bien individualisés ; nodules, granules et rognons, avec fréquemment des amas associés. Selon l'importance de l'une ou de plusieurs de ces formes de concentration, on parlera d'*encroûtement* : *granulaire*, *nodulaire*, *granulo-nodulaire*, etc...

Les nodules possèdent le plus souvent un noyau brun-rougeâtre clair (teinte voisine des valeurs 5 YR 6/4-7/4, très dur, enrobé dans une gangue plus claire (5 YR 8/2-8/3), plus tendre, et d'épaisseur irrégulière. Entre les éléments calcaires les étroites zones friables qui les séparent contiennent de la terre brunâtre, toujours bien marquée par des traces d'activité biotique et offrant un aspect comparable sur toute l'épaisseur de la carapace. Dans ces zones, les éléments structuraux arrondis semblent correspondre à d'anciens turricules, sur lesquels se sont développés des pseudomycéliums calcaires.

La proportion de l'ensemble des concentrations calcaires bien individualisées par rapport à la masse du matériau est très variable. Le contraste entre la couleur blanchâtre des accumulations calcaires et la couleur brunâtre plus soutenue des zones terreuses interstitielles facilite l'appréciation visuelle de cette proportion relative, qui peut être exprimée en pourcentage. Il s'agit bien sûr d'une estimation très grossière, mais elle permet

d'établir une hiérarchie des encroûtements selon leur intensité d'occupation, et ceci est particulièrement utile pour apprécier l'évolution des accumulations calcaires le long d'une toposéquence par exemple.

La richesse globale en calcaire dépend naturellement de l'intensité de l'encroûtement. La teneur en calcaire des nodules est très élevée : jusqu'à plus de 70%, et elle est du même ordre de grandeur que dans les autres concentrations indurées : croûtes ou dalles calcaires (tabl. 2).

L'encroûtement nodulaire représente la forme d'encroûtement la plus répandue parmi les accumulations calcaires dans les matériaux superficiels, avec une prédominance du type granulo-nodulaire. Cet encroûtement constitue un élément constant de la carapace calcaire qui occupe l'ancien glacis G3, où il se situe immédiatement au-dessous de l'encroûtement feuilleté. L'épaisseur varie généralement entre 100 et 200 cm, parfois davantage, mais elle apparaît plus faible dans les profils de l'amont en raison de l'accumulation moins importante du calcaire, d'une part, et du rôle éventuel de l'érosion, d'autre part. Cet encroûtement s'est développé aussi bien dans les matériaux d'apport que dans les matériaux autochtones. Les nodules sont généralement disposés d'une façon irrégulière et sans ordre apparent. Mais il existe parfois une tendance feuilletée, lorsque les nodules s'étirent horizontalement et s'alignent en plusieurs couches superposées pour constituer un litage de faible épaisseur. Le feuilletage constitue souvent une forme de transition vers la croûte calcaire à la partie supérieure. Parfois, le feuilletage apparaît aussi à plusieurs niveaux de profondeur, dans un même encroûtement nodulaire épais. D'une façon générale, dans les encroûtements de l'ancien glacis G3, la densité et l'induration des nodules diminuent du haut vers le bas du profil, et de l'aval vers l'amont d'une toposéquence. La diminution de la dureté s'accompagne d'un développement de la couleur blanchâtre et d'une certaine porosité tubulaire dans la masse calcaire des nodules.

Les encroûtements granulo-nodulaires et nodulaires caractérisent généralement les matériaux à texture initiale non grossière. Dans les matériaux caillouteux, les rognons se joignent aux nodules en nombre croissant vers l'aval. Ces rognons correspondent même à de vrais éléments de croûte et parfois de dalle, dans les profils situés à l'aval de la toposéquence 1.

Quelques encroûtements nodulaires se sont également développés sur les épandages postérieurs au glacis G3. Mais ils y ont une importance très faible et sont limités à des sols très localisés ayant évolué dans des conditions

de drainage défavorables. L'épaisseur de l'encroûtement n'y dépasse guère quelques dizaines de cm, et celui-ci s'est établi au-dessous d'un horizon à amas ou à granules. L'induration et l'intensité d'occupation augmentent vers le bas jusque dans la zone centrale de l'accumulation ; l'intensité diminue généralement ensuite, alors que l'induration tend à se maintenir, surtout s'il existe une nappe à faible profondeur.

Comme les autres catégories d'encroûtement, l'encroûtement nodulaire s'observe dans des situations favorables à l'enrichissement du milieu en calcaire, au moment de sa formation. Un drainage ralenti, dans les niveaux qu'il affecte, semble nécessaire, mais un drainage profond bien assuré ne paraît pas être un obstacle à son développement. La proximité de la surface du sol assure une dessiccation saisonnière qui peut être favorable à la redistribution du calcaire et à la concentration en éléments individualisés. La dessiccation doit aussi jouer un rôle primordial vis-à-vis du durcissement des nodules, dont l'induration diminue avec la profondeur, sauf en présence d'une nappe.

LES ENCROûTEMENTS FEUILLETES

Les concentrations calcaires sous forme de feuillets étirés horizontalement et subhorizontalement constituent des encroûtements à structure feuilletée. Selon les caractéristiques des feuillets nous distinguons : les croûtes feuilletées, les dalles et les lits compacts, les encroûtements lamellaires.

Les croûtes feuilletées

Elles sont constituées par des feuillets de calcaire durs, discontinus et d'épaisseur variable (photo 10, pl. 2). La masse calcaire présente une couleur non uniforme. La teinte blanchâtre est dominante, mais elle passe localement à des petites zones brunâtres plus massives et plus dures. La couleur d'ensemble peut présenter des nuances selon les croûtes ; cependant, la distinction entre teinte claire et teinte plus soutenue existe toujours ; par exemple : rosâtre (5 YR 5/3) et brun-rougeâtre clair (5 YR 6/4), ou bien : blanc (5 YR 8/1) et rosâtre (5 YR 7/3). Des petites cavités irrégulières, contenant parfois de fines inclusions rougeâtres ou noires et des cristallisations de calcite, existent aussi dans les feuillets qui n'apparaissent pas totalement compacts ; certaines évoquent l'aspect de petites craquelures. Des graviers et même des cailloux peuvent être cimentés dans la masse calcaire.

Les croûtes feuilletées sont largement répandues à la partie supérieure de la carapace calcaire de l'ancien glaciaire G3, au-dessus de l'encroûtement nodulaire. Elles n'existent généralement pas vers l'extrême amont, sur les zones n'ayant connu qu'une accumulation modérée du calcaire, et on n'y retrouve aucun élément de croûte résiduel dans l'horizon de remaniement superficiel. A l'aval, elles disparaissent parfois totalement au profit des dalles (t.s. 6).

Les feuillets discontinus ne dépassent généralement pas quelques dizaines de cm de long et atteignent rarement plus de 60 cm. Leur épaisseur varie de 5 à 15 cm, parfois moins. Ils sont ondulés, parfois obliques, et s'imbriquent irrégulièrement les uns entre les autres. Ils sont séparés par d'étroites zones friables de quelques mm à quelques cm d'épaisseur, occupées par une terre fine brunâtre bien marquée par l'activité biotique et l'enracinement, avec des granules et des nodules. Ces zones terreuses constituent un réseau anastomosé qui se prolonge dans l'encroûtement nodulaire sous-jacent où elles présentent des caractères très semblables. L'épaisseur globale de la croûte est de l'ordre de 30 à 50 cm. Elle tend à augmenter vers l'aval où elle atteint parfois 100 cm. L'épaisseur des feuillets diminue à la partie inférieure de la croûte et le passage vers l'encroûtement nodulaire sous-jacent est généralement progressif. Dans les profils situés à l'aval de la toposéquence 1, des feuillets de croûte isolés apparaissent même à différentes profondeurs dans l'encroûtement nodulaire. On peut également observer dans certains profils de glaciaire G3 des niveaux feuilletés à profondeur variable dans l'encroûtement nodulaire. Ils correspondent souvent à des modifications de texture qui auraient entraîné des conditions de drainage particulières.

Dans certains cas, la structure en feuillets séparés n'existe pas et la croûte apparaît continue sur toute son épaisseur (photo 11, pl. 2). Le profil E42 (t.s. 7) offre l'exemple d'une telle croûte massive. Celle-ci possède une épaisseur de 30 cm ; sa structure à noyaux brun clair enrobés dans une masse blanchâtre, avec des petites cavités interstitielles, évoque un remplissage calcaire autour des noyaux qui doivent correspondre à d'anciens nodules. A la partie supérieure, des plages irrégulières brunâtres, plus larges, indiquent un passage à la dalle. Cette dernière a disparu à l'emplacement du profil étudié, mais elle est encore bien conservée à quelques mètres de distance (photo 16, pl. 3). Il s'agit du seul exemple de croûte à feuillet massif unique observé dans les profils étudiés ; mais ce type de croûte prend peut-être davantage d'extension vers l'ouest, c'est-à-dire vers l'aval de la vallée de l'ouest Tensift où les accumulations calcaires sont de plus en plus puissantes.

Les croûtes se développent indistinctement sur des matériaux à texture fine ou grossière. Mais il semble, cependant, que les matériaux caillouteux favorisent le développement des feuillets parmi les nodules. Les trois échantillons de croûte analysés (tabl. 2) fournissent des teneurs de calcaire comprises entre 65 et 70%. Les croûtes sont toujours en relation avec des encroûtements nodulaires. Elles apparaissent comme un colmatage de la partie supérieure de ces derniers par des dépôts calcaires généralisés, aboutissant à des concentrations continues, et sont naturellement favorisées sur les zones recevant des apports de calcium importants. Ce phénomène est facilité par le mauvais drainage qui s'accroît d'autant plus que l'encroûtement se développe (RUELLAN, 1970).

Les feuillets constituant les croûtes superficielles apparaissent bien souvent basculés et décalés. Des débris de croûte se retrouvent dans l'horizon de remaniement et indiquent que celle-ci a été fragmentée et remaniée dans sa partie supérieure. L'érosion, l'activité animale et aussi humaine (labours à l'araire) peuvent être, pour une part, à l'origine du remaniement des croûtes affleurantes. Mais nous pensons que la dislocation a surtout dû être le fait d'une végétation ligneuse autrefois développée dans la région ; l'augmentation de volume et la pression exercée par les racines insérées dans les fentes qui séparent les feuillets ayant favorisé l'éclatement et le basculement des blocs au cours du temps. Ce phénomène est bien illustré par l'enracinement des arganiers sur le versant méridional de l'Atlas dans le Sous, par exemple(1).

Les dalles et les lits compacts

Ces formes d'accumulation calcaire sont étudiées dans un même paragraphe car elles présentent un aspect très semblable. Il est cependant nécessaire de les distinguer en raison de leur position très différente dans les carapaces calcaires. Il s'agit dans les deux cas de feuillets massifs où le calcaire constitue une masse compacte très dure et de teinte uniforme, qui cimente des éléments texturaux du matériau initial.

(1) L'éclatement et le soulèvement des dalles en ciment des trottoirs, sous l'effet de la croissance des racines de certaines essences implantées en ville sont aussi très évocateurs à ce sujet.

Les dalles compactes

Elles se sont développées à la partie supérieure de la carapace calcaire de l'ancien glacis G3, mais uniquement sur les zones d'aval. Elles surmontent la croûte feuilletée et se sont même formées, dans certains cas, au détriment de cette dernière qui n'apparaît pas au-dessus de l'encroûtement nodulaire.

Les dalles sont composées par un ou plusieurs feuillets compacts, irréguliers et ondulés comme dans les croûtes. L'épaisseur des feuillets est généralement de l'ordre de 10 à 15 cm ; mais elle peut atteindre 20 à 30 cm dans le cas d'un feuillet unique. L'épaisseur globale des dalles est de l'ordre de 30 à 40 cm, parfois jusqu'à 60 cm dans quelques zones situées à l'extrême aval. La couleur brunâtre apparaît plus soutenue que dans les croûtes ; elle est brun-rougeâtre à brun-rougeâtre clair (5 YR 5/3-5/4 ou 6/3-6/4). Cette couleur homogène les distingue bien des croûtes ; elles n'en possèdent pas non plus la porosité, mais de très fines fissures et quelques petits pores peuvent exister. Un seul échantillon de dalle a été analysé : avec 67% de calcaire, il se situe au même niveau que les trois échantillons de croûte. Il possède toutefois un résidu de décarbonatation plus sableux que ces derniers (tabl. 2). Les dalles présentent moins de discontinuités que les croûtes. Cependant, leur position en affleurement leur a valu de subir également des fractures et des déplacements de blocs. Des débris de dalle se retrouvent aussi dans l'horizon de remaniement superficiel.

Le passage à la croûte est assez bien tranché ; mais la dalle se prolonge souvent au sommet de celle-ci par des plages compactes isolées. Ces plages présentent les mêmes caractères de couleur et de dureté que la dalle. Dans quelques cas particuliers, à l'extrême aval du glacis G3, des feuillets de dalle isolés apparaissent parmi les feuillets de croûte, ou même dans l'encroûtement nodulaire.

Ces dalles compactes, qui constituent des concentrations de calcaire pétrifiées (RUELLAN, 1970) et très dures, se développent dans les zones les plus basses ayant connu les accumulations les plus fortes. Les dalles semblent constituer un aboutissement de l'évolution des croûtes sous l'effet de l'intensification de l'encroûtement. Comme le suggère RUELLAN, la diminution de la perméabilité et la remontée vers la surface des accumulations entraînent des variations d'humidité accentuées qui favoriseraient la naissance des croûtes feuilletées, puis des dalles compactes.

Les lits compacts

Ce sont des accumulations de profondeur, qui se développent dans les zones situées à l'extrême aval du glacis G3, au voisinage de l'oued Tensift. Ces lits compacts, irréguliers et intermittents peuvent s'anastomoser par des excroissances verticales ou obliques. D'aspect comparable aux dalles superficielles, ils sont massifs et très durs ; des cristaux de calcite se développent parfois dans des petites cavités effilées. Les éléments grossiers : sables, graviers et cailloux, sont bien apparents dans la masse cimentée.

L'épaisseur des lits est variable, souvent de l'ordre de 15 à 20 cm, mais elle peut atteindre 100 cm dans certains cas, notamment lorsque le calcaire cimente des niveaux sableux ou graveleux dans les alluvions. La couleur est uniforme, mais elle apparaît sensiblement plus claire que celle des dalles superficielles : de teinte rosâtre (5 YR 7/4 ou 7/3). Des taches sombres et des dendrites existent également. Les lits sont séparés par des zones friables où le matériau a conservé sa consistance initiale. Ces zones atteignent généralement des épaisseurs du même ordre que celle des lits ; on peut y observer des pseudomycéliums, des amas ou des nodules.

Ces encroûtements en lits irréguliers caractérisent la haute terrasse T3 qu'ils affectent sur toute l'épaisseur de la couverture alluviale. Ils s'étendent latéralement sous la carapace à l'extrême aval du glacis G3, où ils peuvent même se développer à la partie supérieure du plancher rocheux granitique ou schisteux. Les lits compacts sont plus rares sur la moyenne terrasse T2 où ils occupent surtout les niveaux sableux.

A plusieurs endroits, les lits compacts constituent l'encroûtement le plus profond sous la carapace calcaire G3. Ils ne sont cependant pas obligatoirement en contact avec cette dernière. En effet, ils en sont parfois séparés par des niveaux intermédiaires non encroûtés. Ils se sont développés dans tous les types de matériaux. La teneur en calcaire varie de 45 à 75% dans 7 échantillons analysés. Ces valeurs diminuent en même temps que les fractions granulométriques les plus fines (argile + limon fin) du résidu de décarbonatation, c'est-à-dire que la texture de ce résidu devient plus grossière (tabl. 2).

Dans les alluvions grossières, les lits sont très irréguliers et paraissent fuir les niveaux où la matrice est représentée par de la terre à texture fine. Ils se sont mieux développés en présence d'une texture sableuse. Les lentilles alluviales sableuses ont été totalement cimentées

en masses gréseuses calcaires (photo 5 et 6, pl. 1). A certains niveaux, les lits peuvent être remplacés par des accumulations rognoneuses denses et de teinte blanchâtre.

Sous la carapace calcaire G3, la limite supérieure de l'encroûtement en lits compacts et diversement marquée. Si le niveau sus-jacent est encroûté, les deux faciès d'encroûtement sont différents ; mais la transition peut être atténuée par l'existence d'éléments allongés en feuillets compacts dans l'encroûtement supérieur appartenant à la base de la carapace. Si le niveau sus-jacent n'est pas encroûté, l'apparition des lits est progressive : il se développe d'abord des éléments de faible épaisseur et isolés, puis ceux-ci s'épaississent et deviennent plus nombreux vers le bas. Nous avons noté dans les profils de la topographie 6 que l'apparition des lits correspond à un niveau où la surface des galets est propre et nette, alors que ceux-ci sont enrobés d'un revêtement calcaire terreux, offrant un aspect sale, dans le niveau supérieur situé au-dessous de l'encroûtement nodulaire. Le lessivage par la nappe phréatique expliquerait l'absence des dépôts à la surface des galets en profondeur.

Dans les matériaux fins, nous avons observé des passages progressifs de la carapace aux lits compacts profonds. Les nodules aplatis, qui apparaissent à la partie inférieure de l'encroûtement en larges amas, se multiplient pour constituer des ensembles d'éléments durs finement feuilletés. Puis se développent des lits continus de faible épaisseur, alors que peuvent subsister des zones à larges amas ou à accumulation massive tendre. Les lits s'épaississent encore, atteignant facilement 30 cm, et deviennent plus resserrés. Les zones terreuses friables, en alternance, apparaissent plus étroites que dans les matériaux grossiers.

Dans les arènes granitiques, les lits semblent localisés à l'emplacement d'anciennes diaclases subhorizontales et parfois verticales. Ils sont très compacts dans leur partie centrale, alors que le remplissage des interstices entre les grains est moins bien réalisé sur les bordures. On imagine que la présence de solutions piégées dans les diaclases a permis l'accumulation du calcaire. La masse calcaire s'est épaissie en progressant sur les bordures, sous l'effet des forces de rupture développées par la cristallisation du carbonate de calcium et d'autres sels. Les zones situées entre les lits calcaires sont actuellement totalement arénisés, mais l'arénisation du granite est générale sous la carapace G3 et représente un phénomène apparemment sans rapport avec l'existence des lits compacts profonds.

Dans tous les cas, le développement des lits compacts paraît s'être produit dans des conditions où la présence d'une nappe était très probable au moment de la formation : nappe phréatique ou nappe perchée à existence prolongée. Le développement actuel d'un encroûtement de nappe vers un faciès de lits compacts a été effectivement observé au niveau du toit de la nappe, dans les alluvions récentes T1 bordant l'oued Tensift (D44, t.s. 3 ; E54, t.s. 7). Les encroûtements en lits compacts irréguliers pourraient donc être considérés comme étant d'anciennes dalles de nappe. Contrairement à ce qui a été observé dans le cas des nodules et des encroûtements massifs, les textures sableuses favorisent ici l'accumulation calcaire, alors que les textures fines paraissent plutôt défavorables.

Les encroûtements lamellaires

Ce sont des concentrations calcaires en couches de faible épaisseur : quelques mm à quelques cm, déposées à la surface des dalles, des croûtes, des encroûtements nodulaires et, parfois même, des roches en milieu calcaire. Sur l'ancien glacis encroûté G3, l'encroûtement lamellaire souligne généralement la limite inférieure de l'horizon de remaniement superficiel dont il suit toutes les irrégularités.

Sur la surface supérieure libre de la dalle compacte ou de la croûte feuilletée (en absence de dalle), recouverte ou non par un remaniement, s'est développée une couche superficielle compacte et très dure, de couleur brunâtre, mais offrant de fines stratifications plus claires ou plus foncées dont l'existence justifie l'appellation de *pellicule rubanée* utilisée par RUELLAN. Cette pellicule rubanée est soudée en continuité au sommet de la dalle ou de la croûte, mais elle peut également exister sur les faces verticales des blocs fragmentés, où elle apparaît généralement moins épaisse. Les lamelles de stratification suivent les irrégularités de la surface. Elles peuvent combler les petites dépressions puis reprendre une orientation parallèle à celle de l'orientation générale de la surface de la dalle.

Sur des encroûtements discontinus comme les encroûtements nodulaires, la couleur de l'encroûtement apparaît plus claire et l'induration moins prononcée. Il existe une certaine porosité et la structure feuilletée est plus ou moins bien apparente. Il se confirme, à l'examen microscopique d'une coupe verticale, que la structure feuilletée horizontale est ici soulignée par de nombreux espaces linéaires dont les plus importants ne dépassent pas quelques dixièmes de mm de largeur, mais peuvent s'étirer sur une

dizaine de mm en longueur. Ces vides sont très rares dans les pellicules rubanées brunes et dures. Dans tous les cas, les parois sont tapissées de calcite bien cristallisée, et celle-ci peut remplir plus ou moins complètement les cavités linéaires à certains endroits. En outre, l'accumulation peut contenir des petites inclusions terreuses, et l'existence de petites fissures verticales facilite souvent la fragmentation en éléments séparés. Ces encroûtements lamellaires sont moins compacts et plus fragiles que les pellicules rubanées précédentes, et l'appellation de *croûte lamellaire*⁽¹⁾ leur conviendrait mieux (photo 18, pl. 3).

Vers l'amont de l'ancien glacis G3 où la dalle compacte et la croûte feuilletée n'existent pas, la croûte lamellaire constitue une ligne ondulée et intermittente, de l'ordre de 1 à 2 cm d'épaisseur, à la limite entre l'encroûtement nodulaire et l'horizon de remaniement superficiel. Il arrive parfois qu'elle constitue plusieurs lignes ondulées au sein même du remaniement. Le faciès pellicule rubanée n'est cependant pas totalement absent dans ces zones. Il peut constituer la partie inférieure de l'encroûtement lamellaire, sur 2-3 cm d'épaisseur, surmonté par la croûte lamellaire moins épaisse : 1 cm, dont la zonation apparaît bien marquée par endroits. Ce faciès pellicule rubanée est localisé dans des sites plus favorables à l'accumulation et à l'épaississement de l'encroûtement lamellaire. Il s'est développé préférentiellement dans le creux des ondulations et toujours au-dessous du faciès croûte lamellaire qui traduit une concentration moins intense de calcaire. Dans les arènes encroûtées, la pellicule rubanée peut également exister à l'emplacement d'anciennes diaclases obliques.

Les calottes calcaires qui coiffent les îlots d'arène dans l'encroûtement nodulaire, à l'amont de l'ancien glacis G3, dans la toposéquence I (D24 et 25), peuvent aussi être rapprochées des encroûtements lamellaires, ainsi que les couches calcaires blanchâtres qui tapissent les schistes en place, à la base de certains profils en zone schisteuse.

Les encroûtements lamellaires apparaissent donc comme des dépôts de recouvrement. Selon RUELLAN ils peuvent se développer sur toutes les surfaces où une pellicule d'eau chargée en carbonate peut circuler et s'évaporer. Nous avons observé que cette surface peut être matériellement représentée par la limite d'une masse compacte peu perméable, ou bien par une discontinuité texturale qui modifie

(1) La différence de porosité entre *pellicule rubanée* et *croûte lamellaire* est facilement mise en évidence par le test suivant : si sur une section verticale (perpendiculaire au feuilletage) on applique une lame d'eau, le liquide pénètre très rapidement et disparaît dans la croûte lamellaire, au contraire la lame d'eau reste en surface sur la pellicule rubanée.

la circulation de l'eau et la retient temporairement. Ces différences de nature du substrat peuvent expliquer les différences de faciès des encroûtements lamellaires. Enfin, il est opportun de rappeler ici les observations faites en bordure de la petite carrière, à proximité du profil 42 (t.s. 7), où un dépôt calcaire lamellaire continu recouvre dalle, croûte et encroûtement nodulaire étagés en niveaux décroissants (photo 16, pl. 3) ; l'encroûtement lamellaire est naturellement moins épais sur les niveaux les plus récemment dégagés : cela traduit bien la pérennité du processus de formation ainsi que son effet cumulatif.

LES FORMES DETRITIQUES

Ce sont des débris calcaires issus du démantèlement d'accumulations calcaires préexistants : *encroûtements nodulaires, croûtes feuilletées, dalles compactes et roches calcaires.*

Le remaniement superficiel qui existe sur la haute terrasse T3, sur l'ancien glacis G3 et sur la topographie d'érosion à traces de rubéfaction résiduelle, traduit la généralisation d'un même processus sur l'ensemble des formations les plus anciennes de la région. Ce remaniement peut être l'aboutissement de facteurs conjugués : activité biologique de la faune et de la flore, actions humaines, érosion éolienne et surtout érosion hydrique. Le ruissellement semble en effet la principale cause des remaniements observés. Sur les surfaces mal protégées par la végétation, il s'est développé une érosion en nappe et en rigoles qui a conduit à un brassage des matériaux ; la présence d'une ligne de cailloux à la base de l'horizon de remaniement, dans les sols sur granites et schistes fins où des filons de quartz ont fourni les cailloux, témoigne du phénomène. Cette érosion a conduit à une perte en éléments fins en favorisant la concentration relative des éléments grossiers. Nous avons observé que la présence d'éléments en proportion importante dans les remaniements protège actuellement les sols de l'érosion qui sévit sur les épanchages limoneux plus récents. Il se serait donc établi un équilibre entre la charge en éléments grossiers : taille et proportion des cailloux, d'une part, et la puissance de transport de l'eau de ruissellement : intensité des précipitations, pente de la surface, d'autre part. La diminution de la pluviométrie, reconnue par ailleurs au cours des périodes récentes, ne peut que favoriser le maintien des remaniements grossiers. C'est ainsi que, sur des pentes de 30%, se sont assez bien maintenus des sols rouges sur granites protégés par une couverture caillouteuse de l'ordre de 20 cm d'épaisseur.

Après avoir fait disparaître les horizons supérieurs meubles, l'érosion a atteint les niveaux encroûtés des sols de la haute terrasse T3 et de l'ancien glacis G3 dont la partie supérieure a été démantelée. Les débris calcaires sont très abondants dans l'horizon de remaniement qui en résulte. Ils possèdent généralement les caractères reconnaissables de l'encroûtement sous-jacent : nodules, avec fragments de croûte feuilletée ou de dalle compacte, selon le cas. Les déplacements de matériaux ne se seraient effectués que sur de faibles distances. Les éléments détritiques apparaissent irréguliers, mais à bords émoussés ; ils sont durs et résistants. Nous avons noté que la terre fine des horizons de remaniement n'est que très faiblement calcaire, malgré une réserve calcaire importante constituée par les éléments détritiques. Nous pensons que l'aridité du climat ne permet pas une dissolution suffisante des débris calcaires, comme cela pourrait se produire dans le cas d'une rendzine. La formation des croûtes lamellaires, à la limite inférieure, peut remonter à la période du remaniement et à celle qui l'a suivie, alors que le matériau contenait encore des fractions calcaires fines et que la pluviométrie était probablement supérieure à l'actuelle, puisqu'elle a notamment permis le développement de sols châtaîns et de sols bruns sur les matériaux d'épandage contemporains G2.

Les résidus de démantèlement grossiers ont été en grande partie maintenus sur les surfaces remaniées. Certains, cependant, surtout parmi les plus petits (nodules), ont été entraînés vers l'aval ; on les retrouve parmi les matériaux postérieurs à l'ancien glacis G3 où ils ont pu être repris dans de nouvelles accumulations calcaires. Mais l'exportation du calcaire hors des encroûtements remaniés, vers les dépôts d'épandage inférieurs en cours d'édification, s'est aussi effectuée sous forme de fines particules et naturellement en solution ; comme en témoignent l'éclaircissement de la couleur et l'enrichissement progressif en calcaire diffus, vers l'aval, des dépôts superficiels G2 de la toposéquence 3.

Des éléments résiduels calcaires ayant une autre origine que les encroûtements des formations superficielles ont été également observées dans la région .

- Des débris de calcaire lacustre se sont accumulés au pied du talus d'affleurement de la formation où ils ont été ressoudés dans la carapace calcaire de l'ancien glacis G3 (D95, t.s. 5).

- Des débris de remaniement des calcaires quaternaires profonds, irrégulièrement conglomératiques, du Haouz constituent un horizon intermédiaire entre la carapace calcaire supérieure et la formation correspondante en place dans le profil E42 (t.s. 7).

- Enfin, les masses calcaires qui apparaissent dans les profils E43 et E45 de la toposéquence 7 ont sans doute été arrachées aux formations calco-marneuses du Mio-Pliocène qui constituent le plancher visible de la couverture alluviale, à moins de 1 km vers l'amont.

ASSOCIATION DES DIFFERENTES FORMES DE CONCENTRATION DANS LES PROFILS D'ACCUMULATION CALCAIRE

Les accumulations calcaires varient d'intensité et changent de faciès selon la situation topographique et selon les formations considérées (tabl. 3). En tenant compte de la différenciation géomorphologique, nous examinerons les profils d'accumulation calcaire, d'abord sur la topographie d'érosion des reliefs primaires, puis dans les matériaux de troisième génération (G3), enfin dans les matériaux de deuxième et de première générations (G2, G1 et T2, T1).

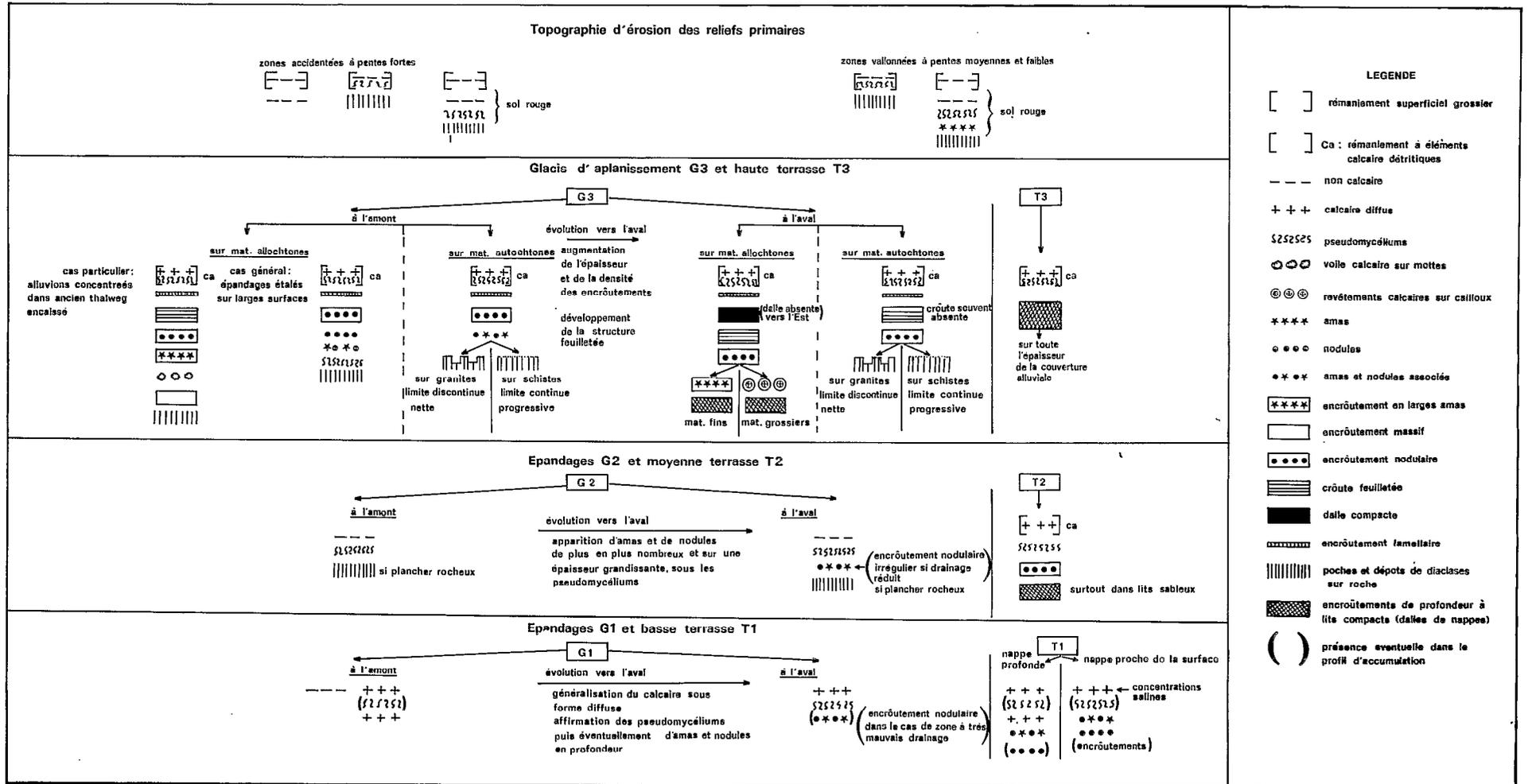
LES ZONES D'EROSION A TOPOGRAPHIE DIFFERENCIEE

Bien que le modelé vigoureux et la situation dans le paysage ne soient guère favorables aux phénomènes d'accumulation, des concentrations calcaires se sont cependant développées sur ces zones de relief.

Contrairement aux formations encroûtées G3 et T3, qui présentent des éléments calcaires remaniés sur le sol, la présence de calcaire n'est ici décelable que par l'observation de coupes. Par ailleurs, la notion de profil calcaire y est altérée en raison de l'importance de l'érosion qui a sévi. On est conduit à distinguer deux niveaux stratigraphiques de concentration du calcaire : la roche irrégulièrement altérée, en profondeur, et le niveau de remaniement grossier, à la partie supérieure.

Dans les roches, le calcaire existe en *dépôts de diacalse* jusqu'à plusieurs mètres de profondeur. Ceci constitue un caractère général aussi bien dans les schistes que dans les gabbros et les granites. Ces accumulations se sont préférentiellement développées dans les diaclasses obliques ou horizontales (photo 12, pl. 2). Dans les granites, aucun dépôt calcaire n'a été observé dans les diaclasses verticales ouvertes vers la profondeur et permettant un soutirage efficace des solutions ; ces zones sont plutôt favorables à la rubéfaction qui se développe à leur voisinage. A côté du simple remplissage de diacalse, des *poches d'accumulations calcaires*, atteignant souvent plusieurs dizaines de cm de largeur, se sont constituées à la partie supérieure de la roche altérée. Sur schistes, ces poches sont formées à l'emplacement des zones les plus finement feuilletées et

Tableau 3 : Répartition des différentes formes de concentration calcaire dans les profils d'accumulation, en fonction de la situation géomorphologique, de la profondeur et de la nature des matériaux



altérables (photo 4, pl. 1). Ces accumulations en poche sont très localisées, mais peuvent être nombreuses dans une même zone. Il s'agit surtout de concentrations de caractère massif ou nodulaire.

Dans le matériau de remaniement, un horizon à *pseudomycéliums* s'est développé à la moitié inférieure. On doit raisonnablement penser qu'il s'agit d'une forme de concentration plus récente que les précédentes, qui correspondrait à une redistribution de calcaire préexistant. Cet horizon n'existe pas en absence de traces de calcaire dans le matériau sous-jacent. C'est ainsi que dans les *sols rouges* sur granite, l'horizon de remaniement et la partie supérieure du sol sont dépourvus de calcaire ; les pseudomycéliums n'apparaissent qu'à la base du sol rouge ; ils sont même inexistantes ou très discrets sur forte pente. Ils deviennent plus nets lorsque la pente s'affaiblit, et des *amas* et *granules* peuvent même exister dans l'horizon qui constitue le front de rubéfaction au-dessus de l'arène : il s'agit dans ce cas d'un profil calcaire moyennement différencié.

LES MATERIAUX DE TROISIEME GENERATION (G3 et T3)

Ce sont les matériaux superficiels qui ont connu les plus fortes accumulations calcaires observables dans la région ; exception faite des formations calcaires du Quaternaire ancien : calcaires lacustres, gréseux ou marneux, qui peuvent affleurer très localement à quelques endroits.

LE GLACIS ENCRROUTE G3

L'accumulation en carapace calcaire qui s'est généralisée sur ce glacis augmente d'importance de l'amont vers l'aval. L'association de différents types de concentration se superposant dans un même profil calcaire se différencie également en fonction de la topographie.

On abordera donc séparément, d'abord l'étude des zones d'amont, puis celle des zones d'aval. Nous nous appuierons essentiellement sur les observations réalisées au nord de l'oued Tensift où le relief est mieux différencié, et où le glacis encroûté G3 s'est assez bien conservé sur toute son étendue de l'amont vers l'aval. Au sud de l'oued Tensift, le vaste glacis G3 qui a également été encroûté, au moins sur sa partie inférieure, a été davantage perturbé par la mise en place des dépôts atlasiques plus récents. Seules les zones les plus fortement encroûtées, à l'aval, sont assez bien conservées et peuvent être étudiées. Les observations qui y ont été faites sont très comparables à celles concernant les zones encroûtées de même situation au nord de l'oued.

Les zones d'amont

Comme partout sur le glacier G3, l'accumulation de calcaire s'est développée aussi bien sur les matériaux allochtones : épandages alluviaux grossiers ou non, que sur les roches ou les altérations en place affleurantes : schistes, granites, etc... La limite amont du glacier, que l'on peut faire coïncider avec celle de l'encroûtement généralisé, est bien marquée mais irrégulière. Des extensions encroûtées se détachent en effet vers l'amont sur les épandages G3, à l'emplacement des anciens thalwegs, pour remonter jusqu'à la sortie des petites vallées, au pied même des reliefs des Djebilet. Ces extensions d'encroûtement sont séparées par des dorsales correspondant aux anciens interfluves qui se sont bien maintenus, en raison de l'affaiblissement de l'érosion remontante, et souvent, aussi, en raison de la relative résistance des roches : schistes quartzeux, quartzites, filons grossiers de quartz. Ces interfluves n'ont pas subi d'encroûtement et conservent des vestiges de sol rouge méditerranéen.

Les zones d'encroûtement sur matériau autochtone, qui correspondent à d'anciens interfluves érodés, remontent généralement moins loin vers l'amont que celles des encroûtements sur épandages alluviaux situés à l'emplacement des anciens thalwegs. L'accumulation du calcaire affecte toute l'étendue de ces épandages jusqu'à leur extrême amont ; on peut penser que les zones d'érosion à topographie différenciée, dont ils sont issus, ont également fourni, entre autres éléments solubles, une grande partie du calcium retenu dans les encroûtements du glacier.

Dans une même région, les remontées extrêmes de l'encroûtement dans les anciens épandages G3 de thalweg peuvent se situer à des altitudes supérieures à celles de la partie aval des interfluves rubéfiés voisins qui se rattachent au glacier. En fait, il s'agit dans le premier cas de situations toujours dominées par des reliefs plus élevés dont elles subissent l'influence directe ; ce sont des *zones d'accumulation* : dépôts solides et précipitation d'éléments dissous. Les secondes sont toujours topographiquement indépendantes et n'ont pas de rapport direct avec les régions avoisinantes plus élevées qui peuvent exister ; le relief y est suffisamment accentué pour faciliter l'évacuation des éléments solides et dissous : ce sont des *zones d'exportation*.

Sur matériaux allochtones

L'extrême amont des anciens épandages encroûtés (G3) a été irrégulièrement érodé et très souvent recouvert par les dépôts postérieurs appartenant à la deuxième génération d'épandages (G2). Mais vers l'aval, ces derniers se sont

très rapidement emboîtés dans les thalwegs qui entaillent l'ancien glacis encroûté, et les zones à carapace affleurante restent encore bien représentées sur cette partie supérieure du glacis G3.

Les profils d'accumulation calcaire les plus complets présentent une différenciation très semblable du haut vers le bas .

- Un horizon de *remaniement superficiel* (20-40 cm) contient des éléments calcaires résiduels irréguliers (anciens nodules, granules ou parfois rognons) ; on y retrouve aussi, selon le cas, les mêmes éléments pierreux que ceux contenus dans l'encroûtement sous-jacent. Des pseudomycéliums discrets peuvent souligner la porosité de l'horizon dans sa partie inférieure non perturbée pour la culture.

- La limite entre l'horizon de remaniement et l'encroûtement sous-jacent est le plus souvent soulignée par une *croûte lamellaire* ondulée et intermittente de 1 à 2 cm d'épaisseur. Cette croûte lamellaire ainsi que les pseudomycéliums du remaniement constituent vraisemblablement des concentrations secondaires de calcaire, par rapport à l'encroûtement initial.

- Un *encroûtement nodulaire*, souvent riche en granules et contenant parfois des rognons. L'intensité de l'encroûtement est moyenne et diminue beaucoup, mais d'une façon assez progressive, vers le bas. La limite inférieure de l'encroûtement a été observée à des profondeurs variant de 100 à 160 cm au-dessous de la surface actuelle.

- Plus bas, il n'existe plus d'encroûtement ; mais des *concentrations calcaires localisées* constituent des accumulations irrégulières de plusieurs cm de large. Celles-ci sont irrégulièrement friables et indurées. Les dépôts calcaires sont bien développés à la face inférieure des cailloux. D'une façon générale, l'induration diminue vers le bas et les accumulations bien individualisées disparaissent progressivement. Mais les pseudomycéliums et les revêtements légers autour des cailloux ou des mottes compactes se maintiennent jusqu'à plusieurs mètres.

On n'observe pas ici de dalle compacte ni de croûte feuilletée, et il n'en existe aucune trace dans le niveau de remaniement.

Les dépôts possèdent une texture hétérogène souvent assez grossière ; mais en profondeur, une texture fine, associée à une couleur rougeâtre (matériau issu d'anciens sols rouges méditerranéens), existe fréquemment. Ces variations texturales ne semblent pas modifier sensiblement la différenciation du profil d'accumulation calcaire.

En profondeur, la roche en place le plus souvent altérée apparaît à un niveau très variable. Si elle existe suffisamment près de la surface, l'encroûtement nodulaire se développe à sa partie supérieure et se prolonge par des dépôts de diaclase vers le bas. Si elle est située à profondeur plus grande, au-dessous de l'encroûtement, sa présence favorise fréquemment l'existence d'un petit niveau d'encroûtement massif qui se continue dans les diaclases de la roche. Cet encroûtement est d'autant plus atténué que la roche est plus profonde.

Dans les cas particuliers d'*anciens thalwegs colmatés*, l'accumulation du calcaire a été plus importante, et on retrouve sur ces zones d'amont des profils d'accumulation ressemblant à ceux des carapaces situées sur les zones aval du glaciaire G3 : *remaniement superficiel, croûte feuilletée, encroûtement nodulaire, encroûtement en larges amas puis voiles calcaires dans le cas de matériaux fins, revêtements de cailloux avec dépôts stalactiformes s'il s'agit de matériaux grossiers, encroûtement massif au-dessus du plancher rocheux*. Mais il n'y a pas ici de lits calcaires compacts à la base des profils.

L'existence d'une accumulation calcaire plus intense dans ces colmatages d'*anciens thalwegs* peut s'expliquer par leur situation particulière vis-à-vis des zones d'ablation avoisinantes qui ne portent que des épandages de faible épaisseur. En effet, après la formation du glaciaire G3, les solutions circulant dans le sol ont plutôt eu tendance à affluer vers les anciens thalwegs, alors que le drainage vers l'aval était sérieusement entravé après le remblaiement des vallées et l'aplanissement généralisé. Dans ces conditions d'enrichissement et de confinement accentués, les concentrations calcaires ont pu se développer en présentant des caractères analogues à ceux des accumulations situées à l'aval du glaciaire.

Sur matériaux autochtones

L'épaisseur de l'accumulation calcaire est plus faible que sur les matériaux allochtones, mais sa différenciation verticale est très comparable .

- Un *horizon de remaniement* riche en débris calcaires irréguliers (anciens granules et nodules), avec des éléments résiduels de la roche initiale : quartz surtout. Des pseudomycéliums peuvent également exister à la partie inférieure.

- Il existe une *croûte lamellaire* ondulée et intermittente à la limite supérieure de l'encroûtement sous-jacent.

- Un *encroûtement nodulaire* généralement moins intense que dans le cas des matériaux allochtones et à forte proportion de granules. Très rapidement une part importante des concentrations indurées fait place à des amas friables; des noyaux durs se conservent cependant jusqu'à la partie inférieure.

- *Les concentrations calcaires s'espacent vers le bas* où elles ne constituent plus d'encroûtement. La roche altérée, mais dont la structure reste bien reconnaissable, apparaît souvent à moins de 1 m de profondeur. La limite est toujours très nette mais discontinue sur granites, car des îlots d'arène apparaissent d'abord isolément. Elle est plus progressive et régulière sur schistes fins où la structure schisteuse s'efface progressivement vers le haut, au bénéfice des concentrations calcaires et des zones terreuses. Des langues terreuses plus ou moins larges, avec granules et amas calcaires, pénètrent en profondeur à l'emplacement des diaclases et disparaissent assez rapidement. Mais des dépôts calcaires irrégulièrement friables existent dans les diaclases jusqu'à plusieurs mètres de profondeur.

Le profil D38 C (t.s. 1), où l'accumulation est plus importante en profondeur au contact de l'arène granitique, semble représenter un cas particulier qui pourrait s'expliquer par son voisinage avec un sol rouge à substratum granitique non arénisé. On peut en effet penser que les solutions circulant obliquement à la base du sol rouge, vers l'aval, sont venues enrichir la concentration calcaire à la base du profil D38 C où des masses tuffeuses se sont développées.

Les zones d'aval

De façon générale, lorsqu'on descend de l'amont vers l'aval l'épaisseur des accumulations calcaires augmente. En même temps la densité de l'encroûtement nodulaire s'accroît et les éléments indurés grossiers deviennent plus nombreux. Mais l'évolution la plus caractéristique correspond à l'apparition d'une structure à tendance feuilletée à la partie supérieure de l'encroûtement nodulaire où les éléments calcaires prennent une orientation horizontale. Cette structure évolue ensuite vers la formation d'une croûte feuilletée.

Sous la carapace calcaire à remaniement superficiel, on retrouve les deux types de matériaux autochtones et allochtones. Leur proportion relative est variable selon le lieu, mais d'une façon générale, les derniers semblent prédominants.

Sur matériaux allochtones

Les matériaux allochtones connaissent les encroûtements les plus puissants. Les niveaux supérieurs présentent des caractères comparables quelque soit la nature de ces matériaux. Mais en profondeur, des différences importantes s'expriment en fonction de la texture et des conditions du drainage qui devaient exister au moment de l'accumulation du calcaire.

La différenciation verticale des niveaux supérieurs s'établit de la façon suivante :

- L'horizon de *remaniement superficiel* est comparable à celui des zones situées à l'amont du glacis, mais contient des débris de croûte feuilletée ou de dalle massive.

- La *pellicule rubanée*, recouvre la dalle compacte, ou la croûte feuilletée s'il n'y a pas de dalle .

- La *dalle compacte*, qui surmonte la croûte, n'a été observée que vers l'ouest ; c'est-à-dire vers l'aval de la vallée de l'oued Tensift. Cette dalle n'a probablement pas existé vers l'est où l'on n'en retrouve aucun élément résiduel parmi les débris de l'horizon de remaniement superficiel. L'épaisseur de la partie non remaniée de la dalle est de l'ordre de 30 cm, parfois jusqu'à 50 cm.

- La *croûte feuilletée* d'une épaisseur moyenne de 30 à 50 cm atteint exceptionnellement 100 cm. Elle apparaît presque partout sur cette partie aval du glacis G3, mais elle n'a pas été observée dans les profils de la toposéquence 6 où l'encroûtement feuilleté n'est constitué que par la dalle compacte.

- L'*encroûtement nodulaire*, rarement inférieur à 80 cm peut facilement atteindre 150 cm d'épaisseur. Les rognons y sont souvent nombreux, notamment à la partie supérieure. Comme ailleurs, l'encroûtement diminue d'intensité et l'induration s'atténue vers le bas. Des niveaux à structure feuilletée apparaissent parfois dans cet encroûtement ; le fait est rare au nord de l'oued Tensift (D81, t.s. 6), mais il est plus fréquent au sud de l'oued, où l'épaisseur de l'encroûtement nodulaire est également plus importante. Cette structure particulière est parfois liée à une différence texturale, mais elle peut correspondre aussi à une variation des conditions de drainage dans le temps.

En profondeur, l'accumulation du calcaire s'est différencié selon les types de matériaux .

- Sur matériaux fins, un *encroûtement en larges amas friables*, à noyaux indurés, fait suite à l'encroûtement nodulaire. L'épaisseur en est généralement importante et

peut atteindre 200 cm. Dans le profil E42 (t.s. 7), cet encroûtement repose en discontinuité sur les bancs calcaires du Quaternaire ancien qui constituent le soubassement du Haouz. Mais dans les profils de l'extrême aval, sur les deux rives du Tensift, des *petits feuillets compacts* apparaissent progressivement et peuvent alterner avec de larges zones d'*encroûtements massifs* tendres. Vers le bas, ces feuillets deviennent plus épais et plus continus, pour passer à un *encroûtement en lits compacts* irréguliers de profondeur. L'existence d'un drainage de plus en plus déficient à l'approche de la nappe phréatique est probablement à l'origine de ces formes de transition.

- Sur matériaux grossiers, l'encroûtement en amas ne s'est pas formé. Dans certains cas où la nappe était assez profonde, il n'existe pas d'accumulation importante au-dessous de l'encroûtement nodulaire, et le calcaire ne constitue que des *dépôts blanchâtres* autour des galets ; mais à plus ou moins grande profondeur apparaissent des *lits compacts* irréguliers indiquant un ancien niveau de la nappe phréatique. Dans les cas où la profondeur de la nappe était plus faible, les lits compacts se sont développés immédiatement à la suite de l'encroûtement nodulaire, et des feuillets compacts isolés existent même parmi les nodules dans quelques profils de l'extrême aval. L'encroûtement en lits compacts irréguliers affecte même la partie supérieure du substratum rocheux (schistes et granites) qui constituait le plancher de la nappe.

Sur matériaux autochtones

Comme à l'amont, il s'agit d'anciens interfluves qui ont été arasés au moment du façonnement du glacis G3. Cette situation explique que les encroûtements y soient plus faibles que sur les matériaux allochtones voisins comblant les zones déprimées. L'épaisseur des encroûtements est très souvent inférieure à 100 cm, mais elle peut être parfois légèrement supérieure. D'une façon générale, elle est sensiblement plus faible que celle des encroûtements observés sur les zones de l'amont ; probablement en raison d'une érosion plus importante sur ces zones qui ont subi les variations du niveau de base de façon plus marquée. Mais les caractères de différenciation du profil calcaire ne sont pas très différents, surtout en profondeur.

Sous l'horizon de remaniement superficiel (10 à 20 cm), les profils d'accumulation les plus épais permettent d'observer un *encroûtement feuilleté* à feuillets de faible épaisseur : 3-5 cm ; possédant une *pellicule rubanée* à la partie supérieure. Il passe progressivement à un *encroûtement granulo-nodulaire* dont la structure reste orientée horizontalement au sommet. Souvent on observe directement l'encroûtement granulo-nodulaire à tendance feuilletée sous

le remaniement superficiel. Les concentrations calcaires sont d'induration variable et constituent des zones friables avec des noyaux durs. Des rognons jusqu'à 10 cm de diamètre peuvent exister.

Comme dans les profils de l'amont, l'*encroûtement diminue d'intensité vers le bas* et le passage avec la roche-mère se fait dans les mêmes conditions .

- Sur granite : apparition irrégulière d'ilôts d'arène dont l'importance augmente vers le bas jusqu'à l'arène généralisée où le calcaire ne constitue plus que des dépôts de diaclyse.

- Sur schiste : apparition régulière et progressive d'éléments schisteux en place parmi l'encroûtement, qui permettent de reconnaître l'orientation de la schistosité. La structure schisteuse apparaît de plus en plus distinctement à mesure que les pénétrations terreuses et calcaires s'estompent vers le bas.

Il est intéressant de remarquer que l'on n'observe pas ici d'encroûtement en lits compacts profonds. Cela est dû au fait que, même à l'extrême aval, la nappe n'a pas occupé l'emplacement des anciens interfluves disparus avec la formation du glacier G3.

LA HAUTE TERRASSE T3

Les alluvions grossières de la haute terrasse sont caractérisées par l'encroûtement en *lits compacts irréguliers* où les lits calcaires alternent avec des zones non cimentées. Par endroits, l'accumulation peut prendre un aspect rogneux ou tuffeux. L'encroûtement s'est développé sur toute l'épaisseur de la couverture alluviale, et la partie superficielle est aussi occupée par un horizon de *remaniement* à nombreux galets et débris calcaires.

Latéralement, les alluvions de cette terrasse disparaissent sous les épandages qui constituent l'extrême aval du glacier encroûté G3. Nous avons vu que l'encroûtement en lits compacts existe également à la partie aval du glacier dans les matériaux allochtones. Mais il n'y constitue qu'une accumulation de profondeur et peut être séparé de la carapace calcaire par un niveau d'alluvions T3 non encroûtées.

LES MATERIAUX DE DEUXIEME ET PREMIERE GENERATIONS

Dans les matériaux postérieurs à l'ancien glacier G3, le calcaire ne constitue qu'exceptionnellement de fortes accumulations. L'intensité des accumulations dépend surtout des conditions de drainage et aussi de l'ancienneté des

dépôts. Nous distinguerons les épandages à drainage normalement assuré et les terrasses alluviales.

LES EPANDAGES G2 et G1

Ce sont les vastes épandages alluviaux du Haouz ainsi que les nappes alluviales étalées entre les interfluves encroûtés au nord de l'oued Tensift. En raison de leur situation topographique, ces épandages ont connu des conditions de drainage que l'on peut considérer dans l'ensemble comme normales, mais avec une évolution défavorable vers l'aval. A l'exception des matériaux dépourvus de calcaire qui constituent l'amont des nappes alluviales issues des Djebilet, partout ailleurs, le calcaire est présent sous forme diffuse.

Dans les *matériaux G2* de deuxième génération, *généralement grossiers* : nappes caillouteuses à matrice argileuse rubéfiée issues des Djebilet, cônes d'épandage caillouteux des oueds atlasiques dans le Haouz, la partie supérieure du sol est faiblement ou non calcaire. A l'amont, le calcaire apparaît essentiellement sous forme de *pseudomycéliums* ; puis viennent s'ajouter vers l'aval, et au-dessous des pseudomycéliums, des *amas* et des *nodules* qui accroissent l'épaisseur de l'accumulation. Ce sont des *profils calcaires moyennement différenciés* (sols bruns, sols châtain), avec une intensité d'accumulation croissante vers l'aval.

Dans la plupart des sols situés sur les *épandages G1*, les plus récents, les *pseudomycéliums* constituent la seule forme de concentration calcaire importante visible. Mais *quelques amas* et *plus rarement des nodules* apparaissent en profondeur. Ce sont des sols à *profil calcaire non ou peu différencié* (siérozems et sols bruns faiblement différenciés).

Dans certaines conditions particulières, des sols à *profil calcaire bien différencié* existent également .

- Des sols à recouvrement limoneux sur matériau nodulaire existent au voisinage des zones encroûtées de l'ancien glacis G3. Le dépôt limoneux, contenant parfois des éléments calcaires détritiques, repose assez brutalement sur un encroûtement nodulaire plus ancien remanié ou non, hérité de l'ancienne carapace calcaire G3. Le calcaire est toujours présent sous forme diffuse, avec parfois quelques amas, dans le recouvrement limoneux. Il s'agit de profils calcaires bien différenciés d'origine polyphasée.

- Au sud-ouest de Tamelelt, dans la région où prend naissance l'oued Tensift, on observe des sols bruns encroûtés très localisés, en bordure de la vallée. Au-dessous des horizons supérieurs à accumulation diffuse, les concentra-

tions calcaires en amas et nodules s'accroissent assez progressivement jusqu'à constituer un encroûtement dense. Celui-ci peut s'atténuer et disparaître au-dessous pour réapparaître parfois plus bas. La coupe des berges de l'oued Tensift permet d'observer trois niveaux d'encroûtements représentés par des nodules orientés horizontalement. L'induration n'est jamais très forte et l'accumulation possède souvent un caractère tuffeux. La présence fréquente de taches diffuses rougeâtres et sombres ainsi qu'une structure de caractère cubique et prismatique évoquent des conditions d'évolution en milieu hydromorphe. Ceci n'est plus le cas actuellement ; mais avant l'encaissement de l'oued dans les dépôts d'épandage, cette zone constituait sans aucun doute une gouttière naturelle mal drainée qui peut expliquer la présence d'un tel faciès d'accumulation calcaire.

LES TERRASSES T2 et T1

Ces terrasses, qui se raccordent respectivement aux dépôts d'épandage G2 et G1 ont connu des accumulations calcaires sensiblement plus importantes que les épandages, en raison de la situation topographique et des conditions de drainage différentes.

Après l'encaissement de l'oued Tensift, la *moyenne terrasse T2* ne subit plus, dans les conditions actuelles, l'influence de la nappe phréatique et la salure y est généralement absente. Dans les alluvions T2, plus caillouteuses que celles de la basse terrasse, l'accumulation calcaire présente un faciès plus constant avec un *profil bien différencié*. Nous avons ici des sols bruns encroûtés à remaniement superficiel.

Sous l'horizon superficiel, à *calcaire diffus* avec des teneurs faibles ou moyennes, existe un petit horizon à *pseudomycéliums* pouvant avoir disparu à la suite du remaniement. Au-dessous, s'est développé un *encroûtement nodulaire* de faible intensité constitué d'éléments de forme et de taille très irrégulières. L'intensité de l'encroûtement devient localement plus forte en profondeur et des *lits compacts isolés* existent également, notamment à l'emplacement des lentilles sableuses qui apparaissent soudées en grès calcaire. L'accumulation calcaire affecte toute l'épaisseur de la couverture alluviale qui atteint 3 à 4 m ; mais elle n'aboutit pas à une consolidation généralisée du matériau.

Sur la *basse terrasse T1*, l'accumulation calcaire est variable. La texture des matériaux, la profondeur de la nappe phréatique et sa mobilité ainsi que l'environnement topographique du lieu semblent avoir une influence sur l'intensité et le faciès des accumulations.

Lorsque la nappe est assez profonde (2-3 m) et suffisamment circulante, le calcaire est généralisé sous forme *diffuse*, parfois un horizon à *pseudomycéliums* existe à la partie supérieure. Mais ce n'est qu'à plus grande profondeur, au voisinage de la nappe, qu'apparaissent des *amas*, *nodules* et *rognons*, avec une *tendance à la formation de lits compacts* dans certains cas, notamment dans les alluvions sableuses. Ce sont généralement des sols peu évolués ou des siérozems, pouvant présenter des caractères de salure irrégulièrement affirmés, avec un *profil calcaire faiblement ou moyennement différencié*.

Lorsque la nappe est proche de la surface, l'accumulation calcaire est associée à des phénomènes de salure auxquels s'ajoutent souvent des caractères d'hydromorphie. La salure particulièrement intense en surface diminue vers le bas. L'accumulation calcaire, au contraire, augmente avec la profondeur. Dans les horizons supérieurs riches en sels solubles, le calcaire est sous forme *diffuse* avec parfois des *pseudomycéliums*. Au-dessous, se développent des *amas* ou des *granules* ; ces deux formes pouvant être associées selon le cas. D'une façon générale, la taille des concentrations croît avec la profondeur ; l'induration n'est pas très accentuée, mais elle tend le plus souvent à suivre la même progression. Au contact de la nappe, se sont formés des *gros nodules*, des *rognons* et parfois des petits éléments compacts ; des *encroûtements* ont pu commencer à se développer. Ce sont des sols à *profil calcaire moyennement et bien différencié*.

La pratique de l'irrigation, qui sur ces sols atténue la forte salure des horizons supérieurs, provoque souvent un enrichissement sensible en calcaire de l'horizon superficiel. Cependant, cet apport de calcaire sous forme diffuse ne paraît pas avoir d'incidence profonde sur la différenciation du profil calcaire actuel.

LES PRINCIPAUX FACTEURS DE DIFFERENCIATION DES CONCENTRATIONS CALCAIRES

L'étude des formes d'accumulation calcaire dans la région de l'oued Tensift, à l'est du Djebel Aleb, fait apparaître trois facteurs de différenciation essentiels : la topographie, la profondeur et la texture initiale du matériau. Nous ne sommes pas en mesure d'entreprendre ici une étude approfondie de ces trois facteurs. Cependant, certains aspects de leur influence, parmi les plus discernables, pourront être évoqués après avoir brièvement rappelé quelques données concernant les conditions d'insolubilisation du calcaire dans le sol.

La solubilité du carbonate de calcium, dont la précipitation conduit à la formation du calcaire, est plus faible que celles des autres sels. Par exemple, en présence de gaz carbonique, le carbonate de calcium est soluble jusqu'au seuil de 1000 ppm, sous forme de bicarbonate, alors que la solubilité du carbonate de magnésium atteint 12000 ppm dans les mêmes conditions (BREAZEALE et SMITH, cités par GOUDIE- 1973). Cette faible solubilité explique que le calcium se dépose et s'accumule beaucoup plus facilement, en plus grande quantité et sur de plus grandes surfaces que les autres éléments dont l'accumulation ne s'effectue que dans les zones les plus mal drainées.

La solubilité du carbonate de calcium est variable selon les conditions du milieu dont les modifications peuvent avoir des causes diverses d'origine physique, chimique et biologique. Dans les formations superficielles, les variations d'humidité, de température, de pression (CO_2), de pH et d'équilibre ionique doivent jouer, à un degré variable selon les situations, un rôle très important dans l'accumulation du calcaire.

Quelles que soient les causes directes de l'insolubilisation, la présence de calcium dissout en quantité suffisante et renouvelable dans les solutions du sol est nécessaire pour que se développe une concentration calcaire. L'accumulation du calcaire, comme celle des autres types de dépôts salins, est étroitement liée à la circulation de l'eau dans le sol et le sous-sol, à l'échelle du paysage et à celle du profil.

LA TOPOGRAPHIE

Les concentrations calcaires se sont développées sur des matériaux très divers, dont certains étaient à l'origine dépourvus de calcaire : granites, dépôts issus de sols rouges méditerranéens érodés etc... L'altération des minéraux primaires calco-magnésiens a naturellement pu libérer sur place une certaine quantité de calcium ; mais celle-ci paraît insuffisante pour expliquer l'existence des encroûtements importants, d'épaisseur croissante vers l'aval, sans faire appel à des apports de calcaire extérieurs.

Le transport des éléments dissous dans les solutions circulantes du sol est un fait bien établi, reconnu dans différentes zones climatiques. Dans la région étudiée, la juxtaposition de deux grands domaines pédologiques distincts : rubéfaction sur la topographie d'érosion différenciée à l'amont et encroûtements calcaires d'intensité croissante vers l'aval sur le glacis G3, évoque bien, également ici, l'existence d'une dynamique du calcium à l'échelle du paysage.

La situation topographique détermine la qualité du drainage en un point donné par rapport à l'ensemble du paysage. Cette qualité du drainage définit à son tour les possibilités d'accumulation qui se trouvent réalisées dès que la capacité d'évacuation des éléments minéraux dissous est inférieure à leur arrivée. Ainsi, le ralentissement de la circulation des solutions vers l'aval s'accompagne-t-il d'une augmentation des accumulations calcaires vers cette zone.

Sur l'ancien glaciais G3, où se sont développées les plus fortes concentrations calcaires, nous avons bien noté une évolution du profil d'accumulation calcaire de l'amont vers l'aval, et le développement progressif des encroûtements feuilletés vers l'aval est particulièrement significatif.

D'après les résultats obtenus sur la toposéquence 1, en zone granitique, on constate que l'attapulгите constitue 90% des argiles dans les encroûtements du glaciais G3. La présence d'attapulгите en proportion aussi importante indique qu'il existait ici un milieu confiné, et des concentrations de sels solubles sont d'ailleurs encore décelables à l'analyse dans les encroûtements. Après l'aplanissement général et le relèvement du niveau de base local, à la suite du dépôt des alluvions grossières de la haute terrasse T3 de l'oued Tensift, on comprend facilement que le drainage ait été très déficient, conduisant à un milieu confinant sur toute l'étendue du glaciais G3. Comme le montre bien l'abaissement important du niveau de la nappe actuelle, ces conditions de drainage n'étaient pas comparables à celles qui existent maintenant au même endroit, après le recreusement de la vallée de l'oued Tensift et l'enfoncement général du réseau hydrographique. Les zones à milieu confinant se sont considérablement réduites et n'occupent plus que la basse terrasse T1 du Tensift avec la partie aval des épandages G1 qui s'y raccordent.

Sur les reliefs à rubéfaction résiduelle, les principales argiles sont la montmorillonite et l'illite, sans aucune trace d'attapulгите, même pas dans les poches d'accumulation calcaire plus ou moins profondes. Il s'agit ici d'un milieu lessivant qui a conduit à la formation de sols fersiallitiques. Le calcaire ne s'est concentré que par piégeage localisé, dans des zones de diaclases où la circulation de l'eau en profondeur était mal assurée, mais sans accumulation des autres sels plus solubles.

Si le déplacement des solutions du sol à l'échelle du paysage joue effectivement un rôle important pour la formation des concentrations calcaires, on peut être surpris de la faible profondeur à laquelle celles-ci se développent.

Il faut alors admettre que, pour une part importante, la circulation de l'eau s'effectue latéralement et à une faible profondeur dans le sol ; les caractéristiques climatiques : faible pluviométrie et forte évaporation, étant probablement à l'origine de cette dynamique superficielle (BOCQUIER- 1971).

Les dépôts calcaires observés dans les diaclases des schistes et des granites indiquent cependant que des infiltrations s'effectuent également en profondeur. Celles-ci peuvent rejoindre, directement ou non, la nappe phréatique de l'aval toujours fortement chargée en éléments dissous. Mais l'existence même des dépôts calcaires, à des profondeurs hors de portée des phénomènes de dessèchement et d'évaporation de la surface, révèlent que les eaux d'infiltrations se renouvellent mal et sont insuffisantes pour permettre un lessivage normal de tous les sels.

Naturellement, la topographie joue aussi un rôle évident vis-à-vis du déplacement des formes d'accumulation calcaire résiduelles, à la suite des phénomènes d'érosion et de transport par les eaux de ruissellement.

LA PROFONDEUR

Dans les sols à profil calcaire moyennement différencié, les concentrations calcaires augmentent d'intensité vers le bas et les éléments les plus durs se trouvent en profondeur : pseudomycéliums, amas, granules et nodules, parfois rognons dans le cas de sols hydromorphes. La dureté paraît bien être ici liée à la richesse en calcaire des concentrations. Dans les sols à profil calcaire bien différencié, au contraire, l'accumulation est plus intense et plus dure à la partie supérieure que vers le bas. RUELLAN (1970) a bien expliqué comment sous l'effet de l'augmentation des concentrations calcaires entraînant une diminution de la perméabilité du sol, se développe une accumulation de plus en plus superficielle, pour finalement aboutir à la formation des croûtes et des dalles telles qu'on les observe dans la région, sur le glacis encroûté G3.

Si la richesse en calcaire est suffisamment élevée, l'induration des concentrations doit être fortement favorisée par l'alternance des périodes d'humidité et de dessèchement, d'autant plus contrastées et fréquentes que l'on considère des niveaux plus proches de la surface. Cette alternance entraînerait des phénomènes de dissolution et de recristallisation qui seraient à l'origine de l'augmentation de la dureté vers le sommet des encroûtements. On pourrait ainsi expliquer la constance de ce gradient d'induration dans toutes les formes de carapace calcaire. Par exemple, dans la toposéquence 4, l'encroûtement en larges amas

friables profonds, qui s'est trouvé porté en affleurement sur les flancs de la butte encroûtée dégagée après l'inversion du relief, s'est induré au voisinage de la nouvelle surface d'érosion.

Dans les niveaux plus profonds, si la texture est suffisamment fine et homogène pour entretenir un drainage ralenti, avec des conditions ambiantes plus stables, le dessèchement étant plus lent et moins excessif, des redistributions calcaires peuvent s'opérer pour former des concentrations en amas bien individualisés restant friables. Si le drainage devient mauvais, les redistributions ne sont plus observées mais le calcaire occupe l'ensemble de la matrice terreuse, constituant un encroûtement massif friable. Ces accumulations en amas ou encroûtement friables possèdent des teneurs en calcaires inférieures à celle des concentrations indurées supérieures ; cependant, les mêmes amas sont susceptibles de se transformer en éléments durs au voisinage d'une surface d'érosion comme cela vient d'être rappelé dans le cas de la toposéquence 4.

Au niveau de la nappe, ou dans d'autres conditions où des concentrations très élevées en calcium peuvent se réaliser (poches de piégeage dans les diaclases), des accumulations calcaires dures et compactes sont observées. Elles peuvent s'annoncer par des petits éléments isolés à la base des encroûtements supérieurs, mais elles prennent un caractère spécifique et se développent pleinement en profondeur pour constituer les encroûtements en lits compacts irréguliers. Ces lits compacts présentent une grande similitude d'aspect avec les dalles compactes superficielles. Bien que situées à des niveaux différents, ces concentrations calcaires ont pu se développer dans des conditions présentant certaines analogies et qui ont abouti à des accumulations de faciès très voisin. On peut envisager que les lits compacts profonds se forment par insolubilisation régulière du calcaire, bien nourrie en milieu aqueux sursaturé au moins pendant de longues périodes. De leur côté, les dalles superficielles paraissent se constituer au dépend des croûtes poreuses où des noyaux compacts existent déjà. Elles peuvent résulter des remises en solution et de la recristallisation des carbonates de la croûte et de ceux d'origine extérieure, à la suite de la diminution de perméabilité de l'encroûtement. Ce serait le processus de pétrification aboutissant à la dalle (RUELLAN- 1970). Parmi les phénomènes en cause dans la formation des accumulations compactes, le mûrissement d'OSTWALD, favorisé par l'existence de conditions d'écoulement ralenti des solutions et qui tend à réduire l'hétérogénéité des concentrations calcaires (CALLOT et al.- 1980), joue certainement un rôle important.

LA TEXTURE INITIALE

Dans les niveaux supérieurs, la différenciation des encroûtements est relativement indépendante de la texture. Cependant, les matériaux grossiers possèdent généralement des concentrations plus grossières que l'on observe bien dans les encroûtements nodulaires sous forme de rognons. De la même façon, lorsqu'il s'agit de concentrations isolées, celles-ci sont également plus irrégulières et plus grossières dans les matériaux caillouteux que dans les matériaux limoneux. Cette distinction peut s'expliquer par les différences de porosité et les conditions de circulation de l'eau différentes dans les deux types de matériaux. Mais la différenciation verticale, celle de la carapace du glacier G3 par exemple, reste toujours comparable : encroûtement lamellaire, dalle compacte, croûte feuilletée et encroûtement nodulaire. Cela indiquerait la prédominance des facteurs pédoclimatiques sur le facteur textural dans les niveaux supérieurs du sol.

Au-dessous de l'encroûtement nodulaire, il existe une nette différence des concentrations selon le type de matériaux, dans les profils où les apports de calcium ont été encore importants à cette profondeur. Dans les matériaux fins, se sont développés de larges amas qui passent progressivement vers le bas à des encroûtements massifs en conditions de mauvais drainage. Les matériaux grossiers au contraire, ne contiennent que des dépôts calcaires de faible importance sous forme de revêtements blanchâtres et de dépôts stalactiformes autour des sables, graviers et cailloux; la circulation facile et rapide des solutions dans ces matériaux ne permet guère la constitution d'accumulations importantes. Cependant, si le drainage est contrarié par la présence d'un plancher rocheux, par exemple, on retrouve une concentration sous forme d'encroûtement massif.

Dans les sols à nappe peu profonde actuelle, l'accumulation superficielle des sels et celle du calcaire, à un niveau moins élevé du sol, sont favorisés par les textures fines, tandis que les textures grossières, au contraire, limitent les remontées capillaires. Les anciens encroûtements en lits compacts profonds, que nous considérons comme des dalles de nappe, se sont développés dans tous les types de matériaux ; ils apparaissent en profondeur d'une façon plus progressive dans les matériaux fins.

L'observation des profils d'accumulation calcaire dans les matériaux hétérogènes révèle que, d'une façon générale, le dépôt du calcaire est favorisé par les textures fines. Ainsi, il peut exister dans un matériau grossier caillouteux des concentrations isolées plus ou moins larges et indurées qui correspondent à des zones de texture initialement fine.

En profondeur, dans les alluvions encroûtées en lits compacts, au contraire, le calcaire paraît fuir les lits alluviaux à matrice fine, et occupe préférentiellement les niveaux sableux et gravo-cailleux. Ce comportement différent selon la situation des accumulations est à rapprocher des remarques concernant la formation des lits compacts profonds et des dalles compactes superficielles qui ont été faites précédemment.

La texture, qui conditionne la porosité, constitue un facteur déterminant vis-à-vis de la dynamique de l'eau à l'échelle du profil. Mais son influence sur l'accumulation du calcaire paraît être différente selon que l'on considère les zones supérieures à drainage effectif, même si celui-ci est plus ou moins ralenti, ou bien la zone profonde située au voisinage de la nappe phréatique.

En profondeur, on imagine qu'au voisinage d'une nappe d'eau libre les zones de texture fine sont saturées, mais l'eau qu'elles contiennent y est retenue par les forces capillaires. L'absence de dessèchement ou de prélèvement par les racines à grande profondeur permet mal le renouvellement des solutions, et l'accumulation du calcaire reste faible dans ces zones. Dans les lits sableux ou graveleux, au contraire, où la macroporosité est très importante, l'eau libre peut s'accumuler si son écoulement est entravé vers le bas par un niveau peu perméable. Les variations du pH, des concentrations ioniques, de la pression et même de la température, qui peuvent encore exister à ces niveaux, y favorisent le dépôt du carbonate de calcium. Même si elle est limitée, la circulation de l'eau permet le renouvellement des solutions chargées d'éléments dissous et assure la croissance des accumulations. L'initiation des premiers lits calcaires diminue la perméabilité du matériau et facilite la formation des nappes perchées à plusieurs niveaux. Celles-ci favorisent à leur tour la naissance des nouvelles accumulations. Ainsi l'encroûtement en lits compacts a pu affecter toute l'épaisseur de la couverture alluviale de la haute terrasse T3.

Les lits calcaires se sont manifestement développés dans des alluvions déjà en place et ils existent également dans des niveaux d'altération de schistes et de granites. Mais il reste à savoir s'ils ont commencé à s'établir dans les niveaux inférieurs de la couche alluviale en progressant ensuite vers le haut en même temps que l'alluvionnement, ou bien s'ils se sont plutôt établis au cours de la période de pédogénèse suivante, en même temps que l'encroûtement du glacis d'aplanissement. Les quantités relativement importantes de calcaire mises en jeu, ainsi que les rapports observés entre les encroûtements du glacis et les lits compacts profonds, notamment dans les toposéquences 1 et 8, nous conduirait plutôt à opter pour la deuxième hypo-

thèse. La variation du niveau de la nappe principale au cours du temps a aussi pu intervenir pour permettre à l'encroûtement d'occuper toute l'épaisseur des alluvions. Avec l'encaissement de l'oued Tensift faisant suite à l'encroûtement du glacis G3 et des alluvions de la haute terrasse, la nappe s'est retirée au-dessous de la partie inférieure de la couche alluviale, laissant des faciès d'encroûtement qui ne correspondent plus aux conditions ambiantes actuelles.

Si on compare les lits alluviaux sableux et les lits à galets, le volume des espaces intergranulaires dans les sables est plus faible que dans les cailloux ; le remplissage des vides par les dépôts calcaires est plus facilement réalisé dans le premier cas. Ainsi peut s'expliquer le fait que les niveaux sableux sont toujours totalement cimentés en masse compacte, offrant le faciès d'un grès calcaire.

A l'exception des zones où la nappe phréatique est voisine de la surface, à la *partie supérieure* des matériaux où se sont différenciés les profils pédologiques, le ressuyage est possible même si le drainage se trouve réduit. Soumises à la pesanteur, les solutions traversent les masses sableuses ou graveleuses sans y séjourner. Par contre, elles saturent les pores des zones à texture fine où elles sont fixées par les forces de rétention capillaires. Mais à ces niveaux, l'existence d'une dessiccation ou d'un assèchement saisonnier permet le dépôt répété du calcaire grâce au renouvellement des apports à chaque période humide. Dans les matériaux fins, les remontées capillaires sous l'effet du dessèchement, sont également susceptibles de venir nourrir les accumulations ; elles sont limitées ou n'existent pas dans les matériaux grossiers. La concentration du calcaire se développe plus facilement en présence d'une texture fine, tandis que dans les mêmes conditions, les matériaux grossiers, laissant fuir les solutions, sont moins favorables aux accumulations.

Dans le cas des sols à nappe phréatique proche de la surface (terrasse 1), les mouvements ascendants sont essentiellement à l'origine de l'apport et de l'accumulation des sels. Le dépôt du calcaire s'effectue d'autant mieux et à un niveau plus élevé que la texture est suffisamment fine pour assurer des conditions de remontée capillaires optimales : limons et sables fins. Dans tous les cas, les concentrations calcaires restent au-dessous des horizons superficiels où s'accumulent les sels les plus solubles.

QUELQUES CARACTERISTIQUES ANALYTIQUES DES CONCENTRATIONS CALCAIRES

Quelques analyses portant sur des échantillons d'accumulation calcaire ont été réalisées au laboratoire de l'ORSTOM à Bondy. Les principaux résultats obtenus sont indiqués au tableau 2.

CALCAIRE ET RESIDU DE DECARBONATATION

Les teneurs en calcaire sont plus élevées dans les concentrations dures que dans les concentrations tendres. Mais il n'apparaît pas de différence caractéristique entre les teneurs des différents types d'accumulations dures : nodules, croûtes, dalles et lits compacts.

Les teneurs en calcaire les plus élevées s'observent dans les échantillons dont le résidu de décarbonatation (HCl 0,5 N) possède les pourcentages d'argile + limon fin les plus forts. Dans les matériaux grossiers : alluvions sableuses et graveleuses, arène granitique, la richesse en calcaire est relativement plus faible. D'après GOUDIE (1972), des calculs théoriques montrent que dans les accumulations calcaires la quantité de calcaire est en fait beaucoup plus importante que ne le permettrait le simple remplissage des vides laissés par la porosité initiale du matériau où se produit l'accumulation. Les éléments figurés ne sont plus jointifs et paraissent "flotter" dans le ciment calcaire, comme s'ils avaient été dispersés sous l'effet de l'accumulation. L'écartement des grains sableux peut effectivement se produire, au moins dans un stade initial, sous l'effet de la cristallisation des sels (PLEI-LEJOUX, MONNIER et PEDRO- 1971). Mais il existe un autre phénomène, peut-être plus important, pour expliquer l'apparente dilution des éléments matriciels préexistants : c'est l'*épigénie calcaire* (MILLOT et al.- 1977). Ce phénomène se manifeste de façon évidente dans toutes les concentrations calcaires de la région qui ont été observées au microscope. Plusieurs fantômes d'anciens minéraux restent apparents et des substitutions isovolumiques en cours sont bien visibles; les grains de quartz, qui paraissent subsister en plus grand nombre, ne sont pourtant pas épargnés par le phénomène dont le développement conduit donc à l'appauvrissement en éléments grossiers.

HUMIDITE

Les concentrations calcaires séchées à l'air, même parmi les plus dures, contiennent toutes un certain pourcentage d'humidité ; il est ici de l'ordre de 1%. Il n'apparaît pas de différence bien significative entre les dif-

férentes formes de concentrations. Cependant, on constate dans l'ensemble que l'humidité est égale ou légèrement inférieure à 1% pour les concentrations dures, elle est plutôt légèrement supérieure à 1% pour les concentrations tendres. On peut observer au microscope que les concentrations tendres contiennent un plus grand nombre de petites cavités irrégulières, tapissées de calcite bien cristallisée. Ces cavités déterminent une porosité plus importante qui accroît évidemment la capacité de rétention en eau.

FER ET MANGANESE

Le fer total : 1 à 2%, le rapport Fe libre/Fe total : de l'ordre de 0,30, et le manganèse ne présentent pas de variations significatives en fonction des types d'accumulation. Les valeurs sont plutôt liées à la nature du matériau originel.

LE pH

Les valeurs du pH sont élevées et relativement constantes : de l'ordre de 9, quelle que soit la nature du matériau originel.

GYPSE ET CONDUCTIVITE ELECTRIQUE

Les valeurs de la conductivité L et du gypse s'élèvent dans quelques échantillons :

- dans les échantillons du profil D13 (toposéquence 4), situé à l'emplacement d'un ancien thalweg étroit, et pour lequel nous avons déjà évoqué l'existence probable de mauvaises conditions de drainage, malgré sa situation à l'amont du glacier encroûté G3.

- la conductivité s'élève légèrement dans les accumulations de nappe en cours de formation du profil D44 (toposéquence 3) en particulier dans l'échantillon D 4451, sans augmentation correspondante du gypse. La présence d'une nappe chargée en éléments dissous mais circulante, peut expliquer ce résultat.

- dans les échantillons du profil D42 (toposéquence 8). La déficience croissante du drainage vers l'ouest, d'une part, et la présence dans cette zone de formations marneuses salées, d'autre part, ont pu favoriser simultanément l'accumulation des sels. On notera que cette accumulation croît du sommet vers le bas de l'encroûtement.

BILAN IONIQUE

Parmi les cations, le sodium présente les plus fortes variations et devient prédominant si la salure s'accroît. Le calcium et le magnésium varient dans des proportions moins importantes. Le potassium n'est toujours qu'en petite quantité ; c'est un élément qui se trouve en faible concentration dans les solutions du sol.

Parmi les anions, les chlorures présentent les plus fortes variations en relation avec la conductivité ; ils sont dominants en cas de salure. Les sulfates varient dans des proportions moindres mais encore importantes. Les bicarbonates qui constituent souvent l'essentiel des anions en absence de salure ne varient que très faiblement. Enfin les carbonates sont toujours en très faible quantité.

CONCLUSIONS

Les concentrations calcaires se présentent sous des *aspects très différents*, mais peuvent être regroupées en 4 grandes catégories :

- les *distributions diffuses* : sans ségrégation calcaire apparente ;
- les *concentrations discontinues* : pseudomycéliums, amas friables et nodules ;
- les *concentrations continues* qui comprennent :
 - les encroûtements non feuilletés : massifs, en large amas, nodulaires ;
 - les encroûtements feuilletés : lamellaires, croûtes, dalles et lits compacts ;
- les *formes détritiques* : débris calcaires résultant du remaniement d'accumulations préexistantes.

Ces concentrations peuvent être également divisées sur le plan de la *dureté*. Nous aurons :

- les *concentrations tendres*, friables ou à cohésion modérée, à toucher farineux : pseudomycéliums, amas, encroûtements en larges amas ou massifs ;
- les *concentrations dures* : nodules, encroûtements nodulaires, croûtes feuilletées et lamellaires ;
- les *concentrations très dures et compactes* : dalles, lits compacts et pellicules rubanées.

Les formes détritiques appartiennent selon leur origine à l'une ou à l'autre des deux dernières catégories.

Cette distinction en fonction de la dureté a été retenue comme critère de base pour la représentation graphique des concentrations, dans les profils des toposéquences de référence figurant en annexe.

De façon générale, *la couleur des concentrations est en rapport avec leur dureté*. Les couleurs brunes correspondent à des concentrations plus dures que les couleurs blanchâtres. Ainsi les nodules sont souvent constitués d'un noyau brun très dur, entouré d'un cortex blanchâtre plus friable.

Les quelques résultats analytiques indiquent que *les concentrations dures sont plus riches en calcaire que les concentrations tendres*, et les teneurs en calcaire sont d'autant plus élevées que le taux d'argile + limon du résidu de décarbonatation est important.

Les matériaux grossiers favorisent le développement d'accumulations en gros éléments irréguliers ; mais *le calcaire se concentre préférentiellement dans les zones à texture fine dans les niveaux supérieurs où le ressuyage peut se réaliser*, même s'il est ralenti. Au contraire, *en profondeur, les accumulations de nappe en lits compacts se localisent dans les niveaux grossiers*, avec une affinité particulière pour les *lentilles sableuses*.

Le tableau 3, où sont schématisées les principales formes de concentration calcaire en fonction de la situation géomorphologique, de la profondeur et de la nature des matériaux, pour caractériser les profils d'accumulation, fait ressortir différents points :

- *L'accumulation calcaire augmente de l'amont vers l'aval*, et cela apparaît sur les trois générations de matériaux allochtones. Les zones de mauvais drainage favorisent toujours les concentrations calcaires.

- *L'intensité des accumulations diminue avec l'âge des matériaux*.

- La variation d'intensité des accumulations correspond à un changement de la nature et/ou de la densité des formes de concentration, ce qui *induit un gradient d'accumulation latéral à l'échelle du paysage (croissant de l'amont vers l'aval) et vertical à l'échelle du profil*.

- *Dans les sols à profil calcaire faiblement ou moyennement différencié, développés sur les matériaux les*

plus récents G2 et G1, ainsi que sur les zones d'érosion supérieures, *le gradient de calcaire augmente du haut vers le bas. Dans les encroûtements du glacis G3, le gradient d'accumulation diminue vers le bas ;* sauf, bien sûr, si des lits compacts existent en profondeur, comme cela est le cas à l'extrême aval. Il faut remarquer que le glacis G3 est une surface érodée où l'encroûtement porté en affleurement a été remanié dans sa partie superficielle, et nous ignorons donc l'état de l'accumulation au-dessus de l'encroûtement, dans le sol initial. Mais RUELLAN (1970) indique également que dans le cas d'encroûtements, la transition avec l'horizon supérieur du sol est toujours brutale.

- *La nature des matériaux originels peut avoir un effet spécifique sur certains aspects des encroûtements, surtout en profondeur : absence d'encroûtement en larges amas dans les matériaux grossiers ; limite inférieure de l'encroûtement nodulaire brutale et discontinue sur granite, régulière et progressive sur schistes.*

Enfin, il apparaît qu'à l'échelle régionale, *l'accumulation calcaire s'accroît vers l'ouest*, dans les régions situées vers l'aval de la vallée de l'oued Tensift et qui connaissent une aridité croissante du climat. La dalle compacte supérieure n'a pas été observée à l'est, mais elle est toujours présente au sommet des encroûtements du glacis G3, au moins dans sa partie aval, vers l'ouest.

CHAPITRE IV

ESSAI D'INTERPRETATION A L'EVOLUTION REGIONALE

L'étude des matériaux superficiels dans la région de l'oued Tensift révèle que des processus de morphogénèse et de pédogénèse se sont répétés plusieurs fois dans le temps. Si l'on considère les conditions particulières qui régissent ces processus dans l'un et l'autre cas, on est obligé d'admettre que morphogénèse et pédogénèse constituent des épisodes bien distincts qui se sont succédés en alternance au cours du Quaternaire (RUELLAN- 1969). Naturellement, tout processus pédogénétique ne se trouve pas exclu en période de morphogénèse et inversement. Mais il s'agit, à notre échelle d'observation, de considérer les phénomènes dominants qui ont influencé de façon déterminante l'évolution des matériaux superficiels pour une période donnée.

Dans leur état actuel, les matériaux superficiels résultent des conditions d'évolution qui ont successivement prévalu, et dont ils conservent l'empreinte plus ou moins nette. Des bribes de l'histoire régionale restent donc imprimées dans les matériaux, et l'exégèse de cet héritage devrait nous aider à tracer un schéma de l'évolution régionale, pour la période du Quaternaire dont peuvent témoigner ces matériaux. A partir des données recueillies au cours de notre étude, nous allons, tout d'abord, essayer de définir les grands épisodes évolutifs qui se sont succédés dans la région. Nous verrons, ensuite, comment ces épisodes de l'évolution régionale peuvent s'insérer dans le cadre plus général du Quaternaire marocain (tabl. 4).

Une première déduction peut être tirée, dès à présent, de l'étude des matériaux superficiels. Compte tenu des modifications topographiques à la suite de l'érosion et de l'abaissement du niveau des oueds, et aussi en raison des exemples de recouvrement qui ont été observés (encroûtements G3 érodés sous les épandages G2, sols châtaîns subtropicaux des dépôts G2 recouverts par les épandages G1), on peut dire que chaque génération de dépôts possédait déjà la plénitude de ses caractères de différenciation pédologique, avant que la génération suivante se mette en place. Dans ces conditions, chaque épisode de pédogénèse peut être défini d'après l'évolution pédologique des dépôts établis au cours de l'épisode morphogénétique qui l'a précédé.

L'ENSEIGNEMENT DES FAITS ET L'EVOLUTION CHRONOLOGIQUE

AVANT LA MISE EN PLACE DU GLACIS G3

Les matériaux de comblement profonds qui se sont accumulés dans la cuvette du Haouz au cours du Néogène et du Quaternaire jusqu'au Pléistocène moyen, et dont la partie supérieure est séparée des épandages du glacis encroûté G3 par une surface d'érosion, présentent des faciès variés. Le remplissage de la cuvette par les matériaux venus de l'Atlas, au cours duquel se sont déposés des alluvions de calibres très différents, des formations calcaires et parfois salines, sans stratigraphie bien apparente, a dû se faire de façon très irrégulière. L'ensemble traduit une variété dans les conditions d'alluvionnement et de sédimentation chimique, et celles-ci ont même dû être entrecoupées de phases d'érosion. L'érosion expliquerait, selon DRESCH (1941), le volume relativement faible d'alluvions accumulées dans le Haouz, par rapport à la masse atlasique soulevée au Tertiaire. Bien que le drainage régulier vers la mer ait été établi dès le Pliocène, l'évacuation des eaux de surface a cependant pu être contrariée à certaines périodes par la présence de barrages alluviaux. Ces barrages auraient favorisé l'existence de zones lacustres, surtout vers le nord où l'on observe quelques formations de calcaires lacustres ainsi que des faciès fluvio-lacustres.

L'étude des matériaux qui composent les épandages G3 et des matériaux sous-jacents permet d'être un peu plus explicite sur les conditions d'évolution qui ont régné avant l'établissement du glacis G3. Trois séries d'informations peuvent en être tirées .

- Les matériaux rouges (lithochromes) observés à plusieurs endroits à la base des épandages G3 au nord du Tensift, soit sur zone plane d'étalement alluvial ou bien

sur versant d'ancien thalweg sous forme colluvial, proviennent d'anciens sols rouges qui existaient à l'amont. Des horizons rubéfiés à la partie supérieure du matériau d'altération en place et recouverts par les épandages G3 encroûtés, qui ont été également observés à l'amont du glacis G3, sur granite par exemple, correspondent à la partie inférieure d'anciens profils de sol fersiallitique ayant été tronqués. On peut donc dire qu'une *pédogénèse rubéfiante avait existé avant la mise en place du glacis G3*. Des sols rouges s'étaient développés sur les zones d'affleurement des roches primaires. Ces zones rubéfiées correspondaient à l'actuelle topographie d'érosion différenciée où subsistent des traces de rubéfaction ; mais elles s'étendaient aussi plus bas vers l'aval, occupant au moins l'emplacement de la partie amont du glacis G3.

Au sud du Tensift, les quelques pointements primaires portaient probablement aussi des sols rouges. Mais sous les épandages G3, il n'y a pas trace de rubéfaction à la partie supérieure des formations de comblement quaternaires du Haouz. D'ailleurs, l'érosion a été telle qu'aucun type de profil pédologique n'a pu y être reconnu, et dans ces conditions aucune conclusion ne peut être avancée sur l'existence de sols rouges sur ces formations. Mais des sols rouges ont très vraisemblablement existé au moins vers le sud, aux confins de l'Atlas, où les précipitations devaient être, comme aujourd'hui, sensiblement supérieures à celles qui arrosent la vallée du Tensift et où les conditions de drainage étaient également satisfaisantes.

- Avant la mise en place des dépôts alluviaux du glacis G3 et de la terrasse T3, *le réseau hydrographique était bien différencié et encaissé*. L'oued Tensift coulait à un niveau voisin, ou peut-être inférieur, à son niveau actuel (t.s. 1, 5 et 8). Les thalwegs affluents se situaient également à un niveau proche de celui du réseau actuel (t.s. 2). Les fonds de vallée des anciens affluents des Djebilet ennoyés sous le glacis encroûté G3 apparaissent étroits, avec des versants assez relevés portant des matériaux de caractère colluvial. Le creusement s'était donc réalisé sous l'effet d'une érosion essentiellement linéaire, avant que se produise le comblement par les dépôts G3.

- Le contact entre les épandages G3 et le matériau sous-jacent est toujours brutal. Nous avons constaté que d'anciens sols rouges sur roches primaires ont été profondément tronqués. Le plus souvent, les épandages reposent directement sur le matériau d'altération érodé et leur épaisseur peut être très variable. Dans le Haouz, les formations calcaires du Quaternaire recouvertes par les épandages G3 présentent également une surface d'érosion, au-dessus de laquelle des éléments remaniés ont été mélangés et transportés vers l'aval avec les apports d'origine atlasique

de recouvrement. *La mise en place des épandages s'est donc accompagnée d'une érosion du support.* Il paraît d'ailleurs inévitable, qu'au cours de leur transport, les matériaux d'épandage alluviaux ne rabotent la surface sur laquelle ils se déplacent, en se mélangeant aux fractions érodées du substrat. Chaque nouvel apport serait ainsi plus ou moins enrichi par des éléments arrachés à l'épandage plus ancien qu'il recouvre ; mais lorsque la nature des matériaux n'est pas suffisamment contrastée, il devient impossible de les distinguer au simple examen macroscopique. Nous avons vu, par exemple, que ce genre de phénomène avait dû intervenir dans les zones du Haouz où les épandages G1 ont recouvert les épandages G2.

UN EPISODE DE MORPHOGENESE : MG3 (DEPOTS G3 ET T3)

Des alluvions grossières apportées par les oueds atlasiques ont remblayé la vallée de l'oued Tensift. Le calibre des galets n'est jamais très important (une vingtaine de cm pour les plus grossiers) ; ce qui peut s'expliquer par la distance qui sépare le cours du Tensift de la sortie des oueds dans le Haouz, au pied de l'Atlas, où ils ont abandonné leur plus lourde charge. Des éléments originaires des Djebilet, beaucoup moins bien façonnés en galets, sont également reconnaissables parmi les alluvions à l'aval de la toposéquence 1. Mais en dehors de quelques situations particulières très localisées (zones de confluence), l'importance des apports originaires des Djebilet devait être négligeable par rapport à ceux venus de l'Atlas. A la limite ouest de la zone étudiée où la nappe alluviale s'étale sur plusieurs km de large, les alluvions ont buté contre le massif quartzitique du Djebel Aleb qui barre la vallée du Tensift. La vallée se rétrécit considérablement pour franchir cet obstacle et les alluvions n'y constituent qu'une bande étroite au niveau de la terrasse T3.

La couverture alluviale T3, relativement homogène sur toute son épaisseur, disparaît latéralement, sur les deux rives, sous l'extrême aval du glacis G3. Les coupes observées dans cette zone montrent que les alluvions grossières du Tensift ont laissé la place assez brutalement à des matériaux d'apport latéral plus fins. En rive droite, cette origine latérale est confirmée par la présence d'éléments caillouteux anguleux des Djebilet et, sur plusieurs toposéquences, nous avons pu suivre la continuité des matériaux d'épandage jusque sur les alluvions fluviatiles du Tensift. On a l'impression que des épandages alluviaux entraînés par les écoulements affluents se sont avancés sur les deux rives en recouvrant les alluvions grossières du Tensift. Ce dernier n'a pas continué son alluvionnement ; il paraît s'être limité à maintenir un lit plus étroit, à un niveau à peu près constant, en affouillant et en déblayant les apports latéraux qui tendaient à l'envahir.

L'ensemble des observations permettent de penser que, dans une première phase, les oueds atlasiques traversant le Haouz étaient bien fixés et suffisamment encaissés. *Ils conservaient une puissance suffisante pour transporter les alluvions grossières qui se sont accumulées dans la vallée du Tensift* où elles constituent les alluvions de la terrasse T3.

Dans une deuxième phase, des épandages se sont étalés sur de vastes étendues dans la plaine du Haouz et sur la bordure des Djebilet, sous l'effet d'un écoulement diffus et divaguant. Le comblement de la vallée du Tensift, et donc la remontée du niveau de base local, a pu entraîner une perte de puissance des oueds affluents et favoriser leur divagation. Mais un événement nouveau s'est probablement produit : *l'arrivée massive de matériaux de nature très différente, vraisemblablement déclenchée par des phénomènes d'érosion généralisés sur les reliefs*. Au nord du Tensift, le schéma paraît simple : érosion sur les pentes des Djebilet, à l'amont, établissement du glacis G3 sur les roches peu résistantes, à l'aval. Au sud de l'oued, les mécanismes ont probablement été plus complexes, en raison de la présence de la haute montagne ; mais de toute façon, l'érosion qui a sévi sur la zone montagneuse (et peut-être surtout sur les reliefs de bordure) a également alimenté les épandages qui se sont étalés dans le Haouz.

Dans la plaine du Haouz, les matériaux encroûtés apparaissent généralement fins (sans doute limoneux à l'origine) mais parfois hétérogènes. Des nappes de galets témoignent de l'existence d'anciens chenaux d'écoulement, dans certaines zones. On comprend bien que dans ces conditions où les alluvions étaient étalées sur l'ensemble de la plaine, les alluvions grossières pouvaient difficilement arriver jusqu'au Tensift, et cela explique pourquoi les alluvions de la terrasse T3 ne se sont plus déposées.

Sur la bordure méridionale des Djebilet, les épandages du glacis G3 sont hétérogènes, souvent grossiers avec des éléments très irréguliers et anguleux, devenant moins caillouteux lorsqu'on s'éloigne des reliefs. Malgré l'hétérogénéité des matériaux qui résultent du mode de transport et de mise en place, il est possible, sur un grand nombre d'observations, de constater que les matériaux sont généralement plus fins à la partie inférieure et plus caillouteux au sommet. On note également souvent, à la base, la présence de matériaux rubéfiés lithochromes qui n'existent jamais à la partie supérieure. L'érosion a donc commencé par déblayer les sols rouges qui occupaient les pentes des Djebilet et dont les matériaux ont constitué les premiers dépôts du glacis G3. Ensuite, après la disparition de ces sols, les matériaux sont devenus plus grossiers à mesure que la roche non altérée se trouvait davantage exposée à l'érosion. Naturellement, à certains endroits des éléments

rocheux ont pu être érodés très précocement, et cela explique la présence de cailloux dès la base des dépôts. L'absence de matériau rubéfié à la partie supérieure du remblaiement G3 permet de supposer qu'*il n'existait pratiquement plus de sols rouges dans les Djebilet à la fin de cette phase d'érosion*. Cette déduction est extrêmement importante, puisqu'elle nous conduit à admettre l'existence d'une phase de pédogénèse rubéfiante ultérieure, dans cette région.

UN EPISODE DE PEDOGENESE : PG3

Après l'épisode de morphogénèse précédent, suit une période de stabilité géomorphologique au cours de laquelle vont se développer les processus de pédogénèse. Les sols se sont différenciés en fonction de la topographie et, malgré l'érosion qui les a profondément érodés et remaniés par la suite, on peut encore facilement reconnaître la séquence suivante : rubéfaction sur les zones à topographie d'érosion différenciée, à l'amont, encroûtements calcaires sur le glacis G3 et les alluvions T3, à l'aval.

La rubéfaction à l'amont

Si l'on admet, dans les Djebilet, la disparition totale des anciens sols rouges sur toutes les zones d'érosion du socle primaire après l'épisode de morphogénèse MG3 (comme il est raisonnable de le penser d'après les déductions tirées des faits d'observation), et puisque les dépôts G2 qui suivront sont constitués en grande partie d'un matériau fersiallitique lithochrome descendu des mêmes zones d'amont, il faut bien en conclure, qu'*entre temps des sols rouges se sont développés sur ces zones d'érosion*. Compte tenu de la diversité des roches et du relief, on peut supposer que les sols rouges ne se sont pas développés partout avec la même importance : plus ou moins épais selon les endroits, peut-être même absents dans certaines zones. Ceci expliquerait alors l'hétérogénéité assez particulière des épandages G2 au nord du Tensift, où sont mélangés des éléments rocheux très irréguliers et un matériau fersiallitique argileux très évolué.

D'après les limites de la rubéfaction actuelle et l'étude des toposéquences, on peut dire que les sols rouges étaient cantonnés à l'étendue des reliefs primaires. Sur cette topographie différenciée, le drainage pouvait être partout assuré et permettre la formation de sols fersiallitiques. Les conditions climatiques ont été suffisamment humides pour provoquer l'hydrolyse des minéraux primaires et permettre la lixiviation d'une grande partie des ions libérés au niveau du sol. Dans les sols rouges sur granite, nous constatons que les minéraux argileux sont surtout de

type *montmorillonite* (au moins 50%) et *illite* (20-40%), mais sans *vermiculite*. Cela indique que la silice était mal évacuée et que le milieu n'était pas très lessivant. En profondeur, les dépôts calcaires dans les diaclases et les poches de piégeage, dont beaucoup doivent dater de cette période (mais peuvent être également antérieurs) montre aussi que le calcium était mal évacué à ce niveau. Tout en étant suffisamment élevée avec un contraste saisonnier bien marqué pour permettre la différenciation de sols fersiallitiques, la pluviométrie devait rester malgré tout assez modérée.

Les encroûtements calcaires à l'aval

Le comblement de l'ancienne vallée du Tensift par les alluvions T3 et l'établissement du glacis G3 ont eu pour conséquences de provoquer la remontée du niveau de base local et l'escamotage de l'ancien réseau hydrographique. Un réseau d'écoulement a probablement toujours existé, puisqu'il ne semble pas y avoir eu de cuvette fermée, mais celui-ci devait être très superficiel et peu efficace. Ainsi, toute la zone de glacis située sur la bordure méridionale des Djebilet et dans le Haouz connaissait donc des conditions de drainage très mauvaises. Enrichies par les ions libérés à l'amont sous l'effet de la pédogenèse rubéfiante, les solutions étaient mal évacuées et s'accumulaient vers l'aval : ces conditions caractérisaient un milieu confinant propice aux accumulations chimiques.

Le calcium, dont la solubilité est la plus faible, a constitué les plus fortes accumulations, mais d'autres sels sont également associés au calcaire. *La carapace calcaire qui s'épaissit vers l'aval caractérise toute l'étendue du glacis G3*, même dans les zones d'ablation du socle primaire. A l'aval, dans les alluvions T3, l'accumulation calcaire occupe toute l'épaisseur de la couverture alluviale où elle constitue des lits compacts qui sont d'anciennes *dalles de nappe*. Comme nous l'avons vu, des dalles de nappe se sont même établies sur granite ou sur schistes, à l'extrême aval du glacis G3, dans les zones qui ont pu être occupées par la nappe phréatique ; mais elles n'y constituent qu'un niveau de faible épaisseur.

La carapace calcaire du glacis G3, qui est actuellement affleurante et remaniée en surface, correspond à la partie inférieure d'un ancien sol à *profil calcaire fortement différencié* dont la partie supérieure (ACa) a été tronquée. Dans ce niveau d'accumulation calcaire, les argiles sont constituées à 90% par l'*attapulгите*, ce qui traduit également le caractère très confinant du milieu. Dans les conditions régionales où, comme au nord du Tensift, la carapace calcaire à attapulгите est en contact avec les sols fersiallitiques de l'amont (t.s. 1), le facteur de différenciation de la pédogénèse est uniquement d'ordre

stationnel. Alors que le mauvais drainage favorisait le confinement sur le glacis G3, l'attapulгите s'est formée dans des conditions climatiques qui ont, malgré tout, permis le développement de sols rouges à l'amont et le transport des éléments dissous vers l'aval ; ces conditions ne devaient pas être trop arides.

UN EPISODE DE MORPHOGENESE : MG2 (DEPOTS G2 ET T2)

C'est un nouvel épisode d'évolution du paysage par déplacement de matériaux solides, au cours duquel l'érosion sévit à nouveau sur les zones d'affleurement du socle primaire, mais également sur le glacis G3.

Il s'est d'abord produit *un abaissement du réseau hydrographique*. L'oued Tensift a entaillé ses alluvions grossières, formant ainsi la *terrasse T3*. L'abaissement du niveau de l'oued a été important à l'ouest ; mais il devenait beaucoup plus faible vers l'amont, et la terrasse T3 disparaît à proximité de Marrakech. Les affluents se sont également enfoncés en entaillant la terrasse T3 et le glacis G3 pour rattraper le niveau de base local. C'est ainsi qu'ont commencé à se dégager *les interfluves encroûtés actuels* et que des inversions de relief ont même pu se produire (t.s. 4). Le creusement a été plus actif à l'ouest où, sans réussir apparemment à atteindre le profil d'équilibre, il est à l'origine du vallonnement accentué qui s'est développé dans cette région. Vers l'est au contraire, où le Tensift était peu encaissé, le creusement a été beaucoup plus limité ; sur la bordure méridionale des Djebilet, il paraît avoir surtout porté sur l'établissement d'un profil longitudinal plus concave par rapport au glacis G3.

Une nouvelle couverture alluviale s'est ensuite mise en place et constitue *les alluvions de la terrasse T2*. Le volume de ces alluvions T2 est beaucoup plus réduit que celui des alluvions T3, à la fois par leur étendue et par leur épaisseur. Ce sont aussi des alluvions d'origine atlasique, mais avec des galets de plus faible calibre. Isolées au centre de la vallée par la terrasse T3 puis le glacis G3, ces alluvions T2 ne sont généralement pas en contact direct avec les *épandages G2* dans la partie du cours de l'oued où existe la terrasse T2. Elles ressemblent beaucoup aux matériaux constitutifs des cônes caillouteux des oueds atlasiques dont elles représentent le prolongement dans la vallée de l'oued Tensift. *Il n'y aurait donc pas eu, au cours de cet épisode, superposition des épandages aux alluvions*, et la mise en place aurait été simultanée, avec une reprise par le Tensift des matériaux étalés par les oueds atlasiques jusqu'à sa rive (comme cela a été le cas pour le cône de l'oued Réraya au nord de Marrakech).

Dans le Haouz, les oueds atlasiques ont une nouvelle fois déversé leurs alluvions. Après la sortie de l'Atlas, ils ont étalé de vastes cônes caillouteux qui s'étendent sur toute la largeur de la plaine. A l'est, les alluvions caillouteuses les moins grossières sont arrivées jusqu'au Tensift ; dans la région de Marrakech, elles se sont également répandues sur la carapace calcaire du glacis G3, qu'elles ont superficiellement érodée. Ce n'est qu'à l'ouest, que les alluvions du N'fis sont restées à l'arrière de la vaste zone encroûtée qui borde le Tensift. Latéralement par rapport à l'axe d'écoulement principal, les alluvions devenaient plus fines, et ce sont essentiellement des épandages limoneux qui se sont déposés dans les zones séparant les cônes caillouteux. Nous avons vu que des cailloux anguleux descendus du Djebel Ramram se sont mélangés, entre Marrakech et l'oued Tensift, aux épandages G2 d'origine atlasique qui recouvrent irrégulièrement la carapace G3 dans cette région : l'érosion sévissait donc en même temps dans la région de l'Atlas et sur les reliefs primaires situés dans la région du Tensift.

Sur les Djebilet, l'érosion des sols rouges a fourni le matériau fersiallitique qui, mélangé aux éléments rocheux également arrachés des zones d'érosion à l'amont, constitue les épandages G2 au nord du Tensift. Ces matériaux ne se sont guère accumulés dans les vallées rocheuses qui séparent les reliefs. Mais au débouché des vallées hors de la zone montagneuse, ils se sont étalés en petits cônes d'épandage rabotant le socle primaire et même l'extrême amont de l'ancien glacis G3. Ensuite, ils s'emboîtent rapidement dans ce glacis au fond des thalwegs qui rejoignent l'oued Tensift. Vers l'ouest, où les reliefs sont éloignés de la vallée et où l'enfoncement du réseau hydrographique a été beaucoup plus important, les dépôts G2 ne constituent que de minces placages très localisés sur le versant des thalwegs affluents qui bordent le Tensift. En comparant, dans cette région située au nord du Tensift, les épandages G2 aux épandages du glacis G3 on constate que les premiers occupent une surface plus réduite et possèdent également une épaisseur plus faible. Les deux générations d'épandages contiennent des éléments rocheux anguleux assez grossiers, mais le matériau fersiallitique est présent sur toute l'épaisseur des dépôts G2. D'ailleurs, les sols rouges n'ont pas totalement disparu des zones de relief à l'amont, et l'érosion aurait donc été moins sévère que pendant l'épisode de morphogénèse précédent sur ces zones. *L'érosion a pu être aussi vive, mais elle se serait prolongée moins longtemps au cours de cette période de morphogénèse MG2.*

Sur le glacis G3 et la terrasse T3, où l'érosion a dû être moins forte que sur les reliefs en raison de la pente beaucoup plus faible, les horizons supérieurs meubles du sol ont cependant été dégagés. Compte tenu de l'importance

de l'encroûtement, l'épaisseur de ces horizons devait être assez faible (RUELLAN- 1970) et la carapace calcaire a pu être facilement portée en affleurement sous l'effet de l'érosion en nappe. Les éléments détritiques calcaires, libérés à la partie supérieure de l'encroûtement, se retrouvent dans *l'horizon de remaniement superficiel* qui se raccorde vers l'amont à l'horizon de remaniement caillouteux des zones de relief. Quelques débris calcaires se retrouvent également parmi les dépôts G2 de l'aval; leur proportion est cependant négligeable par rapport à l'ensemble des matériaux. D'une façon générale, l'érosion n'a qu'assez faiblement affecté la carapace calcaire, surtout lorsque celle-ci est constituée à sa partie supérieure par une croûte ou une dalle qui constituent des encroûtements résistants. La carapace tend à fossiliser la surface du glaciaire G3 et favorise le maintien de ce glaciaire dans les zones où son développement a été le plus important, en particulier dans le Haouz occidental, vers l'aval de la vallée du Tensift.

UN EPISODE DE PEDOGENESE : PG2

C'est la période d'évolution des épandages G2 et des alluvions de la terrasse T2. Mais la pédogénèse ne se limite pas uniquement à ces dépôts les plus récents; elle affecte aussi les matériaux remaniés du glaciaire encroûté G3 et des zones d'érosion rocheuses existant dans la même région.

Sur les dépôts nouveaux (épandages G2 et alluvions T2), la texture initiale des matériaux hétérogènes a été peu modifiée (les cailloux ne sont guère altérés) et *l'évolution pédologique porte surtout sur la différenciation du profil calcaire*. Le calcaire est absent ou en faible teneur dans les horizons supérieurs; au-dessous, l'importance de l'accumulation varie selon la situation topographique et les conditions de drainage. La différenciation du profil calcaire s'accroît de l'amont vers l'aval. Sur les épandages G2 des Djebilet, on peut facilement suivre l'évolution des accumulations le long de la pente : *pseudomycéliums à l'amont, puis amas, nodules et enfin tendance à l'encroûtement à l'aval*. Dans les épandages G2 du Haouz le profil calcaire est également moyennement différencié. Dans les alluvions T2 l'accumulation a atteint le stade d'encroûtement.

Le caractère *isohumique* lié à la pénétration de la matière organique en profondeur a vraisemblablement été acquis dès cette époque, ainsi que le brunissement de l'horizon supérieur des sols développés sur les épandages des Djebilet constitués de matériaux fersiallitiques lithochromes. La formation de *sols bruns et châtaîns subtropicaux* sur ces dépôts de deuxième génération : G2 et T2, témoigne d'un caractère steppique affirmé de la pédogénèse au cours de cet épisode PG2.

Sur les encroûtements du glaciaire G3 et de la terrasse T3, et sur la topographie d'érosion à l'amont, le même épisode de pédogénèse a probablement permis la différenciation

du profil calcaire dans le niveau de remaniement superficiel. Elle a conduit à la formation d'un horizon à *pseudomyceliums* à la moitié inférieure du remaniement (cet horizon est toutefois absent dans les matériaux ne comportant pas de réserves calciques, sur la topographie supérieure). En même temps, *l'encroûtement lamellaire* a dû se développer à la limite supérieure de la carapace calcaire, soulignant la base de l'horizon de remaniement ; cet encroûtement a cependant pu être initié dès l'épisode précédent, alors que la carapace se trouvait temporairement mise à nue sous l'effet de l'érosion accompagnant le remaniement. L'approfondissement du sol dans les encroûtements ou les altérations de roche, par la pénétration de veines terreuses paraissant liées à *l'activité biotique* (ce qui favorisait aussi l'isohumisme), a également dû se réaliser au cours de cette période de pédogénèse.

Dans les Djebilet, les quelques sols rouges résiduels, surtout situés sur granite, se sont maintenus ; peut-être même ont-ils pu être activés, mais il n'y a pas eu ailleurs formation de nouveaux sols fersiallitiques. Sur l'ensemble des dépôts G2 et T2, l'accumulation du calcaire est beaucoup moins importante que celle qui avait affecté les matériaux G3 et T3 plus anciens. Pendant cet épisode PG2, *les matériaux ont été plus faiblement marqués par la pédogénèse qu'au cours du précédent épisode PG3.*

UN EPISODE DE MORPHOGENESE MG1 (DEPOTS G1 ET T1)

Un nouvel abaissement du Tensift aboutit à la formation de la *terrasse T2*. Cet abaissement de l'oued paraît avoir été plus régulier et s'est développé plus loin vers l'amont que le précédent. Par la suite, se sont déposées *les alluvions de la terrasse T1*. Leur texture essentiellement fine les différencie bien des deux générations d'alluvions plus anciennes (T2 et T3) qui sont caillouteuses.

L'abaissement du niveau de l'oued Tensift a entraîné un creusement des thalwegs affluents dont l'importance est variable selon la région et le type d'affluent. A l'ouest, où le Tensift était bien encaissé, le creusement des affluents s'est poursuivi en *accentuant le vallonnement* de cette région, mais sans atteindre le profil d'équilibre, et il n'y a pratiquement pas de dépôts G1 dans les vallons. Quelques oueds affluents plus travailleurs, ont toutefois réussi à régulariser au moins une partie de leur cours et ont pu déposer des alluvions. La terrasse T2 a été elle-même entaillée par les affluents accompagnant l'abaissement du Tensift ; ces entailles seront ensuite partiellement comblées par des dépôts fins G1.

Vers l'est, le creusement s'est généralement limité à la partie aval des thalwegs affluents. Sur la bordure méridionale des Djebilet, les petits cônes d'épandage G2 ont également été incisés sous l'effort de régularisation de la pente ; mais il n'y a pas ici de dépôts G1. Ce n'est que vers l'aval, dans les thalwegs, que *les épandages G2 ont été recouverts par des dépôts fins G1* ; ces épandages G1 deviennent plus épais en se rapprochant du Tensift et ils se raccordent sans discontinuité de surface à la basse terrasse T1. Les alluvions de cette terrasse T1 proviennent bien souvent d'une simple reprise par l'oued Tensift des apports latéraux G1. La superposition des deux générations d'épandages (G2 et G1) n'est plus reconnaissable dans les thalwegs de quelques grands oueds encore temporairement actifs, où les matériaux ont été repris et mélangés sous l'effet d'un écoulement très irrégulier et divaguant.

Au nord de l'oued Tensift, on se rend parfaitement compte que *la texture des épandages G1 est liée à leur origine pétrographique* : sableux lorsqu'ils sont issus de granites, limoneux s'ils proviennent de schistes. Ces matériaux résultent de l'érosion des reliefs primaires, mais aussi (et de façon croissante vers l'aval) de la surface du glaciaire encroûté G3, et probablement même des épandages G2(1). La texture essentiellement fine de ces épandages G1 les distingue bien des épandages caillouteux G2 et G3 plus anciens ; la masse accumulée est plus faible et ils ont également une extension plus réduite que ces derniers. Il faut donc penser que l'intensité de l'érosion a été plus faible qu'au cours des périodes de morphogénèse précédentes. Le ruissellement a entraîné l'appauvrissement en éléments fins de la partie superficielle des matériaux érodés, mais sa puissance a été insuffisante pour permettre le transport des éléments grossiers.

Dans le Haouz, les cônes caillouteux G2 ont été irrégulièrement remaniés, mais cet épisode est surtout caractérisé par la mise en place des *épandages G1*. Ces épandages à dominante texturale limoneuse, parfois plus argileux ou sableux, avec des nappes de galets fréquentes dans certaines zones, ont été étalés entre les cônes caillouteux G2 et à l'amont des encroûtements G3 sous l'effet d'un écoulement diffus. Les grands cônes caillouteux G2, qui n'ont pas été recouverts, disparaissent cependant le plus souvent sous les épandages G1 vers l'aval, lorsque la pente s'affaiblissant, les deux générations d'épandages G2 et G1 se confondent sous une même surface. A l'est, les épandages G1 arrivent jusqu'à l'oued Tensift dont ils constituent la berge

(1) Les épandages G2 ont subi un appauvrissement superficiel en éléments fins, mais on n'y distingue pas de remaniement bien caractérisé ; si celui-ci a existé il n'a pu être que très superficiel et se trouve masqué par l'horizon de travail. Par contre, un niveau de remaniement apparaît généralement au sommet des alluvions de la terrasse T2.

actuelle. Dans cette région où il n'avait pas encore reçu d'affluents atlasiques, l'oued Tensift n'existait peut-être pas en tant qu'oued permanent, en tout cas il n'était pas capable de maintenir un lit alluvial distinct des apports d'épandage latéraux venant buter contre les reliefs primaires des Djebilet. Vers l'ouest, ces épandages ont été retenus par la carapace calcaire G3 qui borde le Tensift. Ils ont cependant pu progresser dans certains cas jusqu'à l'oued, en suivant les étroits thalwegs qui incisent la carapace puis la terrasse T3, et combler aussi les entailles de la terrasse T2.

Certains caractères des épandages G1 du Haouz varient selon les zones : texture, couleur, teneur en calcaire, et ces variations doivent être pour une large part en relation avec l'origine pétrographique des matériaux. Mais le système est ici beaucoup plus vaste et complexe qu'au nord de l'oued pour remonter à l'origine des dépôts sur les zones d'érosion. Une étude précise des différentes familles d'épandages, en particulier dans la partie méridionale du Haouz et sur la zone de piémont, devrait cependant permettre d'établir des relations de filiation avec les formations affleurantes de la montagne. A l'ouest de l'oued N'fis, la couleur claire et la richesse en calcaire sont vraisemblablement liées à la présence des collines calcaires mio-pliocènes et villafranchiennes qui constituent l'arrière pays entre la plaine et la montagne. La susceptibilité à l'érosion a également joué au détriment de certaines formations de l'Atlas qui ont fourni des grandes quantités de matériaux : le Permo-Trias a probablement beaucoup influencé les épandages plus rougêatres étalés dans la partie est du Haouz. D'une façon générale, et malgré l'insuffisance notoire des données sur ce sujet, il semblerait que les épandages G1 du Haouz ont été influencés davantage par les formations des collines de piémont et de la bordure montagneuse, que par celles de la partie supérieure de la chaîne.

Les dépôts de première génération (épandages G1 et alluvions T1) qui ont été mis en place dans la région de l'oued Tensift (Haouz et bordure méridionale des Djebilet), sont moins grossiers que ceux des générations 2 et 3 précédentes. Ils représentent également une quantité de matériau moins importante. *L'érosion qui a sévi dans la région, au cours de cet épisode de morphogénèse MG1 n'aurait donc pas été aussi vive qu'au cours des deux épisodes MG2 et MG3 précédents.*

LA PERIODE QUI SUIT L'EPISODE MG1 JUSQU'AU PRESENT

L'évolution pédologique des dépôts récents et l'établissement du Tensift et des grands oueds atlasiques entre leurs berges actuelles achèvent de donner à la région les caractères que nous lui connaissons.

Les dépôts récents (épandages G1 et alluvions T1) ne sont que *faiblement affectés par la pédogénèse* (PG1). Deux caractères principaux marquent les sols :

- une généralisation de l'isohumisme, mais avec des teneurs en matière organique généralement très faibles ;
- une différenciation faible ou nulle du profil calcaire ; les formes de concentrations (surtout pseudomycéliums) correspondent plutôt à une redistribution qu'à une accumulation.

D'une façon générale, ces sols appartiennent aux catégories de *sols isohumiques subtropicaux* les moins évolués : surtout *siérozems*, et parfois *sols bruns faiblement différenciés*. Dans certaines conditions, *des sols peu évolués d'apport, à faciès isohumique*, ont également été distingués.

Localement des caractères de différenciation particuliers peuvent se développer :

- structure variable en fonction de la texture ; caractères vertiques dans le cas des textures les plus fines ;
- salure et alcalisation, surtout vers l'ouest où l'aridité s'accroît, et chaque fois que les conditions de drainage sont mauvaises ;
- accumulation calcaire, parfois même encroûtement, (généralement associée aux caractères précédents), dans les zones où la nappe phréatique est située à faible profondeur.

Lorsqu'ils sont suffisamment bien exprimés, ces caractères, qui dépendent essentiellement de facteurs stationnels, conduisent à des *vertisols*, des *sols halomorphes* ou des *sols hydromorphes*.

Les caractères généraux des sols développés sur les dépôts les plus récents (G1 et T1) résultent d'une faible évolution pédogénétique. Il s'agit d'une pédogénèse de type steppique, mais n'ayant pas, dans le cas général, abouti à une différenciation nette du profil calcaire. Sur les matériaux les plus anciens, elle n'a pas été en mesure d'oblitérer les caractères acquis au cours des périodes précédentes. Cette pédogénèse PG1, qui se prolonge actuellement, n'a que faiblement marqué les matériaux, et *le degré d'évolution pédologique atteint est plus faible qu'au cours des deux épisodes PG2 et surtout PG3 précédents*.

Entaillant les alluvions fines récentes, l'abaissement de l'oued Tensift a conduit à la formation de la *terrasse T1*. A l'extrême amont de sa vallée, l'oued a incisé directement les épandages G1 ; dans cette région, la basse terrasse T1 et le glacis d'épandage G1 sont donc parfaitement confondus (glacis-terrasse). Dans le Haouz, après un écou-

lement diffus et divaguant ayant accompagné la mise en place des épandages G1, les oueds atlasiques se sont fixés. *Ils ont incisé les épandages G1*, accompagnant ainsi l'abaissement du niveau de base local. Caractérisant un phénomène de déversement, le chenal d'écoulement de certains oueds s'est fixé en position latérale par rapport à l'ancien cône caillouteux G2. C'est ainsi que l'oued Réraya rejoint le Tensift bien à l'ouest de Marrakech où aboutit l'ancien cône caillouteux. A sa sortie des collines mioplIOCènes l'oued N'fis s'est détourné de son ancien cours, qu'il retrouve 25 km plus loin vers l'aval, à l'approche du Tensift. L'ancienne vallée partiellement bordée de croûtes calcaires s'est bien maintenue; elle correspond actuellement à une zone déprimée mal drainée, occupée par des sols halomorphes à alcali et à hydromorphie de nappe.

Il existe, en bordure des oueds atlasiques actuels, des alluvions plus sableuses que les épandages G1 qu'elles recouvrent. Ce sont des *alluvions de débordement récentes* qui résultent vraisemblablement de crues exceptionnelles qu'ont pu connaître les oueds depuis l'épisode MG1. Ces crues ont peut-être été plus fréquentes dans le passé, mais elles restent possibles actuellement⁽¹⁾. Ces débordements sableux, auxquels on peut aussi associer certains niveaux alluviaux de la basse terrasse du Tensift, portent des *sols peu évolués d'apport, à faciès isohumique*.

L'abaissement du niveau de l'oued Tensift a initié un phénomène d'*érosion remontante* qui affecte également les thalwegs à écoulement temporaire. L'érosion de type linéaire qui se manifeste encore actuellement conduit à la formation de ravines. Les ravines, qui canalisent les eaux de ruissellement, se sont développées à partir du Tensift en entaillant la terrasse T1 et les épandages G1 ; mais elles ne remontent que sur une distance assez faible vers l'amont et le profil longitudinal n'est pas régularisé. L'érosion ravinante est assez spectaculaire en rive gauche, sur certaines zones des épandages G1. En tête de ravinement, sont associés en réseau bien hiérarchisé une succession de petites ravines rattachées à un collecteur principal. Chaque ravine élémentaire s'arrête brutalement à l'amont, en incisant le sol sur un front dont la hauteur, variable selon les réseaux, n'excède généralement pas 1 m. Au cours des premières pluies, lorsque le sol est encore sec, l'eau de ruissellement s'engouffre dans les fissures qu'elle élargit, entraînant des éboulements et faisant ainsi reculer

(1) Une estimation de débit correspondant à des crues exceptionnelles millénales a été faite pour les principaux oueds atlasiques (O.R.M.V.A.H.-1970). Les débits extraordinairement élevés (3600 m³/s pour le N'fis, 1100 m³/s pour le Réraya, 1800 m³/s pour l'Ourika, 1500 m³/s pour le Zat et 1600 m³/s pour le Rdat) révèlent un caractère catastrophique dont le risque n'est pas négligeable. Ils résulteraient d'une fonte des neiges massive à la suite d'un brutal radoucissement de température, lié à des précipitations exceptionnelles.

le front de terre. Dans certains cas (creusement de seguias encaissées par exemple), l'activité humaine peut favoriser le développement de ces figures d'érosion.

L'érosion en nappe puis en ravines paraît être l'élément d'évolution le plus actif dans le Haouz. Mais elle affecte surtout les sols battants développés sur les épandages fins G1 (également sensibles à l'érosion éolienne), où des ravines peuvent se développer même sur de faibles pentes. Sur une pente de 1%, CONCARET (1960 a) a pu mesurer le volume d'eau et la charge solide évacuée par une petite ravine (ou chaaba) en cours d'évolution. Il a estimé que, pour une pluviométrie de 46 mm (janvier-mars 1957), la quantité de terre érodée représente plus de 2 tonnes/ha.

Sur les sols à forte pierrosité de surface qui occupent le glacis encroûté G3, les épandages G2 et aussi les pentes des Djebilet, l'érosion paraît réduite, bien que nous ne disposions d'aucune donnée précise à ce sujet. On peut cependant remarquer que les éléments grossiers superficiels freinent le ruissellement et favorisent l'infiltration. Dans les conditions climatiques actuelles, la puissance du ruissellement est insuffisante pour entraîner ces éléments grossiers, et *l'horizon de remaniement caillouteux protège de l'érosion les horizons en place qu'il recouvre*, même sur pente assez forte. Malgré la faible fertilité des sols, la pression démographique est telle que ces surfaces caillouteuses sont le plus souvent cultivées⁽¹⁾. Le travail du sol y est rendu difficile par la présence d'éléments grossiers nombreux, contre lesquels bute fréquemment l'araire ; et pourtant, aucun travail d'épierrage systématique n'a été entrepris. On peut alors se demander pourquoi les fellahs de la région, qui ont réalisé d'admirables travaux d'aménagement pour développer l'irrigation, n'ont pas ici pratiqué l'épierrage. Leur réponse est simple : "la pierre garde l'eau et la terre". Cette réponse, fruit d'une longue expérience paysanne, exprime bien dans sa concision le rôle important de la pierrosité. Sous un climat aussi sévère que celui du Haouz, il importe surtout de garder l'eau et les pierres favorisent l'infiltration ; mais il faut aussi conserver le peu de terre qui existe entre les éléments grossiers et les pierres s'opposent à l'érosion.

Dans les régions montagneuses plus arrosées, les processus d'évolution actuels sont sans doute plus actifs. Des glissements de terrain et des réajustements de versant localisés se produisent dans l'Atlas. La pédogénèse y est aussi plus active et permet l'existence d'une gamme de sols plus

(1) Jusqu'à une période récente, l'irrigation n'y était pas pratiquée en raison des conditions topographiques. Actuellement, des forages équipés de moto-pompes permettent l'implantation de blocs irrigués sur le glacis G3 du Haouz, lorsque l'écroûtage est réalisable.

évolués : par exemple, des sols se rapprochant des *sols cryptopodzoliques* existent en altitude, mais le Haut Atlas demeure un domaine pédologique bien mal connu.

Depuis quelques millénaires, l'homme a commencé à jouer de façon plus ou moins directe, un rôle non négligeable vis-à-vis de l'évolution régionale, et son action tend à se renforcer avec les moyens que la technique moderne met à sa disposition. *La dégradation de la végétation par l'activité pastorale, et la dégradation des sols par la mise en culture*, avec dans certains cas développement de salure et alcalisation, ont pu se conjuguer à la dégradation climatique et favoriser l'érosion. Inversement, l'*irrigation* a permis, encore très localement, l'installation d'une nouvelle végétation. En exploitant les ressources en eau importantes de l'Atlas, la pratique de l'irrigation permanente qui devrait se généraliser dans le Haouz permettra le développement d'une activité agricole intensive. Des pratiques culturales adaptées permettront de lutter efficacement contre l'érosion hydrique et éolienne qui sévit actuellement sur de vastes surfaces dépourvues de végétation. En changeant de façon radicale le régime hydrique des sols, l'irrigation permanente doit aussi conduire à une modification des processus de pédogénèse dont les conséquences à long terme ne sont pas prévisibles.

En conclusion, la période actuelle paraît correspondre à *une période de relative stabilité*, tant sur le plan pédologique que géomorphologique. Nous savons que dans le Haouz, et d'une façon générale dans les zones à faible pluviométrie, le déficit hydrique du sol reste important après les pluies printanières. Dans ces conditions, l'activité de la pédogénèse est faible. Elle est surtout le fait de processus dont la manifestation dans les sols est rapide : répartition de la matière organique, salure et alcalisation, hydromorphie dans certains cas : ce sont des *processus azonaux et réversibles* (RUELLAN- 1969). Dans les régions plus humides de l'Atlas, les processus plus actifs et de caractère différent prolongent sans doute l'évolution des sols différenciés au cours des périodes plus pluvieuses. Si les phénomènes d'érosion ne sont pas négligeables (et il suffit pour s'en convaincre d'observer la coloration intense, par les particules terreuses, des eaux d'écoulement, ou bien de considérer l'importance du débit solide des oueds), ils ne prennent cependant pas une allure de cataclysme comme cela devait être le cas au moment de la mise en place des épandages alluviaux dans le Haouz et sur la bordure méridionale des Djebilet.

Les principales conclusions concernant l'évolution régionale, qui ressortent de l'étude des matériaux superficiels dans la région de l'oued Tensift, peuvent être résumées :

- Il existe *trois épisodes de morphogénèse (MG3, MG2 et MG1)* à partir de la mise en place du glacis G3. L'énergie globale (érosion et transport des matériaux), mise en cause pendant ces épisodes a diminué de MG3 à MG2 puis MG1. Les trois épisodes ne se sont pas déroulés dans des conditions semblables, et les processus de morphogénèse se sont affaiblis au cours du temps. Sur la bordure méridionale des Djebilet, on se rend parfaitement compte que l'érosion a été de moins en moins sévère, et que la puissance du ruissellement a été beaucoup plus faible au cours de l'épisode MG1.

- *La mise en place des alluvions T3 a précédé celle des épandages G3.* Mais il n'y a certainement pas eu de discontinuité dans la phase de dépôt : les matériaux d'épandage G3 relaient simplement les alluvions grossières T3 dans la séquence alluviale. Par contre, *il ne semble pas avoir existé de décalage entre les alluvions fluviatiles et les épandages alluviaux au cours des deux épisodes MG2 et MG1 suivants.*

- *Les phases de dépôt ont été précédées d'un creusement des vallées, sous l'effet d'une érosion essentiellement linéaire.* Pendant ce temps la surface des interfluves connaissait une relative stabilité, vraisemblablement en raison d'une protection suffisante assurée par la végétation. Si l'on considère le glacis encroûté G3, il faut penser que le creusement a été postérieur à l'accumulation calcaire, puisque la carapace calcaire s'est trouvée entaillée. *Une période d'activité pédogénétique importante s'était donc déjà écoulée avant que se déclenche le creusement.*

- *Trois épisodes de pédogénèse (PG3, PG2 et PG1)* ont suivi en alternance les trois derniers épisodes de morphogénèse, et les sols qui en résultent témoignent de la *persistance d'un type de climat méditerranéen.* Ces sols sont d'autant plus évolués qu'ils appartiennent à des matériaux plus anciens. La pédogénèse qui s'est exercée plus longuement sur les matériaux les plus vieux pourrait expliquer ce fait ; mais nous avons vu que sur chaque génération de dépôts, les sols qui existent actuellement étaient déjà pleinement développés avant la mise en place de la génération suivante. Il faut donc en conclure que *l'action de la pédogénèse a été de plus en plus faible en passant des épisodes PG3 à PG2 puis à PG1.*

L'affaiblissement de l'évolution pédologique au cours des épisodes PG3, PG2 et PG1 peut résulter, soit d'une diminution de la durée de la période de pédogénèse, soit d'un affaiblissement du niveau d'activité pédogénétique, ou bien encore de l'association de ces deux causes, comme cela est bien possible. En effet, les datations réalisées au Maroc indiquent que les cycles climatiques auxquels peuvent être attribués *les épisodes PG3, PG2 et PG1 se sont raccourcis avec le temps (tabl. 4)*, et la durée de l'activité pédogénétique a également dû diminuer pendant ces épisodes. Par ailleurs, comme le laissent supposer les considérations suivantes, *l'intensité de la pédogénèse s'est aussi probablement affaiblie avec le temps.*

· Il n'y a pas eu de rubéfaction sur les remaniements non lithochromes, ou sur les arènes granitiques affleurantes, même sur les pentes bien drainées des Djebilet, après l'érosion de l'épisode MG2. Dans les épandages issus des zones granitiques des Djebilet, les graviers feldspathiques des dépôts G2 peuvent être fissurés, mais ils ne sont pas à l'état pulvérulent comme cela est le cas dans les dépôts G3. Au cours de l'épisode PG2, la pédogénèse n'a pas dû connaître la même intensité que pendant l'épisode PG3 précédent.

· Au cours de l'épisode PG1 encore actuel, la pédogénèse se manifeste surtout par des caractères qui ne traduisent pas une évolution essentielle et irréversible des matériaux. Dans quelques cas, cependant, des accumulations calcaires importantes ont pu se constituer et cela indique que la pédogénèse a été suffisamment prolongée pour induire une évolution plus marquée lorsque les conditions le permettaient. Mais d'une façon générale, la faiblesse des précipitations et le déficit hydrique très important au niveau du sol traduisent des conditions relativement arides (large développement de la salure et alcalisation), ne permettant qu'un niveau d'activité assez faible de la pédogénèse ; ce niveau d'activité reste probablement inférieur à celui des épisodes PG2 et surtout PG3.

Les matériaux lithochromes observés sous la carapace calcaire du glacis G3 indiquent que des sols rouges existaient déjà avant la mise en place du glacis, sur les zones d'affleurement du socle primaire dans les Djebilet. Ces matériaux n'existent pas à la partie supérieure des dépôts G3, et nous en avons conclu que les sols rouges devaient alors avoir disparu sur la surface d'érosion. L'importance de tels matériaux lithochromes dans les épandages G2 suivants, nous fait supposer que *de nouveaux sols rouges se sont développés au cours de l'épisode PG3 intermédiaire*, sur cette surface. Ces sols rouges ont eu à subir une forte érosion au cours de l'épisode MG2. Ils ne subsistent plus que sous forme résiduelle, un peu mieux conservés à certains endroits où ils ont encore pu nourrir les épandages G1 au cours de l'épisode MG1.

- La correspondance des caractères stratigraphiques et pédologiques, les observations particulières concernant le mélange des cailloux anguleux issus du Djebel Ramram avec les épandages G2 d'origine atlasique, tout porte à croire que *les différents épisodes de l'évolution régionale se sont déroulés de façon synchrone au nord et au sud de l'oued Tensift*. Cela est particulièrement important si l'on considère les phases d'épandage, car il faut admettre également le synchronisme de l'érosion sur l'arrière pays : Djebilet au nord, et Atlas (au moins sur les reliefs de bordure) au sud.

L'EVOLUTION REGIONALE DANS LE CADRE DU QUATERNAIRE MAROCAIN

Nous avons déjà évoqué dans ses grandes lignes, le cadre du Quaternaire marocain, selon les conceptions communément admises d'après les données de la bibliographie. Il reste à voir, maintenant, comment la région de l'oued Tensift peut s'intégrer dans ce cadre évolutif général, en développant l'interprétation paléogénétique des caractères d'évolution reconnus au cours de notre étude.

LA STRATIGRAPHIE QUATERNAIRE DANS LA REGION DE L'OUED TENSIFT

Nous savons que la région a servi d'éponyme au Tensiftien, où ce niveau correspond au glacis encroûté G3 qui borde l'oued Tensift dans le Haouz et sur la bordure méridionale des Djebilet (CHOUBERT et *al.* - 1956). Nous avons donc étudié, sur le glacis G3, les encroûtements caractéristiques du niveau Tensiftien dans sa région éponyme, et cela pourrait justifier dans une certaine mesure l'importance qui a été accordée à la description des encroûtements de la carapace G3. Il en découle par ailleurs la correspondance suivante, concernant les trois générations de dépôts les plus récents reconnues au cours de l'étude :

<i>Tensiftien</i>	: dépôts G3 et T3
<i>Soltanien</i>	: dépôts G2 et T2
<i>Rharbien</i>	: dépôts G1 et T1

Dans le Haouz, les matériaux de remplissage situés sous les épandages alluviaux encroûtés G3 seraient ainsi antérieurs au Tensiftien (Riss alpin). Les trois générations de dépôts attribuées au Tensiftien, au Soltanien et au Rharbien présentent dans la région de l'oued Tensift une bonne part des caractères qui sont généralement reconnus pour chacun de ces niveaux, ailleurs au Maroc.

LA PALEOGENESE DANS LA REGION DE L'OUED TENSIFT

Si l'on considère que les processus ayant animé l'évolution dans le passé ne sont pas fondamentalement différents de ceux qui agissent actuellement, il est possible d'utiliser les données de la dynamique actuelle pour étayer les hypothèses concernant la paléogénèse. Nous allons donc évoquer rapidement les principaux facteurs d'évolution qu'il est essentiel d'avoir présents à l'esprit (en particulier dans les cas de morphogénèse), avant d'aborder la rétrospective de l'évolution régionale. Nous verrons, ensuite, comment à partir de ces facteurs et des conditions actuelles, il est possible de rendre compte de la paléogénèse dans la région de l'oued Tensift.

CONSIDERATIONS SUR LES FACTEURS D'EVOLUTION

L'érosion

L'érosion est un élément déterminant des phénomènes de morphogénèse. Elle dépend de plusieurs facteurs (WISCHMEIER et SMITH- 1962) dont deux paraissent essentiels à considérer ici : la pluie et la végétation.

La pluie est le facteur actif. Elle intervient par son intensité et par son énergie cinétique qui caractérisent l'agressivité climatique. Si à l'échelle du globe l'agressivité croît avec la pluviométrie, les deux notions ne doivent cependant pas être confondues, car la seconde ne tient pas compte du caractère des précipitations dont l'importance est considérable vis-à-vis de l'érosion.

La végétation est un facteur de résistance à l'érosion, par la protection qu'elle assure de façon plus ou moins efficace à la surface du sol. Ainsi, dans les zones équatoriales ou tropicales humides qui connaissent une agressivité pluviale très élevée, mais où se développe aussi une végétation dense forestière, l'érosion reste très limitée sous forêt. Elle devient par contre catastrophique dès que la végétation est éliminée, dans le cas de défrichement ou de chantiers de travaux publics par exemple⁽¹⁾. Mais on constate également, dans ces régions, que l'installation d'une végétation herbacée après déforestation peut aussi combattre efficacement l'érosion, si la couverture du sol est bien assurée (ROOSE- 1973).

(1) L'érosion est alors très brutale et rapide. Si l'environnement s'y prête, il peut se créer des petits systèmes physiographiques (érosion à l'amont, épandage à l'aval), assez semblables - toutes proportions gardées - à ceux qui existent sur la bordure méridionale des Djebilet par exemple.

L'équilibre climacique

D'après l'équation de WISCHMEIER et SMITH, on peut dire que pour un même type de sol ou de matériau, placé dans une situation topographique semblable, l'érosion dépendra de l'équilibre entre l'agressivité climatique, d'une part, et l'état de la végétation, d'autre part.

Dans des conditions climatiques suffisamment stables, une végétation climacique s'établit en rapport avec les caractéristiques du climat. Si on considère, comme au Maroc par exemple, plusieurs zones climatiques de pluviométrie différentes, on constate qu'actuellement la pédogénèse se développe de façon plus ou moins active en fonction de l'importance des pluies dans chaque région ; mais les phénomènes de morphogénèse n'ont nulle part l'ampleur qu'ils ont connu à plusieurs reprises par le passé. On ne peut pas dire que l'équilibre climacique est actuellement parfaitement assuré, car des phénomènes érosifs existent bien (l'intervention humaine doit en être, d'ailleurs, largement responsable), mais le déséquilibre n'est pas suffisant pour entraîner de profondes modifications à l'échelle du paysage.

Les ruptures climaciques

Après ces différentes considérations, nous sommes conduits à penser que les périodes de forte évolution morphogénétique correspondent à des périodes de *rupture de l'équilibre climacique*, lorsque l'agressivité climatique ne se trouve plus compensée par une couverture végétale suffisamment efficace. Cette rupture interviendrait de façon assez brutale, soit par variation du climat, soit par intervention directe ou indirecte de l'homme au niveau du sol et de la végétation.

Si on considère, dans une même région, une série de variations climatiques, il existe, d'après la règle de LANGBEIN-SCHUMM (FAIBRIDGE- 1970), une valeur critique des précipitations qui correspond au niveau maximum de l'érosion. Au-dessous de cette valeur, la diminution du volume et de l'énergie des pluies entraîne un affaiblissement de l'érosion ; au-dessus, le développement de la végétation accompagne l'augmentation des précipitations et accroît la protection du sol contre l'érosion. Le niveau de cette valeur critique de la pluviométrie dépend des températures moyennes annuelles : il est donc lié aux caractéristiques générales du climat.

L'évolution du niveau de base local

Les variations du niveau de base local : l'oued Tensift, ont conditionné, à l'aval, l'accumulation des matériaux érodés et les phénomènes de creusement, qui sont à

l'origine de l'étagement des terrasses et de l'évolution des thalwegs affluents.

DRESCH (1941), ayant reconnu la vallée du Tensift jusqu'à son embouchure, constate que les trois niveaux de terrasse T3, T2 et T1 se suivent parfaitement jusqu'à l'océan. A l'embouchure du Tensift les alluvions continentales se raccordent aux niveaux marins par interstratification (BEAUDET et al. - 1967). Bien que l'incidence de phénomènes tectoniques ne soit pas totalement à exclure, on pourrait donc considérer que les variations de niveau de l'oued Tensift ont surtout été dépendantes du niveau marin et qu'elles ont suivi les mouvements eustatiques. De cette hypothèse découlent les correspondances suivantes :

Pluvial = régression = creusement

Interpluvial = transgression = alluvionnement

Dans le Haouz ce schéma a cependant pu être sensiblement altéré.

- Sur le cours supérieur de l'oued, l'évolution de la vallée a dû être décalée par rapport à la partie aval, en raison de l'évolution remontante des phénomènes. Par exemple, le creusement a pu être, dans cette région, retardé par rapport au maximum de régression marine.

- La présence d'une plaine d'épandage telle que le Haouz dominée par le Haut Atlas, a pu favoriser à certaines périodes l'alluvionnement, indépendamment de l'effort de régularisation du profil longitudinal de l'oued Tensift.

LES CONDITIONS DE L'EVOLUTION REGIONALE

Afin de partir sur des bases concrètes, nous allons d'abord considérer les conditions actuelles, qui sont les seules à pouvoir être bien connues, et imaginer qu'elle serait l'évolution possible dans le cas de modifications climatiques importantes. Pour terminer, nous essaierons de préciser l'incidence des variations paléoclimatiques vis-à-vis de la succession des épisodes de morphogénèse et de pédogénèse, dans la région de l'oued Tensift.

L'exemple actuel de la bordure méridionale des Djebilet

En raison de la modicité des reliefs et de la faible distance, on peut considérer que dans cette région les conditions climatiques restent homogènes sur la topographie d'érosion à l'amont et sur la zone d'épandage à l'aval, et que l'ensemble du système serait affecté de façon semblable par une éventuelle variation climatique.

Dans les conditions climatiques actuelles, avec une végétation très réduite, nous avons vu que l'activité de la pédogénèse est très faible. L'érosion peut affecter les matériaux fins (G1), mais elle est très réduite sur les zones caillouteuses (G2, G3 et reliefs primaires) où les éléments grossiers assurent la protection du sol. Un système de ravines lié à l'érosion linéaire remontante tend à se développer à partir de l'oued Tensift, mais il est peu actif en raison de la faiblesse des écoulements.

A partir de ces conditions actuelles, où les processus d'évolution géomorphologique et pédologique sont peu actifs, quels changements peut-on imaginer si le climat devenait plus sec ou plus humide ?

Climat plus sec

La végétation pourrait subir des modifications floristiques ; mais les conséquences au niveau de la couverture du sol, qui est déjà très réduite sous l'effet d'une importante dégradation anthropique de la végétation climacique⁽¹⁾ devraient être très limitées. Avec la diminution des précipitations, la pédogénèse s'affaiblirait encore. De la même façon, l'énergie de l'érosion diminuerait et ne serait, pas plus qu'actuellement, en mesure de déplacer les éléments grossiers des surfaces caillouteuses ; toutefois, l'érosion ravinante pourrait encore jouer de façon épisodique. En conclusion, l'évolution ne s'effectuerait ni vers un épisode de morphogénèse, ni vers un épisode de pédogénèse, mais plutôt vers un affaiblissement accentué des processus en cours. Si l'assèchement s'intensifiait, on évoluerait vers une morphogénèse de type désertique où les phénomènes éoliens pourraient s'amplifier ; mais cela aboutirait à des formes d'évolution très différentes de celles qui se sont développées par le passé dans cette région.

Climat plus humide

On est tenté d'imaginer qu'une augmentation de la pluviométrie se traduirait, à la surface du sol mal protégée par la végétation, par un ruissellement accru susceptible de provoquer d'importants phénomènes érosifs. Mais si l'on tient compte de l'étude de DELANNOY (1971), on peut dire que l'évolution vers un climat plus humide résulterait d'une descente latitudinale du front polaire, entraînant en particulier une augmentation du volume et de la durée des pluies de printemps. Cela se traduirait par une diminution

⁽¹⁾ Selon NEGRE (cité par DELANNOY- 1971), la végétation climacique devrait être une steppe arborée ou forêt claire à *Pistacia atlantica* et *Zizyphus lotus* dans le Haouz, et une forêt dense à *Accacia gum-mifera* et *Tetraclinis articulata* (thuyas) dans le secteur plus humide des Djebilet.

de l'intensité et de la durée de la saison sèche estivale, et par une atténuation du contraste saisonnier et de l'irrégularité interannuelle. L'évolution serait donc favorable au développement de la végétation, aux espèces à cycle plus long et aux plantes pérennes. Si le développement de la végétation n'était pas contrarié par l'intervention humaine, il devrait être suffisamment important pour contrecarrer l'augmentation de l'agressivité climatique et éviter une érosion généralisée. En effet, même avant le développement d'une végétation forestière, la végétation pourrait être très rapidement renforcée par les espèces herbacées et assurer une couverture efficace du sol. En conclusion, si des phénomènes érosifs ne sont pas totalement à exclure, surtout dans le cas d'une variation brutale du climat, ils devraient être rapidement jugulés par le développement de la végétation. Au contraire, la pédogénèse se trouverait stimulée, atteignant un niveau d'activité plus ou moins élevé selon le régime climatique qui s'établirait sur la région.

Les conditions actuelles qui règnent sur la bordure méridionale des Djebilet, et plus généralement dans la région de l'oued Tensift, n'assurent qu'une activité ralentie des phénomènes évolutifs. Cette activité s'affaiblirait encore dans le cas d'une aridité croissante. Dans le passé, la puissance d'érosion et de transport des matériaux, pendant l'épisode MG1 et davantage au cours des épisodes MG2 et MG3, a été supérieure à la puissance actuelle. De leur côté, les épisodes PG2 et surtout PG3 ont connu une pédogénèse plus active qu'actuellement. Les épisodes de morphogénèse et de pédogénèse qui se sont succédés au cours du passé correspondent à des conditions plus humides que celles du climat actuel. Il existerait un seuil climatique au-dessous duquel les processus d'évolution seraient très affaiblis, tel serait actuellement le cas dans la région de l'oued Tensift.

Les incidences paléoclimatiques

Une rupture de l'équilibre climacique serait donc à l'origine des épisodes de morphogénèse. Si l'on fait abstraction de l'épisode MG1 pour lequel l'homme a pu jouer un rôle important, il faut considérer que les phénomènes érosifs qui se sont produits au cours des épisodes MG2 et MG3 (et antérieurs) résultaient d'un déséquilibre climacique d'origine climatique.

Il paraît évident que ce ne sont pas les périodes de maximum ou de minimum pluviaux, périodes de relative stabilité climatique, qui doivent être le plus favorable à une

rupture climacique, mais plutôt les périodes instables qui marquent le passage d'un régime climatique à un autre. Le déséquilibre climacique doit survenir d'autant plus facilement que le changement de climat est d'ampleur importante et brutale. On peut à ce propos rappeler que selon des études climatologiques récentes, en particulier celles de BRYSON (1974)⁽¹⁾, le climat tendrait à se modifier plutôt rapidement que graduellement. Un siècle ou deux pourraient suffire pour assurer le passage d'une période glaciaire à une période interglaciaire ; tandis qu'à l'intérieur de ces variations de grande amplitude, des changements climatiques plus modestes, mais encore significatifs, pourraient se développer à l'échelle de la décennie. Ce sont ces modifications relativement rapides du climat, qui, si elles sont suffisamment importantes, en provoquant le déséquilibre des écosystèmes en place, doivent favoriser le développement de la morphogénèse. Celle-ci se poursuivrait tant qu'un nouveau climat n'est pas atteint, et cela même peut demander un certain délai après le retour à des conditions climatiques plus stables.

Les passages Pluvial-Interpluvial ou Interpluvial-Pluvial, devraient constituer les périodes les plus favorables à la morphogénèse. Pour les raisons qui ont été précédemment avancées, dans la région étudiée les phénomènes de morphogénèse doivent rester limités en période d'augmentation pluviale, avantageant plutôt le développement de la végétation et l'activation de la pédogénèse. Pendant la période d'assèchement, au contraire, l'accroissement du contraste et de l'irrégularité climatique entraîne inévitablement une dégradation de la végétation, alors que l'agressivité climatique peut encore rester, au moins à certaines époques, importante. C'est dans ces conditions que doit s'établir la rupture climacique. C'est donc plutôt au cours du passage Pluvial-Interpluvial, qu'à la suite de la dégradation de la végétation entraînant une rupture de l'équilibre climacique (cette rupture ne se produisant pas forcément au même moment dans toutes les régions), que doit se développer la morphogénèse. Il est d'ailleurs peu vraisemblable que les phénomènes d'érosion et d'accumulation des matériaux se manifestent de façon identique et continue au cours d'un même épisode. Plusieurs périodes de crise peuvent se succéder, et probablement même pendant l'Interpluvial. Nous connaissons en effet, le caractère d'irrégularité du climat méditerranéen, et de petites variations climatiques passagères, mal jugulées par une végétation affaiblie, peuvent avoir des conséquences beaucoup plus importantes que pendant une période pluviale.

(1) Les travaux du Professeur BRYSON, fondateur de l'Institut climatologique de l'Université du Wisconsin aux Etats-Unis, ont notamment inspiré le rapport publié par la C.I.A. en 1974, sous le titre : "A study of climatological research as it pertains to intelligence problems".

Selon cette conception, la pédogénèse pourrait couvrir, avec une intensité différente, la période de stabilité climatique de l'Interpluvial (comme cela peut être le cas actuellement) puis la période du passage Interpluvial-Pluvial, et enfin la période du maximum pluvial. On aurait donc une activation de la pédogénèse en passant du minimum au maximum pluvial. Si, comme cela est admis, le passage s'effectue sans modifications profondes du type de climat pour une région donnée, la pédogénèse doit elle-même se développer par stimulation des processus évolutifs mais sans transformation radicale de ses caractères. Sur un matériau sans héritage pédologique, le sol passerait donc par des états de différenciation de plus en plus avancés jusqu'au maximum pluvial où il atteindrait son développement optimum, avant que survienne un nouvel épisode de morphogénèse.

Si, comme nous l'avons supposé, le niveau de l'oued Tensift est resté sous la dépendance du niveau marin (maximum pluvial = maximum régressif), le creusement de la vallée et l'enfoncement du réseau hydrographique dans la région étudiée ne devaient pas se développer de façon importante pendant la première partie d'un cycle pluvial. C'est ainsi que pendant cette période favorable à la pédogénèse, les zones de l'aval mal drainées pouvaient être d'autant plus facilement le siège d'importantes accumulations chimiques.

L'analyse des conditions d'évolution de la région de l'oued Tensift, nous conduit donc à rejoindre les auteurs qui attribuent la morphogénèse aux périodes interpluviales dans les régions non montagneuses ; toutes les remarques et observations que ceux-ci ont formulées sur les conditions propices aux phénomènes de pédogénèse ou de morphogénèse nous paraissent également valables dans la région étudiée. Nous pensons que pour expliquer les conditions d'évolution morphologique, la seule considération du niveau pluviométrique : Pluvial ou Interpluvial, n'est pas suffisante, mais qu'il est nécessaire d'avoir une vue plus dynamique des phénomènes climatiques : ce sont des périodes de plus grande instabilité climatique qui, en provoquant une rupture de l'équilibre climacique (destruction de l'écosystème établi), ont dû favoriser la morphogénèse. Cela permet d'ailleurs de comprendre pourquoi, malgré l'existence d'un large éventail de la pluviométrie, on n'observe actuellement, nulle part au Maroc, d'importantes transformations morphologiques. A l'inverse, des régions appartenant à différents domaines climatiques, se trouvant concernées ensemble par un changement de climat, ont pu être affectées au cours d'un même épisode de morphogénèse. Naturellement, la rupture climacique ne doit pas se produire partout au même moment (plus ou moins précocement ou tardivement, au cours de l'Interpluvial), ni avec les mêmes conséquences, en raison de la différence des conditions initiales (climat, végétation) et de l'ampleur inégale des variations climatiques selon les régions. Pour les mêmes causes, les phénomènes ne se sont pas

répétés identiques à eux-mêmes tout au long du Quaternaire. Une région a pu connaître plusieurs crises de rupture climacique correspondant à des niveaux d'agressivité climatiques différents, avec des conséquences très inégales ; c'est semble-t-il le cas dans la région de l'oued Tensift. Dans les limites d'un cycle continental défini par BIBERSON (1971), nous aurions la succession suivante :

- *pédogénèse* : du minimum au maximum pluvial (activité optimale) et probablement au-delà : c'est-à-dire au moins la première moitié de cycle ;
- *creusement des vallées* : plutôt vers la fin de l'épisode de pédogénèse ;
- *morphogénèse* : au cours de la période d'instabilité climatique accompagnant le passage au minimum pluvial : c'est-à-dire dans la dernière partie du cycle, éventuellement jusqu'à la fin, et peut-être au début du suivant ;
- *retour à la pédogénèse* : faible activité pédogénétique dès que l'équilibre climacique est rétabli à la fin du cycle, ou au début du suivant.

Dans un même cycle pluvial la morphogénèse suivrait donc la pédogénèse. Il en découle que les caractères pédologiques qui marquent un niveau auraient été acquis au cours du cycle qui a suivi celui de la mise en place des dépôts⁽¹⁾. Par exemple, la carapace calcaire du niveau tensiftien résulterait de la pédogénèse qui s'est développée au début du cycle soltanien.

SCHEMA DE L'EVOLUTION REGIONALE DEPUIS LE TENSIFTIEN

En tenant compte des déductions et hypothèses qui ont été proposées dans les pages précédentes, il est possible d'établir un schéma de l'évolution au cours du Quaternaire récent, dans la région de l'oued Tensift (tabl. 4).

- Il est difficile de parler de l'évolution *avant le Pluvial tensiftien*. Plusieurs épisodes d'alluvionnement se sont succédés dans le Haouz, alternant sans doute avec des périodes stables favorables à la pédogénèse et aux accumulations chimiques, et entrecoupés de phases d'incision et

(1) Il serait sans doute plus satisfaisant à l'esprit de trouver dans un même cycle, d'abord la mise en place des dépôts (morphogénèse), puis leur évolution pédologique (pédogénèse) ; ce qui reviendrait à recalcr les cycles continentaux sur les cycles marins.

Reliefs primaires	Zone de glacis			Terrasses du Tensift			Episodes de paléogénèse	Cycles continentaux séparés par les transgressions marines (selon BIBERSON 1971)
	G 3	G 2	G 1	T 3	T 2	T 1		
	Pas d'évolution significative par rapport aux caractères acquis précédemment			Pas d'évolution significative par rapport aux caractères acquis précédemment			PG 1	
	Erosion superficielle. Appauvrissement en éléments fins.			Erosion superficielle. Appauvrissement en éléments fins.			MG 1	
Sols d'érosion, parfois isohumiques si possibilités d'approfondissement. Sols rouges érodés remaniés et matériel fersiallitique résiduels	Sols d'érosion, ou isohumiques selon les possibilités d'approfondissement; mini-profil calcaire dans le niveau de remaniement	Isohumisme. Profil calcaire faiblement et moyennement différencié (sols bruns et châtaîns)		Sols d'érosion, ou isohumiques selon possibilités d'approfondissement. Mini-profil calcaire dans le niveau de remaniement	creusement, terrasse T 2 Isohumisme. Profil calcaire bien différencié Sols bruns encroûtés Lits compacts		PG 2	
Erosion incomplète du matériel fersiallitique, avec éléments rocheux	Erosion et remaniement superficiel de la carapace calcaire	Epanrages G 2 (cailloux et matrice argileuse rouge)		Erosion et remaniement superficiel des alluvions encroûtées.	Alluvions T 2 (grossières, à galets plus petits que T 3)		MG 2	
Rubéfaction. Sols fersiallitiques (irrégulièrement développés)	Sols à profils calcaire fortement différencié, (isohumiques?)(Accumulation d'intensité croissante vers l'aval)			Encroûtement en lits compacts (dalles de nappe)			PG 3	
Erosion totale du matériel fersiallitique attaque du matériel rocheux	Epanrages G 3 (hétérogènes, souvent plus fins avec matériel fersiallitique à la base)			?			MG 3	
Rubéfaction Sols fersiallitiques				Alluvions T 3 (grossières)			PG 4	

tableau 4 : La paléogénèse et la différenciation des matériaux superficiels dans la région de l'oued Tensift, au nord du Haouz de Marrakech.

d'érosion des matériaux. Le petit témoin d'un niveau de terrasse situé au-dessus de la terrasse T3, près du douar el Guern, pourrait correspondre à une ancienne terrasse amirienne.

- *Le Pluvial tensiftien*, qui selon les auteurs a été bien marqué et relativement rigoureux, a abandonné en montagne des cailloutis périglaciaires à des altitudes plus basses que ceux du cycle soltanien qui suivra. Dans le Haut Atlas, l'enneigement persistant devait descendre jusqu'à une altitude assez basse, alors que s'accumulaient dans cette région des matériaux grossiers : glaciers rocheux et coulées de pierres décrits par DRESCH (1941). Dans les régions non soumises à l'enneigement, la végétation abondante protégeait les versants ou se développait la pédogénèse. C'est dans ces conditions que des sols rouges existaient sur les roches primaires, dans la région de l'oued Tensift et dans les Djebilet. Les oueds atlasiques et le Tensift, plus puissants et plus réguliers qu'actuellement (l'enneigement étant un facteur de régularisation du régime), transportaient des éléments entraînés des cailloutis périglaciaires dont la présence ne pouvait que faciliter le creusement des vallées. Ainsi, l'oued Tensift ayant régularisé son cours pendant ce long Pluvial, s'écoulait-il au fond d'une vallée relativement encaissée, creusée sur la bordure méridionale des formations primaires des Djebilet.

- La période de *morphogénèse MG3* qui se développe avec *le passage vers l'Interpluvial Tensiftien-Soltanien* doit être divisée en deux étapes .

Dans un premier temps, alors que le début d'un assèchement encore faible n'avait pas de conséquences importantes sur les régions basses où se poursuivait la pédogénèse, en montagne, un léger radoucissement s'accompagnait d'une remontée de la zone d'enneigement, laissant la place aux précipitations pluvieuses. Ces précipitations encore abondantes mais sans possibilités de retenue, ruissellaient sur les versants rocheux avant de rejoindre les fonds de vallées. Dans cette région, les accumulations périglaciaires précédemment constituées offraient un important matériel grossier non consolidé, qui était facilement entraîné puis transporté par les torrents. C'est sans doute là, l'origine des galets qui ont été charriés par des oueds encore puissants et bien fixés, jusque dans la vallée du Tensift où ils constituent les alluvions de la terrasse T3.

Dans un deuxième temps, l'assèchement et l'irrégularité du climat s'accroissaient, entraînant la dégradation de la végétation sur les régions basses. L'érosion généralisée se déclenchait alors sur les versants, avec comme corollaire l'envoyage des zones basses où se mettait en place le glacis G3. Sur la bordure méridionale des Djebilet, les sols rouges méditerranéens érodés ont fourni les matériaux lithochromes qui existent à la base des dépôts G3. La dimi-

nution de l'agressivité climatique et la régularisation du climat à l'Interpluvial devaient conduire à l'affaiblissement de la morphogénèse et sans doute à la fin de l'épisode MG3.

- De l'Interpluvial jusqu'au maximum pluvial du Soltanien (et peut-être au-delà) s'est développé l'épisode de pédogénèse PG3. Après l'épisode précédent les oueds s'étaient fixés, mais l'incision des matériaux devait être très faible, et le drainage demeurait mauvais sur toute l'étendue du glacis G3. C'est dans ces conditions qu'ont dû se constituer les importantes accumulations calcaires sur ce glacis, tandis que des sols rouges méditerranéens se développaient sur les pentes bien drainées des Djebilet. Ce Pluvial soltanien, que les auteurs considèrent comme ayant été relativement discret, n'a effectivement pas dû connaître une pluviométrie élevée dans la région de l'oued Tensift, si l'on en juge, d'une part, par l'absence de la vermiculite dans les sols rouges, alors que la montmorillonite y est très importante, et, d'autre part, par la grande abondance de l'attapulгите (90 à 95% des argiles) dans les encroûtements du glacis G3. D'après les données bibliographiques concernant l'existence de ces minéraux argileux en fonction de la pluviométrie sous climat méditerranéen (LAMOUREUX- 1972), on pourrait estimer que la région de Marrakech n'a pas dû connaître des précipitations annuelles supérieures à 400 ou 500 mm : ce qui représente quand même le double de la pluviométrie actuelle.

- Au cours de ce Pluvial soltanien, et probablement après une période de pédogénèse assez longue, se produisait un abaissement du niveau du Tensift (on peut y voir là une conséquence de la régression marine contemporaine du maximum pluvial). Le creusement de la vallée provoquait la formation de la terrasse T3 et s'étendait aux affluents qui entaillaient profondément le glacis G3.

- Avec le passage vers l'Interpluvial Soltanien-Rharbien (et sans doute assez rapidement après la phase de creusement), a suivi l'épisode de morphogénèse MG2. L'érosion sévissait une nouvelle fois sur les versants (entraînant les sols rouges et des débris rocheux dans les Djebilet) et également sur le glacis G3 où la carapace calcaire mise à nue durcissait davantage, tandis que les dépôts G2 et T2 se mettaient en place sur les zones d'épandage et d'alluvionnement. Au cours de cet épisode, dont les conséquences n'ont pas eu la même ampleur que celles de l'épisode MG3 précédent, le dépôt des alluvions T2 et des épandages G2 a dû se faire de façon simultanée. Peut-être s'agit-il d'une conséquence de l'incidence plus faible en zone montagneuse de ce Pluvial soltanien par rapport au Pluvial tensiftien.

- L'épisode de *pédogénèse PG2*, qui suit les dépôts soltaniens, a connu une activité plus faible que l'épisode PG3, et l'évolution des sols y est moins avancée (sols bruns et châtaîns isohumiques à profil calcaire faiblement ou moyennement développé). De son côté, l'oued Tensift entaillait les alluvions soltaniennes et le socle sous-jacent pour former la terrasse T2. Cette période, qui doit être malgré tout la manifestation d'un climat suffisamment humide après l'assèchement de l'Interpluvial qui a suivi le Soltanien, pourrait correspondre à *l'époque néolithique*.

- Puis c'est l'épisode de *morphogénèse MG1* pendant lequel *les dépôts rharbiens (G1 et T1) se mettent en place*. Ces dépôts dont nous avons souligné les particularités par rapport aux précédents, doivent également résulter de conditions morphogénétiques différentes. Il s'agit d'un épisode mineur, qui nous est facilement perceptible en raison de sa jeunesse, mais dont les traces pourraient s'oblitérer assez rapidement. C'est un épisode qui n'a connu qu'une agressivité climatique relativement faible, accompagnant peut-être un assèchement sensible à la fin du Néolithique. L'intervention de l'homme, en tant que facteur de rupture climacique, pourrait expliquer les conséquences assez différentes de cet épisode par rapport aux précédents.

- Enfin, au cours de *la période récente et actuelle*, les oueds se sont pratiquement fixés en incisant les dépôts rharbiens, mais cette incision est de faible profondeur. Dans le Haouz des débordements ont pu se produire récemment. Le Tensift pour sa part affouille ses berges, faisant reculer la terrasse T1 qui tend à disparaître ; tandis que partant des berges, l'incision gagne difficilement les thalwegs à écoulement temporaire. Bien que la jeunesse des dépôts rharbiens puissent être une raison de leur faible évolution, on peut cependant constater que les caractères pédologiques actuels ne sont pas des caractères qui traduisent une altération avancée des matériaux, leur assurant une évolution irréversible : c'est une période de relative stabilité pendant laquelle les conditions climatiques ne permettent guère une activation des processus de morphogénèse ou de pédogénèse.

CONCLUSIONS GENERALES

Caractérisée par un climat relativement aride, la région étudiée est centrée sur la vallée de l'oued Tensift, au nord du Haouz de Marrakech. En raison de cette situation, elle a subi au cours de son évolution l'influence des régions de l'arrière pays : Djebilet au nord, Haut Atlas au sud. La disproportion entre l'étendue et l'altitude atteinte dans ces régions, de part et d'autre du Tensift, entraîne une importante dissymétrie du bassin versant de cet oued, et les phénomènes de transport et d'accumulation des matériaux résultant des processus de morphogénèse ont connu une ampleur très inégale sur les deux rives.

Il a été possible de différencier, sur la bordure méridionale des Djebilet et dans la partie septentrionale du Haouz, plusieurs catégories de matériaux superficiels du triple point de vue géomorphologique, lithologique et pédologique (tabl. 1). L'évocation des conditions de paléogénèse et l'essai de restitution de l'évolution régionale dans le cadre du Quaternaire marocain permettent de mieux comprendre l'origine des caractères actuels de ces matériaux.

Les principales conclusions auxquelles aboutit l'étude concernent essentiellement : la paléogénèse, la différenciation morpho-pédogénétique et l'accumulation du calcaire.

LA PALEOGENESE

- L'évolution régionale au cours du Quaternaire récent a connu *trois épisodes de morphogénèse* (du plus ancien au plus récent : MG3, MG2 et MG1) ayant abouti à la mise en

place des dépôts *tensiftiens* (épandages G3 et alluvions T3), *soltaniens* (épandages G2 et alluvions T2) et *rharbiens* (épandages G1 et alluvions T1). Après une pédogénèse rubéfiante (PG4) qui avait précédé l'épisode MG3, trois épisodes de pédogénèse (PG3, PG2 et PG1) ont suivi chacun des épisodes de morphogénèse en alternance (tabl. 4).

- L'activité de la morphogénèse et de la pédogénèse *s'est affaiblie* en passant du Tensiftien au Soltanien, puis au Rharbien. Cet affaiblissement pourrait résulter à la fois d'un raccourcissement des épisodes et d'une atténuation des processus d'origine climatique. Le climat a toujours été de type méditerranéen, mais les fluctuations climatiques ont pu accompagner un assèchement progressif.

- L'évolution des zones situées au nord et au sud de l'oued Tensift *paraît avoir été synchrone*. C'est donc que les mêmes processus d'évolution auraient intéressé en même temps les Djebilet et au moins la bordure septentrionale de l'Atlas.

Nous avons retenu comme hypothèse que *la morphogénèse* devait résulter d'une rupture climacique. Cette rupture surviendrait au cours de périodes critiques d'instabilité climatique, comme celles qui marquent le passage d'un régime à un autre (*passage Pluvial-Interpluvial en particulier*) ; mais elle pourrait être également favorisée par une dégradation d'origine anthropique de la végétation, comme cela doit être le cas pour les dépôts rharbiens. Les épisodes de *pédogénèse*, au contraire, correspondraient à des périodes de plus grande stabilité climatique, au cours du *Pluvial et même dès l'Interpluvial*. Dans les conditions régionales actuelles, qui correspondent à celles d'un Interpluvial, l'agressivité climatique reste insuffisante pour provoquer d'importants phénomènes érosifs (incapacité de transport des éléments grossiers), malgré l'absence de couverture végétale ; dans les mêmes conditions la pédogénèse est elle-même peu active.

LA DIFFERENCIATION MORPHO-PEDOGENETIQUE

Il existe dans la région de l'oued Tensift deux domaines morpho-pédogénétiques bien distincts, particulièrement au nord de l'oued :

- *Un domaine d'exportations à l'amont*. Il est représenté par la topographie d'érosion différenciée sur les roches primaires dans les Djebilet, avec quelques pointements en rive gauche du Tensift ; c'est une zone où les exportations vers l'aval se sont réalisées sous forme de matériel solide (érosion au cours des épisodes de morphogénèse), ou d'éléments chimiques en solution dans les eaux (lixiviation accompagnant la pédogénèse).

- *Un domaine d'accumulations à l'aval.* Il correspond, dans la région étudiée, à la zone de raccordement des reliefs à l'oued Tensift, avec les terrasses de celui-ci, et à la plaine du Haouz. C'est la zone où se sont déposés les matériaux arrachés de l'amont (trois générations d'épandages et trois niveaux de terrasses : matériaux allochtones) et où se sont produites de fortes accumulations chimiques (encroûtements calcaires, salure et alcalisation).

Les deux domaines morpho-pédogénétiques ont évolué dans des conditions différentes mais de façon complémentaire. Cette évolution, qu'il est possible de retracer, permet de rendre compte de la disposition et des caractères actuels des matériaux superficiels dans la région de l'oued Tensift (tabl. 1 et 4).

- *Avant l'épisode MG3.* Les zones d'affleurement du socle primaire à topographie différenciée portaient des sols rouges méditerranéens (PG4).

- *Morphogénèse MG3.* Les zones d'affleurement sont fortement érodées : disparition des sols rouges et érosion du matériel rocheux. Les matériaux vont constituer les épandages du glacis G3 (Tensiftien) qui se met en place à l'aval. En bordure de l'oued Tensift, le glacis recouvre les alluvions grossières T3 qui ont remblayé la vallée de l'oued.

- *Pédogénèse PG3.* Des sols rouges, probablement d'épaisseur assez faible et inégale, se développent sur les zones d'affleurement du socle primaire. Pendant le même temps, sur les zones mal drainées de l'aval : glacis G3 et alluvions T3, se développent des sols à profil calcaire fortement différenciés et se constituent les encroûtements de la carapace actuelle.

- *Morphogénèse MG2.* Après un creusement des vallées (formation de la terrasse T3 et entaille du glacis G3), les épandages G2 et les alluvions T2 (Soltanien) se déposent à l'aval. Sur les zones à topographie différenciée, les sols rouges et le matériel rocheux sont érodés, alors qu'un horizon de remaniement grossier se généralise. Mais ce remaniement conserve souvent une matrice résiduelle rubéfiée ; quelques sols rouges érodés et remaniés peuvent même subsister à certains endroits sous le remaniement. L'érosion affecte aussi le glacis G3 et la terrasse T3 où la carapace calcaire est portée en affleurement ; un horizon de remaniement superficiel à éléments calcaires résiduels se constitue sur toute l'étendue de ces formations de troisième génération (tensiftiennes). Les dépôts soltaniens ont été moins importants et ils occupent des étendues plus restreintes que les dépôts tensiftiens.

- *Pédogénèse PG2*. C'est une pédogénèse de type isohumique qui conduit à la formation de sols bruns et châtain subtropicaux sur les dépôts soltaniens, avec une différenciation du profil calcaire de plus en plus importante de l'amont vers l'aval, où l'encroûtement affecte les alluvions T2. Sur les zones à topographie d'érosion différenciée, il peut se produire une différenciation sensible du profil calcaire sur la faible épaisseur du remaniement grossier en présence d'une réserve calcique ; mais il n'y a généralement pas d'approfondissement des profils au-dessous du remaniement, et ceux-ci conservent leurs caractères de sols d'érosion. Pendant le même temps, les sols rouges résiduels se maintiennent, et peut-être même sont-ils actifs dans certains cas (sur arène granitique par exemple). Sur le glacis G3, l'encroûtement lamellaire se développe à la partie supérieure de la carapace calcaire où il souligne la limite inférieure de l'horizon de remaniement. Des sols bruns subtropicaux se développent lorsque l'approfondissement des profils dans l'encroûtement sous-jacent se trouve possible. Dans le cas contraire (présence d'une dalle ou croûte calcaire), ce sont des sols peu évolués d'érosion qui existent. La carapace calcaire est à considérer ici comme matériau originel.

- *Morphogénèse MG1*. C'est la mise en place des dépôts rharbiens (épandages G1 et alluvions T1) après formation de la terrasse T2. Ce sont des matériaux essentiellement fins, issus d'une érosion superficielle sur les formations plus anciennes (affleurements du socle primaire, dépôts G3 et aussi dépôts G2), où la puissance du ruissellement apparaît insuffisante pour entraîner les éléments grossiers. L'érosion provoque surtout un appauvrissement superficiel sans perturbation importante des surfaces. Le volume de ces dépôts rharbiens est plus faible que celui des dépôts soltaniens et à fortiori des dépôts tensiftiens.

- *L'évolution récente et les caractères actuels*. Les caractères hérités du passé ne sont guère modifiés par l'évolution récente. Les oueds incisent les dépôts rharbiens (terrasse T1) et établissent leur cours actuel. Sur les matériaux rharbiens résultant de l'épisode MG1, le caractère isohumique se généralise (*pédogénèse PG1*), mais les sols restent peu différenciés : sols peu évolués et siérozems, avec, dans certains cas, manifestation de caractères bien affirmés : salure et alcalisation, caractères vertiques, qui ne traduisent cependant pas un degré d'évolution plus avancé des matériaux. Les dépôts soltaniens (MG2) portent des sols isohumiques plus évolués : bruns et châtain subtropicaux, développés au cours de l'épisode PG2. Sur les dépôts tensiftiens (MG3), la carapace calcaire généralisée (PG3), qui a été érodée et remaniée (MG2), porte des sols peu évolués d'érosion ou des sols bruns subtropicaux (PG2). Enfin, sur la topographie d'érosion du socle primaire subsistent des sols minéraux bruts et des sols peu évolués

d'érosion (MG2), avec assez souvent des traces de rubéfaction et quelques sols rouges érodés remaniés. Ce matériel fersiallitique est essentiellement un héritage de l'épisode PG3 ; comme le sont les dépôts lithochromes soltaniens. Les matériaux rubéfiés des dépôts tensiftiens proviennent, quant à eux d'un épisode plus ancien (PG4).

L'ACCUMULATION DU CALCAIRE

Le calcaire représente le principal caractère de différenciation morphologique dans les sols où il constitue des concentrations, de forme, de volume et de consistance variables (tabl. 3). Selon ces concentrations, la richesse en calcaire de l'accumulation peut être très différente. Chaque catégorie de concentration paraît correspondre à des conditions d'accumulations spécifiques qui dépendraient des facteurs d'environnement comme : la situation topographique, la hauteur dans le profil et, dans une certaine mesure, la texture initiale du matériau.

Plusieurs catégories de concentrations s'associent pour constituer les profils d'accumulation calcaire. A l'échelle du paysage, l'accumulation calcaire augmente de l'amont vers l'aval où se développent les encroûtements. Ce sont les dépôts tensiftiens qui ont connu les plus fortes accumulations calcaires ; elles ont été beaucoup plus faibles sur les dépôts soltaniens et, à l'exception de quelques cas particuliers, les concentrations sont plutôt le fait de redistributions sur les dépôts rharbiens.

A N N E X E

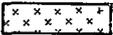
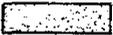
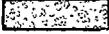
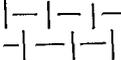
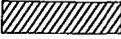
ETUDE DESCRIPTIVE DES TOPOSEQUENCES
DE REFERENCE

La situation respective des 8 toposéquences de référence est indiquée sur la carte d'ensemble du bassin de l'oued Tensift à l'amont du Djebel Aleb (fig. 1), ainsi que sur la carte de répartition des matériaux superficiels (fig. 13).

Parmi les toposéquences étudiées, plusieurs ne sont pas des toposéquences complètes. En effet, nous avons écarté les segments qui n'auraient pas apporté d'informations supplémentaires, susceptibles de renforcer la connaissance des matériaux superficiels sur le plan géomorphologique, stratigraphique, lithologique ou pédologique. D'ailleurs, ces segments appartiennent à des zones d'amont qui sont bien souvent dénaturées par l'érosion récente et ne sont plus génétiquement liées à la partie aval.

Chaque toposéquence étudiée est accompagnée d'une représentation graphique portant sur la stratigraphie longitudinale et sur les profils décrits. Les légendes concernant les toposéquences et les profils sont données en début d'annexe, en verso de page, afin d'être consultées plus facilement en même temps que les dessins. Dans le cas des profils, nous avons essayé d'adopter une représentation figurative, en particulier pour les concentrations calcaires. Mis à part les pseudomycéliums, celles-ci apparaissent sous trois sortes de figurés selon leur consistance : concentrations tendres, dures, très dures et compactes. Dans chaque catégorie, la forme, la dimension et le nombre des

LEGENDE DES PROFILS

	Schiste ou quartzite		Granite
	Granulite		Arène granitique
	Elements remaniés des calcaires marneux mio-pliocènes		
	Calcaire quaternaire à bancs gréseux et conglomératiques		
	Calcaire lacustre quaternaire		
	Filons de quartz		
	Cailloux anguleux de quartz		
	Cailloux anguleux de schiste et quartzite		
	Galets (d'origine atlasique)		
	Pseudomyceliums calcaires		
	Voile calaire en revêtement sur les mottes		
	Revêtements calcaires sur les galets		
	Amas calcaires, isolés ou en encroûtement (selon la densité d'occupation)		
	Encroûtement calcaire massif		
	Nodules calcaires, isolés ou en encroûtement (selon la densité d'occupation)		
	Feuillets de croûte calcaire		
	Dalles et lits compacts		
	Encroûtement lamellaire		
	Horizons rubéfiés d'un sol rouge méditerranéen sur granite		

concentrations ont été représentés en tenant compte de l'échelle des profils (1/51), si bien que le pourcentage et les formes d'occupation apparaissant sur les planches peuvent donner une idée de l'intensité et de la structure des accumulations sur le terrain.

Dans toutes les descriptions, les couleurs sont précisées par référence au code : *Munsell Soil Color Charts*. Sauf indication contraire, elles correspondent à l'état sec du sol.

Une grande importance est accordée à la description des accumulations calcaires. C'est que, dans cette région, le calcaire constitue le caractère de différenciation essentiel dans les sols. Les concentrations y sont variées, tant par leur forme élémentaire que par leur type d'association en profil d'accumulation. Il était donc nécessaire d'en multiplier les descriptions pour mieux en appréhender la variété. La carapace calcaire G3, qui caractérise le Tensiftien, est ici étudiée dans la région éponyme de cet étage continental du Quaternaire moyen. La nomenclature des formes d'individualisation et de concentration calcaires utilisée dans les descriptions de profil se trouve explicitée au Chapitre III, où le lecteur pourra se reporter si besoin.

Pour chaque profil décrit, l'appellation qui fait suite au numéro de référence correspond à la catégorie de sol à laquelle le profil a été rattaché dans le cadre de l'inventaire pédologique régional (MOREAU, 1973a). Dans plusieurs cas, la classification peut être discutée ; mais les critères de classement ayant été exposés dans les documents cartographiques, nous n'en reparlerons pas ici ; les problèmes de classification pédologique, qui ne constituent pas l'objet de notre étude, ne seront pas non plus évoqués.

LEGENDE DES TOPOSEQUENCES

	Schistes et quartzites		Granites
	Granulite		Arènes granitiques
	Mio-Pliocène observé		Mio-Pliocène supposé (t.s.7)
	Calcaires quaternaires à bancs gréseux et conglomératiques		
	Calcaires lacustres quaternaires		
	Filons de quartz		
	Epanrages de 3 ^e génération (G 3)		
	Epanrages de 2 ^e génération (G 2)		
	Epanrages de 1 ^{ere} génération (G 1)		
	Alluvions caillouteuses de la haute terrasse (T 3)		
	Alluvions à galets moins grossiers d'un ancien oued affluent se raccordant à la terrasse T3 (t.s.7)		
	Alluvions caillouteuses de la moyenne terrasse (T 2)		
	Alluvions fines de la basse terrasse (T 1)		
	Horizon de remaniement superficiel		
	Encroûtement feuilleté (dalles et croûtes calcaires)		
	Encroûtement nodulaire		
	Encroûtement en larges amas		
	Encroûtement massif		
	Encroûtement de profondeur en lits compacts (dalles de nappe)		
	Revêtements calcaires autour des galets ou voiles laiteux autour des mottes		
	Sol rouge méditerranéen sur matériau autochtone (t. s.1)		
	Sol brun subtropical sur matériau autochtone (t.s.4)		

TOPOSEQUENCE 1

Située au nord de Marrakech, en rive droite de l'oued Tensift, cette toposéquence a été placée sur un interfluve dont les sols présentent une différenciation bien marquée en fonction de la situation topographique. L'amont se caractérise par une rubéfaction généralisée, mais apparaissant essentiellement résiduelle ; l'aval, au contraire, est le domaine des encroûtements calcaires (photo 9, pl. 2). Enfin, une étroite terrasse limoneuse borde l'oued Tensift. Le substratum géologique est de nature granitique, mais la zone rubéfiée rejoint rapidement vers le nord, à 2 km de l'oued, les reliefs schisto-quartzitiques plus accidentés des Djebilet.

Il s'agit donc d'une toposéquence complète, couvrant les principaux éléments constitutifs du paysage, dans cette région de la bordure méridionale des Djebilet. Pour cette raison, elle fait l'objet d'une étude plus détaillée que les toposéquences suivantes.

Nous distinguerons successivement du nord vers le sud :

- les profils de la zone rubéfiée : D22, D69 et D23 ;
- le passage latéral rubéfaction-encroûtement : D38 a,b et c ;
- les profils de la zone encroûtée : D24, D25, D26, D41, D27, D28 et D29 ;
- la basse terrasse alluviale : D35.

ETUDE DES PROFILS

LES PROFILS DE LA ZONE RUBEFIEE

Profil D22 - Sol rouge méditerranéen, remanié, sur arène granitique.

Zone à pente faible : 2-3%, légèrement bosselée. Forte pierrosité : graviers et cailloux de quartz. Non cultivé, très maigre végétation herbacée basse, surtout graminéenne. Ce profil sur granite est situé à l'amont d'une zone à granulite ne subissant pas l'arénisation.

- 0 à 15-20 cm : Horizon de remaniement rouge-jaunâtre (5 YR 5/6, 6/6). Sableux, riche en graviers et cailloux de quartz (jusqu'à 5 cm) occupant environ 40% du volume de l'horizon. Battu à tendance lamellaire en surface ; irrégulièrement motteux ailleurs. Cohésion d'ensemble faible, plus forte des mottes. Activité biotique et enracinement irréguliers, médiocres. Très légère effervescence à l'acide par places. Limite nette, ondulée.
- 15-20 à 50 cm : Rouge-brunâtre (2,5 YR 4/4-5 YR 4/6). Sablo-argileux à argilo-sableux, avec petits graviers de quartz ; vers le bas, passage progressif à des fantômes d'arène localisés. Sur les 10 cm inférieurs, présence de pseudomycéliums en très fins engainements dans les pores ; pas d'effervescence à l'acide au-dessus de ce niveau. Structure assez mal développée, prismatique (5 cm), initiée par des fissures de dessiccation plus nettes à la partie supérieure ; sous-structure polyédrique irrégulière (1-4 cm). Cohésion d'ensemble faible, un peu plus forte dans les éléments structuraux. Porosité lacunaire moyenne à fine, moyenne. Activité biotique assez bonne, irrégulière. Enracinement faible. Limite irrégulière, distincte sur 2-3 cm.
- 50 à 80 cm : Horizon hétérogène. Îlots d'arène rubéfiée à grains assez grossiers (jusqu'à 0,5 cm), à revêtements ferrugineux. Altération assez avancée : quartz résistants, biotite mordorée et terne, feldspaths friables souvent en totalité. Structure horizontale feuilletée de la roche bien reconnaissable, avec dépôts ferrugineux soulignant le feuilletage. Réseau d'engainements fins ; effervescence violente à l'acide. De forme aplatie : 5-10 cm d'épaisseur, 10-15 cm de largeur, ces îlots rubéfiés occupent environ 40% de l'ensemble. Ils contrastent avec la terre rougeâtre semblable à celle de l'horizon précédent mais sans contours très nets. Amas, granules et engainements calcaires dans les zones terreuses. Porosité lacunaire et tubulaire bonnes. Activité biotique importante, constituant un réseau anastomosé de galeries de 1 à 3 cm de large, de couleur plus brune, avec présence de nombreux turricules. Cette activité biotique doit aussi faciliter la digestion de l'arène (elle est très importante sur le pourtour des îlots les plus altérés) en s'insinuant entre les grains. Limite nette, mais assez irrégulière et intermittente, par pénétration des zones terreuses avec éléments calcaires vers le bas.
- 80 à 200 cm : Arène non rubéfiée, sauf à quelques endroits, à la partie supérieure. Structure finement feuilletée (épaisseur des lits : 0,5 cm environ). Quartz sains, biotite mordorée mais brillante ; feldspaths fragiles s'effritant partiellement mais avec des parties encore dures. L'arène est divisée en zones s'étirant horizontalement (de 5 à 10 cm d'épaisseur), par des veines calcaires souvent farineuses, très blanches, mais parfois indurées et de couleur brun clair. Elles constituent des lignes de 1 à 5 cm d'épaisseur, horizontales, parfois obliques ou verticales, auxquelles se mélange de la terre rougeâtre de l'horizon supérieur, dont la pénétration est favorisée par l'activité biotique. Les zones calcaires ou terreuses s'élargissent parfois en poches à contour irrégulier. Des veines calcaires ou terreuses beaucoup plus fines s'insèrent aussi entre les feuilletés de l'arène. On n'observe normalement pas d'effervescence à l'acide dans l'arène.
- 200 à 370 cm : Les veines calcaires parfois partiellement terreuses deviennent plus rares et plus fines, mais ne disparaissent pas totalement. Même structure finement feuilletée de l'arène ; mais la biotite apparaît plus foncée et brillante, les feldspaths se fractionnent mais sans s'effriter. On note encore la présence de diaclases subhorizontales avec un écartement plus ou

régulier d'environ 20 cm. Elles sont imprégnées de calcaire en lignes moins épaisses que dans le niveau supérieur. Par ailleurs, présence de très fines diaclases subverticales souvent assez rapprochées (5-10 cm), disposées en deux réseaux entrecroisés ; elles sont remplies par un fin dépôt dur et sombre (au maximum 2-3 mm d'épaisseur), et on n'observe pas de calcaire dans ces diaclases verticales même dans les niveaux supérieurs de l'arène.

Profil D69 - Sol peu évolué d'érosion, sur granulite.

Zone légèrement bosselée, pente faible 2-3%. Surface très caillouteuse, quartz et granulite. Très faible végétation herbacée basse, avec *Carlina racemosa*, *Scolymus maculatus*.

- 0 à 20 cm : Partie supérieure de l'horizon de remaniement plus riche en éléments grossiers : cailloux et graviers de quartz.
- 20 à 45 cm : Partie inférieure de l'horizon de remaniement. Brun-rougeâtre (5 YR 4/4), sablo-argileux, assez riche en petits graviers de quartz et aussi en petits éléments de granulite. Structure irrégulièrement développée, polyédrique à mottueuse. Cohésion moyenne. Porosité lacunaire moyenne. Activité biotique bonne. Effervescence nulle par endroits, forte à d'autres. Limite ondulée, distincte.
- 45 à 100 cm : Roche claire à grains fins : granulite à quartz et feldspaths. En place, mais se débitant en pavés plus ou moins larges : quelques cm à 15-20 cm, initiés par un réseau de diaclases horizontal et par un réseau moins serré subvertical. La roche est donc morcelée mais non arénisée. Accumulations calcaires en éléments irréguliers à inclusions rouges, dans les diaclases.
- Au-dessous de 100 cm : La roche devient plus massive, les diaclases sont moins marquées ; le réseau horizontal détermine des lits devenant moins nets vers 280 cm.

Deux petits filons de quartz sombre sont bien apparents dans la roche en place. D'orientation subverticale (parallèle aux diaclases) ils s'inclinent fortement au-dessus de 45 cm, mais ils s'observent encore facilement, en formant chacun une ligne ondulée plus ou moins intermittente jusque dans l'horizon de surface. Ils illustrent très bien le processus d'appauvrissement en particules fines avec concentration des éléments grossiers, accompagnés d'un déplacement modéré de la masse remaniée, à la partie supérieure du profil.

Profil D23 - Sol rouge méditerranéen remanié, sur granite.

Zone plane, pratiquement horizontale, retenue vers l'aval par un gros filon de quartz en relief. Nombreux graviers et cailloux de quartz et de granite couvrant 40 à 50% de la surface. Culture d'orge au stade de tallage.

- 0 à 10 cm : Horizon de culture humide. Brun-rougeâtre (5 YR 4/4, humide). Sablo-gravelo-limoneux, caillouteux en surface. Meuble, à terre fine en grumeaux très fragiles de quelques mm ; parfois mottes de couleur plus rougeâtre, friables. Porosité lacunaire fine, très bonne. Activité biotique apparaissant très bonne. Enracinement satisfaisant de l'orge. Pas d'effervescence à l'acide. Limite ondulée, nette.
- 10 à 35 cm : Non calcaire. Rouge (2,5 YR 4/6, humide). Argilo-sableux à sable grossier et graviers. Pellicules brillantes rouges sur les grains de sable. Structure assez bien développée, polyédrique à tendance émousée, inférieure à 0,5 cm. Cohésion faible. Porosité lacunaire moyenne et fine, bonne. Activité biotique bonne, facilitant le mélange avec l'horizon supérieur qui se manifeste par des zones plus sombres. Enracinement moyen et irrégulier des fines racines herbacées. Limite ondulée, irrégulièrement distincte.
- 35 à 65 cm : Rouge légèrement plus vif (2,5 YR 4/6 - 4/8, humide). Altération rubéfiée d'un granite à grains fins, où l'on reconnaît le plus souvent la structure initiale de la roche finement feuilletée horizontalement ; avec de fines pellicules rouges argileuses séparant les cristaux. Sur les 20 cm supérieurs, des zones bien argilifiées alternent avec les fantômes du granite et diminuent d'importance vers le bas. Surtout à la partie inférieure, des zones essentiellement constituées de filonnets quartzeux horizontaux résistent bien à l'altération. La structure est particulaire ou en petits polyèdres de quelques mm, à faces brillantes très fragiles. Porosité tubulaire médiocre, avec très fines fissures. Activité biotique bonne par endroits, permettant la pénétration de la terre brune de l'horizon superficiel. Présence de quelques fines racines herbacées essentiellement dans les zones les plus altérées, sans structure initiale de la roche reconnaissable, où l'on observe aussi de fins pseudomycéliums. Faible réaction à l'acide. Limite régulière, peu distincte.
- 65 à 95 cm : Horizon semblable au précédent, mais présence d'amas et nodules calcaires (jusqu'à 3 cm de diamètre), en proportion variable : jusqu'à 20-30% de la masse, dans les zones les plus altérées ; parfois fins pseudomycéliums. Souvent les zones bien altérées sont plus larges qu'à la base de l'horizon précédent ; cependant la structure initiale de la roche est bien reconnaissable sur la plus grande surface. On note aussi l'existence de filonnets quartzeux de 2-3 cm d'épaisseur, non altérés. Cohésion d'ensemble assez forte donnant une tendance massive

à la structure ; mais se subdivise facilement avec libération de petits éléments argileux rouges polyédriques, à faces brillantes, entre les sables. Porosité tubulaire moyenne ; très fines fissures soulignant la structure litée de la roche. Activité biotique assez bonne mais irrégulière, facilitant la pénétration des racines et le mélange avec la terre des horizons supérieurs. Effervescence irrégulière à l'acide.

95 à 120 cm : D'un côté du profil, on passe à un granite à biotite, très riche en quartz, à grains fins, et non altéré. De l'autre côté, l'altération rubéfiée se continue, mais avec apparition de zones moins bien désagrégées, séparées par des zones d'arène feuilletée à fines diaclases horizontales où existent irrégulièrement des amas et des granules calcaires. Effervescence à l'acide généralement nulle ou faible, violente dans les zones à amas et granules.

LE PASSAGE LATERAL RUBÉFIATION-ENCRÔTEMENT. (photo 13 et 14, pl. 3)

Trois profils ont été décrits dans une tranchée creusée à la limite entre la zone rubéfiée et la zone à encroûtements calcaires. Ils ne sont séparés que de quelques dizaines de cm et permettent de suivre l'évolution morphologique qui caractérise le passage des sols rouges aux encroûtements calcaires, sur granite. Pour suivre l'évolution latérale des horizons la coupe est décrite en trois tranches : a, b et c, de l'amont vers l'aval :

- a : sol rouge sur granite ;
- b : limite sol rouge-encroûtement ;
- c : encroûtement érodé sur arène.

Profil D38 a

Surface plane, pente de l'ordre de 4 à 5% se relevant vers le nord au voisinage d'un épais filon de quartz blanc laiteux, apparaissant en relief à environ 40 m de la tranchée. Surface à pierrosité très importante : graviers et cailloux de quartz, quelques granites ; la taille maximum ne dépasse guère 10-20 cm à l'exception de quelques blocs. Ces cailloux sont anguleux à arêtes plus ou moins émoussées et ils couvrent la surface à 60-70%. Quelques plantes herbacées : *Scolimus hispanicus*, *Carlina racemosa*.

0 à 15-25 cm : Horizon de remaniement, non calcaire. Couleur brune (7,5 YR 5/4) sur les 5 cm supérieurs, plus rougeâtre au-dessous (5 YR 4/6). Graviers et cailloux anguleux de quartz représentant environ 80% de la masse et dépassant rarement 10 cm de diamètre ; la terre fine est sableuse sur les 5 cm supérieurs, plus argileuse au-dessous. Battu à structure lamellaire en surface ; au-dessous, structure de la terre fine variable mais donnant des polyèdres souvent émoussés, avec des zones motteuses plus compactes. Cohésion d'ensemble et des éléments structuraux, faible. Activité biotique et porosité lacunaire bonnes. Enracinement herbacé bien représenté, compte tenu de la faible importance de la couverture végétale. Limite ondulée, très nette.

15-25 à 45-55 cm : Rouge (2,5 YR 4/4 - 4/6). Sablo-argileux avec quelques graviers de quartz. Structure prismatique (4 x 8 cm), initiée par de fines fissures où l'on observe un léger film argileux recouvrant les faces ; sous-structure plus fine polyédrique à cubique (2-3 cm), parfois mal développée. La structure tend à devenir plus massive vers le bas. Cohésion d'ensemble assez faible ; cohésion des éléments structuraux faible à l'état humide ; elle devrait être plus forte à sec. Porosité lacunaire moyenne, assez bonne. Activité biotique bonne : turricules et zones de galeries contenant une terre plus brune semblable à celle de l'horizon précédent. Enracinement encore bien représenté. Vers 35 cm, apparition discrète de calcaire en fins engainements intermittents ou en petits amas de la taille d'une tête d'épingle autour des sables, et devenant plus nets à la base. Il n'y a pas d'effervescence à l'acide au-dessus de ce niveau. Limite assez tranchée, ondulée.

- Vers le nord (amont), cet horizon se continue avec les mêmes caractères, mais son épaisseur est variable ; il peut même disparaître par endroits, là où la roche peu désagrégée, essentiellement constituée de filonnets quartzeux non altérés, remonte vers l'horizon de remaniement.

- Vers le sud (aval), l'horizon se termine en biseau par disparition de la partie supérieure non calcaire.

45-55 à 100 cm : Couleur identique mais avec granules et nodules calcaires plus ou moins indurés. Ils sont de forme irrégulière et renferment des inclusions rougeâtres, certains sont de forme cylindrique. Pseudomycéliums en engainements autour des pores. Terre fine un peu moins argileuse. On reconnaît assez bien des fantômes de granite où l'on peut retrouver la structure initiale de la roche. Vers le bas, les îlots sont plus nets ; la roche apparaît de moins en moins rubéfiée et plus cohérente. Les granules et nodules n'existent pas dans ces îlots plus sains, mais ils peuvent se concentrer au-dessous et entre ceux-ci, dans des zones déjà bien altérées. Présence d'un élément de croûte calcaire indurée de 4 cm d'épaisseur qui doit correspondre au remplissage d'une ancienne diaclase.

- Vers le nord, cet horizon présente une épaisseur irrégulière et peut disparaître de la même façon que l'horizon précédent par remontée de la roche saine ; mais les dépôts calcaires s'observent alors à un niveau correspondant, dans les diaclases.

- Vers le sud, la limite inférieure remonte pour rejoindre progressivement la base de l'horizon de remaniement, et en même temps la couleur rouge s'atténue et disparaît.

Au-dessous de 80-100 cm : On passe progressivement au granite peu désagrégé et fortement diaclasé ; mais des dépôts calcaires existent encore dans les diaclases.

Profil D 38 b

Situé à 240 cm à l'aval de D 38 a, pente et surface comparables.

- 0 à 25 cm : Horizon de remaniement semblable à celui du profil précédent. Limite ondulée très nette.
- 25 à 35 cm : Horizon rouge à engainements calcaires, comparable à l'horizon 15-25 à 45-55 cm du profil D38 a, mais moins argileux ; les engainements apparaissent aussi plus denses. Cet horizon se termine à une dizaine de cm vers l'aval, sa limite inférieure ne reste pas rectiligne mais s'infléchit en remontant vers l'horizon de recouvrement.
- 35 à 60 cm : Horizon homologue à l'horizon 45-55 à 100 cm du profil D38 a, mais présentant des caractères de transition vers l'encroûtement aval. La couleur est moins rougeâtre et plus brune (5 YR 4/6). La texture est moins argileuse et plus limoneuse. Granules et nodules avec engainements calcaires, plus denses. Activité biotique importante. Cet horizon se prolonge un peu en aval de l'horizon précédent. La transition avec l'encroûtement de l'aval se fait progressivement par disparition de la teinte brun-rougeâtre qui est remplacée par une teinte brune plus claire. À la partie inférieure le passage se fait plus rapidement et la limite inférieure de l'horizon remonte en biseau incurvé vers la surface. Dans cette zone de transition, et même au-delà, les nodules calcaires renferment des inclusions rouges. Cette transition se développe sur une largeur de 70 à 100 cm de l'amont vers l'aval. En profondeur, la limite apparaît également progressive mais mieux tranchée que la limite latérale de l'aval.
- 60 à 120 cm : Encroûtement calcaire nodulaire qui se développe vers l'aval. Les éléments calcaires irréguliers se séparent assez facilement ; ils sont entourés d'un réseau anastomosé de terre brune fortement marquée par l'activité biotique. Présence d'îlots d'arène non rubéfiée ; on n'observe plus aucun phénomène de rubéfaction dans cet horizon.

Profil D 38 c

Situé à 140 cm à l'aval de D 38 b. Pente et surface comparables à celles observées au-dessus des deux autres profils ; mais des éléments calcaires de remaniement apparaissent à la surface du sol à quelques mètres vers l'aval et caractérisent ensuite toute la surface du glacis encroûté jusqu'à l'oued Tensift.

- 0 à 20-25 cm : Horizon de remaniement comparable aux deux précédents : gravelo-caillouteux (quartz) avec terre fine sableuse ; mais on observe aussi quelques petits lits de granules et nodules calcaires de remaniement à inclusions rougeâtres. Limite ondulée très nette.
- 20-25 à 130 cm : Encroûtement calcaire nodulaire dont la teinte blanchâtre occupe environ 60% de la surface, contrastant avec un réseau de terre fine bien travaillé par la faune, brun-rougeâtre clair (5 YR 6/4-7/4). Accumulation calcaire sous forme de granules et nodules, quelques rognons, avec des amas souvent larges, se développant sur plusieurs dizaines de cm et contenant des noyaux indurés. Ces amas prennent davantage d'extension vers le bas, au-dessous de 90 cm, et tendent à constituer un encroûtement tuffeux. La terre fine diminue d'importance vers le bas où elle constitue des zones brunes irrégulièrement ramifiées, ou bien des poches isolées à l'intérieur des masses calcaires, qui se rétrécissent avec la profondeur. À la partie supérieure, une mince croûte lamellaire de 1 à 2 cm d'épaisseur, ondulée et intermittente, fréquemment associée à quelques rognons sur lesquels elle repose, souligne la limite avec l'horizon sus-jacent. Dans les zones terreuses où le calcaire existe essentiellement sous forme de petits nodules, la texture est limono-sableuse avec quelques petits graviers. Structure bien développée, polyédrique émoussée à grenue (0,1 à 0,5 cm). Cohésion assez faible. Porosité lacunaire bonne. Enracinement herbacé assez bien représenté dans les zones brunes terreuses surtout à la partie supérieure.
- À partir de 60 cm quelques îlots d'arène (2-3 cm d'épaisseur sur 10 cm de large), plus ou moins digérés par la terre brune, apparaissent.
- Au-dessous, les îlots d'arène deviennent plus nombreux et plus larges mais avec de grandes variations d'un point à un autre. L'arène est celle d'un granite à grains fins ; quartz sain, feldspaths friables, biotite mordorée à libération ferrugineuse. La limite des îlots n'est pas très brutale, car la terre fine et le calcaire pénètrent entre les grains en bordure de l'arène.
- Au-delà de 130-140 cm : le matériau est essentiellement constitué par l'arène granitique. L'accumulation calcaire se poursuit vers l'aval, et l'étude des profils suivants permet d'en suivre l'évolution morphologique le long de la pente.

LES PROFILS DE LA ZONE ENCRÔTÉE

Profil D 24 - Sol brun subtropical, sur encroûtement nodulaire à remaniement superficiel.

Pente de 2,5-3% vers le sud. Pierrosité importante en surface (30-40%), à graviers et cailloux de quartz et éléments calcaires remaniés (quelques granites) ; cailloux généralement inférieurs à 10 cm, certains quartz présentent des traces d'encroûtement. Culture d'orge au stade de tallage.

- 0 à 20 cm : Horizon de remaniement sablo-gravelo-caillouteux : quartz et débris calcaires ; par endroits, éléments calcaires grossiers : jusqu'à 15 cm. Humide et meuble ; terre fine brun clair (7,5 YR 5/4-6/4), en petits éléments grumeleux fragiles. Cohésion très faible. Porosité lacunaire bonne. Enracinement bien réparti de l'orge. Limite légèrement ondulée et peu tranchée, sur 4-5 cm.

20 à 55 cm : Des granules et des petits nodules constituent des taches blanchâtres qui contrastent sur la teinte générale brun clair (7,5 YR 6/4). Ils représentent environ 30 à 40% de la surface, et sont plus denses sur les 20 à 30 cm supérieurs avec davantage de nodules et même quelques rognons atteignant 10 cm. Au-dessous 45 cm au contraire, l'induration diminue, passant à des amas irrégulièrement friables de 2-3 cm de diamètre, mais pouvant atteindre parfois 5 cm. Des sables et même des graviers de quartz sont visibles à l'intérieur des concentrations calcaires. Terre fine sablo-limoneuse faiblement argileuse, assez bien structurée en polyèdres irréguliers (1 cm, parfois davantage). Cohésion moyenne à assez faible. Porosité moyenne à bonne, favorisée par l'activité biotique importante qui marque la terre fine (turricules). Enracinement moyen, assez bien réparti dans les zones terreuses. Limite nette, interrompue.

A partir de 55 cm : Apparition d'îlots d'arène granitique, élargis dans le sens horizontal (2-3 cm et jusqu'à 30 cm). A partir de 90 cm, l'arène tend à occuper progressivement l'ensemble du profil. Cependant, l'horizon précédent pénètre par des langues se rétrécissant avec la profondeur jusqu'à 160 cm ; l'une d'elles se prolonge même jusqu'à 270 cm sur 10-15 cm de largeur. La teinte de ces zones terreuses reste comparable à celle de l'horizon précédent mais les granules calcaires sont moins nombreux. L'activité biotique y apparaît très importante et des racines herbacées pénètrent jusqu'aux plus grandes profondeurs. A la partie supérieure, une croûte lamellaire de 1 cm d'épaisseur est située au-dessus des îlots d'arène.

En outre, les diaclases horizontales sont occupées par un dépôt calcaire contenant de nombreux sables, accompagné d'une terre brune fortement marquée par des traces d'activité biotique. Les dépôts calcaires des diaclases apparaissent brunâtres, parfois blanchâtres, irrégulièrement indurés, parfois friables ; ils deviennent plus nettement blancs et friables au-dessous de 180 cm. L'arène est à grains assez fins, friable, devenant mieux consolidée vers le bas, à 320 cm. Elle présente parfois une légère rubéfaction constituée par un dépôt rouille autour des grains de biotite, alors que les feldspaths s'effritent. Au-dessous de 200 cm, on extrait surtout des éléments multigranulaires. Un réseau de diaclases subvertical assez serré : 10 à 50 cm d'espace, traverse la roche et l'arène, mais ces diaclases restent fermées et sont rarement occupées par des veines de calcaire ou de terre brune.

Profil D 25 - Sol brun subtropical, sur encroûtement nodulaire à remaniement superficiel.

Pente faible vers le sud : 1-2%. Pierrosité importante, nombreux graviers et cailloux inférieurs à 10 cm, avec prédominance de débris calcaires et cailloux de quartz, quelques granites. Culture d'orge au stade de tallage.

C à 30-40 cm : Horizon de remaniement, humide. Brun-rougeâtre clair (5 YR 6/3). Sableux à sablo-limono-argileux ; graviers et cailloux plus nombreux à la partie supérieure : quartz, débris calcaires ; les cailloux de quartz présentent des traces d'encroûtement. Structure assez bien développée ; polyédrique (1 à 2 cm) parfois motteuse. Cohésion faible, libérant facilement la terre fine en petits grumeaux. Porosité lacunaire fine et moyenne très bonne. Activité biotique importante favorisant l'individualisation des grumeaux. Enracinement bon et bien réparti des fines herbacées. A la moitié inférieure, on note de fins pseudomycéliums de plus en plus denses vers le bas où la texture s'enrichit en argile. Limite ondulée, plus ou moins nette, parfois soulignée par un dépôt calcaire qui constitue une mince croûte lamellaire (1 cm d'épaisseur) assez fragile.

30-40 à 100 cm : Humide à la partie supérieure. Encroûtement granulo-nodulaire et amas calcaires. Les concentrations calcaires constituent des taches blanchâtres de l'ordre de un à quelques cm qui représentent environ 40 à 50% de la surface, plus denses à certains endroits. Les éléments calcaires sont assez bien séparés, mais ils se réunissent parfois pour constituer une masse irrégulière plus importante : 5-6 cm. La taille et l'induration diminuent sensiblement vers le bas, mais un noyau induré existe fréquemment à l'intérieur des amas, même à la base. La terre fine brune est sablo-limono-argileuse, avec des graviers et quelques petits cailloux de quartz. On note un double filonnet quartzueux qui remonte jusqu'à 55 cm. Le matériau granitique est donc en place au moins jusqu'à ce niveau. A la partie inférieure, apparaissent quelques îlots d'arène granitique étirés horizontalement, et dont la taille atteint 15 cm de large ; l'arène finement feuilletée dans le sens horizontal a conservé la structure initiale du granite. Au-dessus, n'apparaissent que des fantômes d'arène assez bien digérés dans la terre brune ; ils sont indiqués par la présence des grains de quartz qui restent bien apparents et par la fine croûte lamellaire qui les surmontait. Structure bien développée : polyédrique émoussée de quelques mm à 1 cm, entre les granules. La terre fine, très travaillée par la faune, est riche en turricules fragiles qui se réduisent en petits grumeaux. Porosité lacunaire excellente. Enracinement herbacé bien réparti dans les zones terreuses, mais diminue en profondeur. Limite nette, interrompue.

100 à 225 cm : A partir de 100 cm, les îlots d'arène deviennent progressivement plus étendus pour constituer l'essentiel de la masse vers 140-150 cm. Au-dessous, l'horizon supérieur pénètre encore et constitue des langues s'élargissant parfois en poches de 10-15 cm qui sont assez rectilignes et semblent être situées à l'emplacement d'anciennes diaclases. Les dépôts calcaires sont généralement plus blancs et friables, mais il existe aussi quelques lits bruns et massifs, de 2 à 3 cm d'épaisseur, dans les diaclases horizontales. L'activité de la faune est importante jusqu'à la base du profil, dans les zones de terre fine.

L'arène possède une couleur vert-jaunâtre sale ; elle est finement feuilletée dans le sens horizontal, avec des diaclases verticales sans pénétrations terreuses ou calcaires. Le granite est composé de grains fins appartenant à deux catégories dimensionnelles :

- quartz et feldspaths : 3-4 mm, biotite : 1 mm ;
- quartz, feldspaths et biotite beaucoup plus petits : 1/10 mm

La biotite altérée donne une couleur rouille sale à l'ensemble de l'arène (expurgation ferrugineuse).

Profil D 26 - Sol brun subtropical, sur encroûtement nodulaire à remaniement superficiel.

Plat à pente faible de l'ordre de 1% vers le sud. Pierrosité très importante (60-70%), débris calcaires (certains avec une pellicule rubanée), quartz et quelques très rares schistes ; les éléments les plus grossiers sont inférieurs à 15 cm. Végétation faible de petites herbacées ; quelques rejets de jujubier en touffes éparées.

0 à 30-40 cm : Horizon de remaniement humide. Terre fine sableuse à sablo-limono-argileuse, brune (7,5 YR 5/4-6/4), avec graviers et cailloux de quartz et fragments calcaires de démantèlement jusqu'à 10 cm. Comparable à l'horizon de remaniement du profil D 25 précédent, mais on note ici la présence de rares cailloux schisteux irréguliers. Limite ondulée assez nette, parfois marquée par une légère croûte lamellaire, mais celle-ci est beaucoup plus discrète que dans le profil précédent.

30-40 à 140 cm : Encroûtement granulo-nodulaire et rognons calcaires, en éléments irréguliers indurés, atteignant 10 à 15 cm de diamètre. Les éléments calcaires représentent 70 à 80% de la surface sur la paroi du profil. Ces éléments soudent des sables (pas de cailloux de roches alchtones dans cet horizon) ; la masse calcaire est assez compacte mais encore légèrement poreuse. A la partie supérieure (sur 30 ou 40 cm), les éléments indurés présentent des petites craquelures et des cavités à l'intérieur rougeâtre où apparaît un réseau filiforme plus clair, comparable à un pseudomycélium. Une pellicule rubanée est souvent visible en bordure de ces éléments.

L'encroûtement devient un peu moins dense dans la moitié inférieure. Entre les éléments calcaires, la terre fine est sablo-limono-argileuse, brun clair (7,5 YR 6/4), et bien travaillée par la faune ; ce qui favorise une bonne structure polyédrique émousée à grumeleuse, inférieure à 1 cm. Peu ou pas d'amas calcaires dans cet encroûtement. Limite nette, interrompue.

140-210 cm : Apparition d'ilôts d'arène granitique avec présence de filonnets quartzeux subverticaux, accolés par couple, et qui remontent au moins jusqu'à 140 cm. Les ilôts d'arène sont assez fortement digérés par des pénétrations de terre brune bien travaillée par la faune. Entre les ilôts qui représentent environ 50% de l'ensemble, terre brune semblable à celle de l'horizon précédent, où les éléments calcaires très irréguliers et indurés, avec quelques amas, représentent 20 à 30%. On observe aussi des petits éléments de dalle compacte très durs, de couleur brun-rougeâtre clair, soudant les grains minéraux présents dans l'arène. Ces éléments peuvent s'allonger sur quelques dizaines de cm, avec une épaisseur de 7-8 cm ; ils sont plus ou moins ondulés et s'étirent horizontalement à l'emplacement d'anciennes diaclases horizontales ou subhorizontales. Les diaclases verticales, dont la bordure est généralement constituée de filonnets quartzeux, ne sont guère chargées en dépôts calcaires. Limite irrégulière et progressive.

210 à 310 cm : Roche irrégulièrement altérée et fortement diaclasée. Nombreux filonnets quartzeux subverticaux de 1 cm d'épaisseur, entre lesquels la roche plus ou moins arénisée présente une orientation horizontale. Elle est généralement friable, de couleur verdâtre clair finement moucheté de noir, et à grains très fins. Dans les diaclases horizontales, dépôts calcaires blancs plus ou moins friables, ou bien brun-rougeâtre clair et très durs. De la terre brune, bien travaillée par la faune et semblable à celle de l'horizon précédent, accompagne souvent les dépôts calcaires ; mais elle peut parfois constituer des poches terreuses sans accumulation calcaire visible. Dans certaines diaclases verticales, on peut observer quelques phénomènes de légère rubéfaction autour des biotites.

Profil D 41 - Sol peu évolué d'érosion, sur carapace calcaire.

Plat à pente faible, inférieure à 1% vers le sud. Pierrosité très importante (70 à 80%), surtout fragments de croûte, schistes et quartz ; nombreux graviers de quartz blanc et de schistes. Végétation faible de petites herbacées.

0 à 30-45 cm : Horizon de remaniement riche en graviers et petits cailloux de schistes et de quartz, avec des fragments calcaires pouvant atteindre 15 cm, surtout vers le bas. Ces débris de croûte soudent des quartz et des éléments schisteux, et présentent souvent des inclusions rougeâtres semblables à celles observées dans le profil précédent. La terre fine représente moins de 50% vers le bas ; couleur brune (7,5 YR 5/4), un peu plus foncée sur les 15 cm supérieurs (horizon de travail). Elle est sableuse, plus riche en limon et argile au-dessous de 10-15 cm. Lamellaire en surface, la structure est polyédrique émousée à grumeleuse (0,2-3 cm) au-dessous, favorisée par l'activité biotique très importante (turricules). Cohésion d'ensemble moyenne (à sec), moyenne à faible des éléments structuraux. Porosité très bonne. Enracinement herbacé assez bon et bien réparti entre les éléments grossiers. Limite très ondulée, souvent soulignée par une pellicule rubanée reposant sur les éléments de croûte sous-jacents.

30-45 à 125 cm : Encroûtement nodulaire et rognons ; avec des feuillettes de croûte de 5-10 cm d'épaisseur et jusqu'à 30-40 cm de large, subhorizontaux ou rarement obliques. L'ensemble apparaît assez dense et fortement induré. Les éléments de croûte les plus superficiels renferment quelques inclusions rougeâtres ; par ailleurs, dans tout l'horizon, ils apparaissent à certains en-

droits très compacts, de couleur homogène brun-rougeâtre clair, et tendent à présenter un faciès de dalle ; les éléments rogneux présentent aussi fréquemment cet aspect. Cet encroûtement s'est développé dans un matériau riche en graviers et cailloux de schistes, parfois de granite (actuellement arénisé). Entre les éléments grossiers, on retrouve une terre fine brune fortement travaillée par la faune, comme dans les profils précédents. Sur les 20 à 30 cm inférieurs, la terre fine est plus rougeâtre (5 YR 6/4-5/4), accompagnée de cailloux et graviers de quartz, mais sans éléments schisteux ; avec des granules, des nodules et quelques rognons calcaires. Ce matériau profond est vraisemblablement issu des zones granitiques rubéfiées de l'amont. Activité biotique importante, favorisant la pénétration de fines racines. Limite ondulée, brutale.

- 125 à 185 cm : Lits calcaires en dalles compactes, subhorizontaux ou légèrement obliques, ondulés, pouvant atteindre 15 cm d'épaisseur et soudant des graviers de quartz. Il est parfois possible d'y reconnaître la structure d'un granite, notamment sur les bordures. La couleur brun-rougeâtre clair est un peu plus soutenue que dans les accumulations situées à la partie supérieure du profil. Entre les feuilletés calcaires, on observe une arène granitique pénétrée par des veines ou des poches terreuses de l'horizon précédent fortement travaillées par la faune. Certaines zones de l'arène sont légèrement rubéfiées. Au sommet, les feuilletés soudent des cailloux de quartz du matériau allochtone supérieur, ils présentent aussi localement des nuances de teinte plus rougeâtre.
- 185 à 250 cm : L'arène devient prépondérante, et elle n'est plus pénétrée que par quelques feuilletés calcaires compacts qui semblent se détacher de l'horizon précédent pour suivre une ancienne ligne de diaclase subhorizontale. L'arène comporte un grand nombre de fines diaclases subverticales qui demeurent fermées et sans dépôt calcaire. L'arène est celle d'un granite à grains très fins : biotite mordorée avec pourtour ferrugineux, feldspaths friables, quartz sain. On observe normalement pas d'effervescence à l'acide dans la masse arénisée, mais elle peut être violente dans des zones de diaclases.

Profil D 27 - Sol peu évolué d'érosion, sur carapace calcaire.

Plat, pente de l'ordre de 1% vers le sud. Pierrosité importante (50 à 60%) : graviers et cailloux anguleux de schistes et de quartz, nombreux débris calcaires. Végétation très faible de petites graminées.

- 0 à 10-30 cm : Horizon de remaniement semblable à celui du profil D41 précédent. On observe des fragments calcaires contenant des inclusions rougeâtres, des cailloux schisteux très irréguliers avec des traces d'encroûtement. Limite très ondulée, fréquemment soulignée par une pellicule rubanée intermittente.
- 10-30 à 130-150 cm : Encroûtement essentiellement feuilleté à la partie supérieure, devenant plutôt granulo-nodulaire, avec rognons calcaires, vers le bas, mais où subsistent encore des éléments de croûtes. Les feuilletés de croûte, subhorizontaux, ont 5 à 10 cm d'épaisseur et peuvent s'étirer sur quelques dizaines de cm, en soudant des graviers et petits cailloux de schistes. Ils sont très durs, avec une couleur d'ensemble brunâtre (7,5 YR 6/4-7/4) à nuances plus blanches ou plus rougeâtres, offrant parfois un faciès se rapprochant de celui d'une dalle compacte. L'encroûtement s'est développé dans un matériau graveleux-caillouteux composé d'éléments anguleux de schistes inférieurs à 10 cm ; quelques-uns sont plus gros vers le bas, mais la texture d'ensemble y devient plutôt sablo-graveleuse. On note aussi un cailloux de granite arénisés avec des revêtements ferrugineux autour des grains. Entre les éléments calcaires et les cailloux, la terre fine sablo-limono-argileuse, de couleur claire (7,5 YR 7/2-7/4), est bien structurée en polyèdres émoussés et grumeaux. Elle représente environ 40% de la masse au-dessous de la zone feuilletée, et elle est très travaillée par l'activité biotique. Limite ondulée, bien marquée dans le profil par un feuillet de dalle ondulé et intermittent, de 5 à 15 cm d'épaisseur, sur plusieurs dizaines de cm de longueur.
- 130-150 à 190-210 cm : Brun-rougeâtre clair (2,5 YR 6/4) ; la teinte claire de la couleur étant due à la présence de calcaire diffus. 30 à 40% de granules et nodules calcaires, avec certains éléments allongés atteignant 10-15 cm, compacts, très durs, et de couleur brun-rougeâtre clair. Limono-argileux avec sables grossiers, et 15 à 20% de petits cailloux de quartz dépassant rarement 10 à 15 cm ; quelques cailloux de granite arénisé, mais pas de schistes. Présence de petits graviers blanchâtres : quelques mm, très friables et non calcaires ; il peut s'agir de grains de feldspaths issus des arènes granitiques. L'ensemble de ce matériau allochtone a vraisemblablement pour origine les zones rubéfiées sur granite situées à l'amont. Cet horizon est très compact. Le matériau est motteux (10 cm), comme ayant subi une forte compression. Certaines zones éloignées des concentrations calcaires et mieux structurées : polyédrique (1 cm), ne réagissent que très faiblement à l'acide. La ségrégation du calcaire est très nette dans cet horizon. Limite ondulée, peu contrastée mais facilement repérable par la disparition des cailloux de quartz blanc.
- 190-210 à 270-290 cm : Aspect d'ensemble assez semblable à celui de l'horizon supérieur, dû à la présence d'une accumulation calcaire d'importance et de forme comparable. Mais elle s'est développée ici dans une roche granitique très diaclasée en place. Présence de nombreux filonnets quartzeux obliques, de l'ordre de 1 cm d'épaisseur, certains sont facilement reconnaissables dès 190 cm. Des fantômes d'arène subsistent plus ou moins distinctement à certains endroits. Mais dans l'ensemble, la roche ne fournit pas une arène fine en raison du grand nombre de filonnets quartzeux qui libèrent un matériau graveleux en se disloquant. Accumulation calcaire granulo-nodulaire, avec des éléments plus grossiers, et aussi des petits lits en dalle compacte dans

les diaclases subhorizontales ; on note également la présence d'amas calcaires dans tout le niveau. Certaines zones de l'arène apparaissent rubéfiées : revêtements ferrugineux autour des grains à partir de la biotite et donnant une couleur rouille à l'ensemble ; ces zones se rétrécissent vers le bas. La tendance à la rubéfaction se manifeste dans toute les diaclases. Vers le haut, une fine pellicule argileuse rouge est disposée sur les faces des diaclases, elle ne réagit pratiquement pas à l'acide ; ailleurs effervescence violente. L'activité biotique apparaît encore importante à cette profondeur, dans des veines et des poches qui se prolongent à partir de l'horizon supérieur et sont remplies d'une terre brune semblable à celle du deuxième horizon : 30 à 130-150 cm. Limite ondulée, brutale.

à 270-280 cm : On tombe sur des lits calcaires compacts profonds imprégnant l'arène granitique. Plusieurs feuillets compacts subhorizontaux se sont constitués comme à la base du profil D 41 précédent.

Profil D 28 - Sol peu évolué d'érosion, sur carapace calcaire.

Surface plane, pente de l'ordre de 1% vers le sud. Débris calcaires, cailloux de schistes et de quartz un peu plus grossiers et nombreux qu'autour du profil D 27. Certains cailloux portent des traces d'encroûtement. On note aussi quelques galets de grès et roches vertes. Végétation très faible de petites herbacées, rares touffes de jujubier en rejets.

0 à 10-25 cm : Horizon de remaniement à débris calcaires, graviers et cailloux anguleux de schistes généralement inférieurs à 5 cm. Terre fine limono-sablo-argileuse, brune (7,5-5 YR 5/4). Comparable à l'horizon superficiel des deux profils précédents D27 et D41. Limite ondulée soulignée pour une pellicule rubanée.

10 ou 25 à 170 cm : Encroûtement feuilleté jusqu'à 70 cm, devenant ensuite nodulaire ; mais des éléments grossiers existent jusqu'à la base. Les feuillets de croûte s'étirent horizontalement et présentent des formes et des dimensions variables : de l'ordre de 4-5 cm d'épaisseur, jusqu'à 30-40 cm de longueur ; ils sont séparés par des zones friables d'épaisseur également très variable. A la partie supérieure, ces éléments de croûte renferment des petites inclusions rougeâtres. Vers 110 cm, un feuillet calcaire compact ondulé, de 4-5 cm d'épaisseur, s'étire horizontalement ; il semble marquer une limite entre les matériaux situés de part et d'autre, et qui se distinguent essentiellement par une très légère différence de teinte de la terre fine : 5 YR 5/4 au-dessus, 5 YR 4/4 au-dessous. L'encroûtement s'est développé dans un matériau riche en graviers et cailloux anguleux de schistes, parfois de quartz, ne dépassant généralement pas 10 cm de large. Dans l'encroûtement granulo-nodulaire, les éléments calcaires représentent au moins 50%. L'ensemble est assez peu cohérent : libération des éléments indurés et de la terre fine limono-sablo-argileuse, en petits polyèdre émoussés de 1 cm où l'on note la présence d'engainements calcaires. Ces derniers existent également dans les encroûtements des autres profils mais ils sont plus ou moins visibles selon la teinte de fond de la terre. Activité biotique bien développée dans la terre fine, favorisant la pénétration des racines jusqu'à la base de l'horizon. Limite irrégulière mais nette.

170 à 280 cm : Niveau à lits calcaires compacts, développés dans un granite. Des zones granitiques arénisées et parfois légèrement rubéfiées, où l'on reconnaît une structure feuilletée horizontale de la roche, ont une épaisseur variable : 10-30 cm, et alternent avec des lits calcaires compacts et très durs de l'ordre de 10 à 20 cm d'épaisseur. Ces lits sont généralement horizontaux ou subhorizontaux, mais présentent parfois des extensions obliques ou verticales. La couleur est brun-rougeâtre clair (5 YR 7/3 - 7,5 Y 7/2). A l'intérieur de ces lits, on reconnaît les grains de quartz issus du granite soudés par le calcaire. La limite avec l'arène est nette ; cependant, on peut souvent observer une imprégnation progressive de l'arène par le calcaire sur 0,5 à 1 cm en bordure de la dalle. Ces lits compacts profonds se sont établis dans des zones de diaclases subhorizontales. En outre, des zones de galeries favorisent la pénétration de la terre fine à partir de la partie supérieure. Cette terre apparaît fortement travaillée par la faune (turricules) ; elle est parfois située dans des cavités ou dépressions qui entaillent les bords des concentrations calcaires compactes. Réaction à l'acide nulle au milieu des zones d'arène ; elle est irrégulière ailleurs, mais devient plus importante à l'approche d'une dalle.

Profil D 29 - Sol peu évolué d'érosion, sur carapace calcaire.

Surface plane à pente faible : 1% vers le sud. Nombreux débris de croûte calcaire et cailloux anguleux de schistes. Semblable à la surface entourant le profil D 28.

0 à 30-50 cm : Horizon de remaniement riche en débris calcaires et cailloux anguleux de schistes, de taille variable jusqu'à 10 cm. Semblable à l'horizon superficiel du profil D 28 précédent.

30-50 à 180 cm : Encroûtement à structure feuilletée, plus nette à la partie supérieure. Feuillets de croûte ondulés et irréguliers, avec des granules, nodules et rognons. Entre les éléments calcaires, terre fine friable, bien travaillée par la faune. L'encroûtement s'est développé dans un matériau essentiellement gravo-caillouteux à éléments de schistes anguleux dont la taille ne dépasse pas 10-15 cm. Bien que la structure feuilletée de l'encroûtement semble plus nette dans ce profil, on peut rapprocher cet horizon de l'horizon 10-25 à 70 cm du profil D 28. Limite ondulée irrégulièrement tranchée.

180 à 280 cm : Accumulation calcaire en lits compacts de forte épaisseur jusqu'à 25-30 cm, entre lesquels les zones terreuses et granulaires étroites (5-10 cm) apparaissent encore friables. Ces lits irréguliers et intermittents soudent des sables et graviers, parfois des cailloux, et présentent un aspect conglomératique. La couleur est brun clair, plus ou moins grisâtre selon l'importance des grains de sables et des graviers emprisonnés dans le ciment calcaire. A la partie supérieure, des éléments compacts comparables, mais moins épais, remontent jusqu'à 160 cm et atténuent la distinction de la limite avec le niveau supérieur. Le matériau allochtone est plus grossier et présente un caractère plus nettement alluvial que dans l'horizon précédent. Les éléments schisteux anguleux constituent encore l'essentiel des cailloux, mais ils sont plus usés et émoussés ; par ailleurs, on note l'existence de nombreux graviers et galets caractéristiques des alluvions de l'oued Tensift. Dans un puits situé à 150 m à l'est du profil D 29, le matériau alluvial grossier, encroûté en lits compacts irréguliers, s'observe jusqu'à 8 m de profondeur. Au-delà, les lits calcaires se développent dans un granite irrégulièrement arénisé. Ces lits comparables à ceux observés à la base des profils précédents : D28, D27 et D41, sont très durs et ont dû être attaqués à la dynamite pour creuser le puits.

LA BASSE TERRASSE ALLUVIALE

Profil D 35 - Sol peu évolué d'apport, hydromorphe et faiblement salé.

Zone plane, irriguée, sur la basse terrasse alluviale qui surplombe de 5 m le lit de divagation actuel de l'oued Tensift. Surface perturbée par le piétinement des animaux, avec fines craquelures. Plantation d'oliviers, avec strate herbacée essentiellement composée de *Cynodon dactylon*. Les séguias sont bordées de quelques *Sueda fruticosa*.

0 à 13 cm : Horizon de travail, calcaire. Brun (10 YR 5/3), paraissant humifère. Limoneux, assez argileux, avec quelques graviers et petits cailloux de débris calcaires ou de schistes. Humide, se desséchant à la partie supérieure. Structure mottueuse irrégulière bien marquée, souvent à tendance prismatique (3 à 10 cm de large) ; parfois polyédrique irrégulière (0,5 à 3-4 cm), surtout à la base ou entre les mottes prismatiques. Cohésion d'ensemble assez faible, moyenne dans les mottes. Porosité lacunaire et activité biotique bonnes. Enracinement du chiendent bon mais irrégulièrement réparti, plus abondant dans les zones finement structurées. Limite régulière, peu tranchée.

13 à 40-45 cm : Bien humide. Calcaire. Brun un peu plus clair (10 YR 5/3-6/3). Limoneux, un peu plus argileux. Structure assez bien développée, polyédrique irrégulière (3 à 6-7 cm) ; à sous-structure polyédrique (1 cm), constituant parfois la structure principale en éléments un peu plus fins (0,5 cm). Cohésion faible, difficile à apprécier en raison de l'état d'humidité. Porosité lacunaire et tubulaire bonnes. Activité biotique très bonne. Enracinement herbacé moyen, assez bien réparti. Limite régulière, assez nette sur 2-3 cm.

40-45 à 105 cm : Très humide. Calcaire. Brun-grisâtre (10 YR 5/2-6/3). Limoneux assez sableux ; avec quelques graviers et petits cailloux de schistes fins. Présence de petites taches rouille (1 à 3 mm), autour de certains pores ou cavités. Structure essentiellement massive ; mais elle apparaît assez bien développée, polyédrique irrégulière (1 cm), dans certaines zones bien travaillées par la faune. Porosité et activité biotique bonnes. Enracinement devenant faible vers le bas. Limite régulière assez nette sur 2-3 cm.

105 à 120 cm : Très humide. Calcaire. Brun-rougeâtre (5 YR 6/3 à sec). Limoneux finement sableux. Structure massive. Cohésion faible à l'état humide, mais elle est déjà assez forte sur les éléments déblayés en cours de dessiccation. Ce niveau paraît assez riche en calcaire diffus, avec engainements et amas calcaires. Porosité essentiellement tubulaire, plus faible. Activité biotique moyenne à médiocre. Enracinement très faible des herbacées, quelques racines ligneuses horizontales.

CONCLUSIONS

Située sur roches granitiques, la toposéquence 1 se compose de trois segments morpho-pédogénétiques bien distincts. Ce sont de l'amont vers l'aval :

- une zone d'érosion à topographie différenciée, portant des sols rouges méditerranéens plus ou moins érodés et des sols d'érosion ;
- un glacis de raccordement encroûté à carapace calcaire (G3) ;
- enfin, la basse terrasse d'alluvions fines de l'oued Tensift (T1).

Les observations réalisées sur ces trois segments permettent de tirer plusieurs conclusions concernant l'évolution spatio-temporelle de l'ensemble.

La présence d'un matériau d'épandage constitué de cailloux de quartz associés à une matrice rubéfiée, à la base des profils D41 et D27, révèle que des sols rouges existaient dans la région avant la formation du glacis G3 et son encroûtement. Dans les carrières de granite situées en zone rubéfiée, on observe que la rubéfaction peut se développer jusqu'à plusieurs mètres de profondeur en

bordure des diaclases verticales, à condition qu'il n'y ait pas de piégeage de calcaire. En présence de dépôts calcaires, le développement de la rubéfaction de l'arène ne paraît pas possible. L'existence de traces de rubéfaction en bordure des diaclases verticales, dans plusieurs profils de l'aval encroûté, pourrait donc indiquer que ces profils ont appartenu à une ancienne surface rubéfiée, s'étendant davantage vers l'aval que la zone à sols rouges actuelle.

La zone d'érosion rubéfiée et le glacis encroûté paraissent avoir connu une évolution simultanée. L'existence de nombreux filons de quartz souvent grossiers (plus de 1 m de large pour le filon constituant l'épaulement en amont de D38) et de roches résistantes : granulites, est à l'origine du paysage mollement ondulé qui caractérise la *topographie d'érosion différenciée sur granite*, vers l'amont. Le passage se fait progressivement sans rupture de pente vers le glacis encroûté.

Les matériaux arrachés vers l'amont ne représentent qu'une très faible partie du remblaiement qui constitue l'aval du glacis G3. Ce remblaiement est essentiellement constitué de *débris schisteux issus des Djebilet* situés vers le nord, au-delà de la zone granitique. Ils ont très certainement été mis en place par l'oued El Defla (encore temporairement actif), qui délimite l'interfluve actuel vers l'est. Après le comblement de l'ancien thalweg au confluent avec l'oued Tensift, par des alluvions originaires de l'Atlas et des Djebilet apportées par les deux oueds, seuls les apports schisteux de l'oued El Defla se sont poursuivis dans cette région. Il semble que dans sa zone de confluence, l'oued se soit alors étalé en érodant et en remblayant l'aval du glacis d'abrasion sur granite. Cet épandage d'alluvions constituées de cailloux anguleux schisteux, apparaît aussi sur l'aval de l'interfluve encroûté situé à l'est de l'oued. L'érosion, à l'amont, et le remblaiement, vers l'aval, devaient aboutir à l'établissement d'un glacis continu reliant les reliefs résistants des Djebilet à la vallée de l'oued Tensift.

Ce glacis G3 ne présente pas partout les mêmes caractères. Le remblaiement semble souvent inexistant ou très limité. Ainsi la tranchée du chemin de fer, située à l'ouest sur l'interfluve voisin de celui de la toposéquence, révèle que le glacis n'y a été que très faiblement et irrégulièrement remblayé, même à proximité de l'oued Tensift : un faible recouvrement de cailloux schisteux ne dépasse pas 50 cm d'épaisseur par places sur le granite. L'encroûtement s'est développé d'une façon continue dans le granite et son recouvrement schisteux.

L'évolution pédologique qui s'est ensuite manifestée souligne l'importance des facteurs stationnels. Il n'est pas permis de dire quelle fut la part d'héritage d'une rubéfaction plus ancienne, dans la zone à topographie différenciée de l'amont. Compte tenu de l'importance de l'érosion et de la masse de matériaux transportés dans toute la région, on peut penser que les anciens sols avaient été en grande partie érodés. *Les sols rouges se sont développés, ou maintenus, dans les zones où le drainage superficiel est bien assuré* ; alors qu'en profondeur, le calcaire mal évacué constitue des accumulations dans des diaclases et des poches de piégeage.

La remontée du niveau de base local sous l'effet du remblaiement de la vallée de l'oued Tensift, au moins sur une épaisseur de 8 m, a entraîné de mauvaises conditions de drainage dans la zone du glacis y favorisant l'accumulation du calcaire. Les encroûtements se sont développés avec plus de puissance vers l'aval, où apparaissent également des dalles de nappe en profondeur sous forme de lits calcaires compacts.

Le passage sol rouge - encroûtement, observé dans la tranchée D38, s'effectue rapidement et présente les caractères de transition suivants :

- l'accumulation calcaire se développe à la base du sol rouge (pseudomycéliums, amas). Elle augmente d'intensité et d'épaisseur vers l'aval pour passer à l'encroûtement qui occupe le profil jusqu'au sommet ;

- le sol rouge diminue d'épaisseur, se biseaute et disparaît assez brutalement (D38 b), par remontée de sa limite inférieure sous l'effet de l'épaississement vers le haut de l'accumulation calcaire. La couleur, qui à l'amont reste rouge jusqu'à la base, même dans le niveau d'accumulation calcaire, devient brun-rougeâtre dans la zone de contact sol rouge - encroûtement, puis brune dans l'encroûtement ;

- l'attapulгите constitue l'essentiel des argiles dans l'encroûtement ; dans la zone de transition, elle se retrouve à la base du sol rouge en proportion décroissante vers l'amont, où elle accompagne le calcaire. Mais ce type d'argile disparaît rapidement, au profit de la montmorillonite et de l'illite dans le sol rouge. L'attapulгите n'existe pas dans les sols de la zone rubéfiée, pas même dans les horizons ou les poches d'accumulation calcaire.

Il est à noter que l'accumulation calcaire au contact de l'arène dans le profil D38 c, est beaucoup plus importante que celle correspondant au même niveau dans le profil D24. On peut y voir un effet de la proximité de la zone rubéfiée aval, où la présence d'un substratum dur aurait favorisé la circulation latérale superficielle des solutions du sol, nourries par les hydrolyses accompagnant le développement des sols rouges. A la sortie hors du domaine rubéfié, au contact du domaine encroûté caractérisé par une modification des conditions physico-chimiques, l'accumulation du calcaire bien alimentée par l'afflux des solutions de l'amont a pu se développer de façon sensiblement plus importante que vers l'aval, au moins au contact de l'arène. L'érosion qui a sévi ne permet malheureusement pas d'établir une comparaison sur les niveaux supérieurs.

L'arène apparaît toujours sur plusieurs mètres, sous les encroûtements. La roche saine existe souvent à la base des sols rouges. On peut alors se demander si l'arénisation était déjà aussi bien développée avant la formation de l'encroûtement. Trois observations permettent de penser qu'elle ne l'était pas :

- la brutalité du passage de la roche saine sous le sol rouge à l'arène sous encroûtement, dans la zone de transition (profils D38 a, b et c) ;
- l'existence d'une croûte lamellaire calcaire au-dessus des îlots d'arène (profils D24-25), indique que ceux-ci étaient encore cohérents et non poreux au moment de la mise en place de cette croûte. Cependant, il faut admettre que de simples variations brutales de la texture peuvent aussi favoriser l'accumulation du calcaire, comme cela s'observe dans les horizons de remaniement ;
- l'existence des dalles de nappe qui se sont installées dans des zones de diaclases du granite, à la base des profils D41, D27 et D28. Or, nous avons constaté que dans les alluvions, les lits ou lentilles sableuses sont toujours, et en totalité, cimentés par le calcaire pour constituer des ensembles gréseux très durs. Si le granite avait été arénisé en une masse sableuse, la cimentation par le calcaire ne se serait certainement pas établie selon des lits qui suivent les anciennes diaclases horizontales ou subhorizontales, mais plutôt sur l'ensemble de la masse. On peut supposer que le dépôt calcaire a débuté dans les diaclases occupées par de l'eau libre, progressant ensuite de part et d'autre en dissociant les grains de la roche.

Les zones d'encroûtement, qui correspondent à des milieux confinants où se concentrent les solutions chargées de sels divers, semblent bien favoriser la désagrégation du granite en arène.

L'érosion, qui s'est ensuite développée d'autant plus facilement que le niveau général du réseau hydrographique s'était abaissé, a profondément transformé les sols :

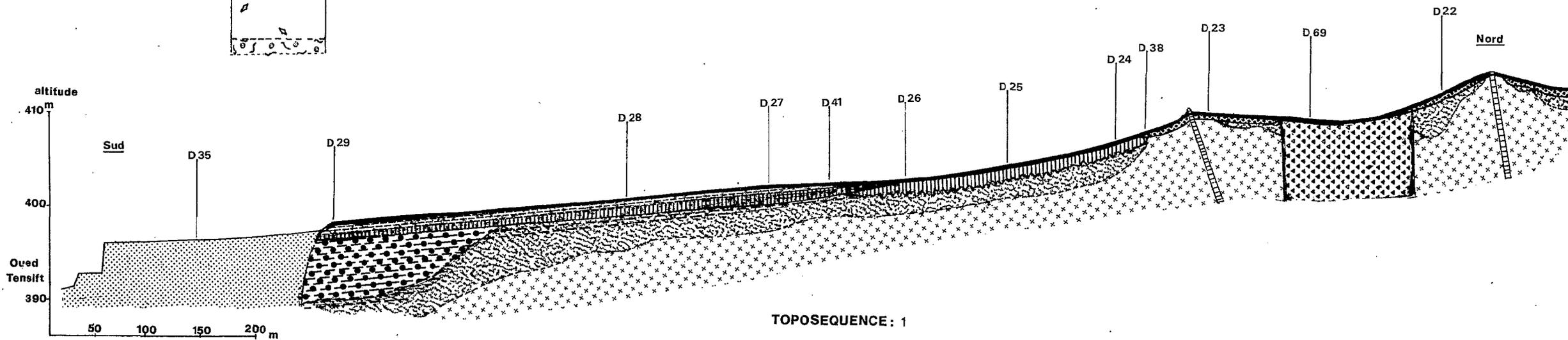
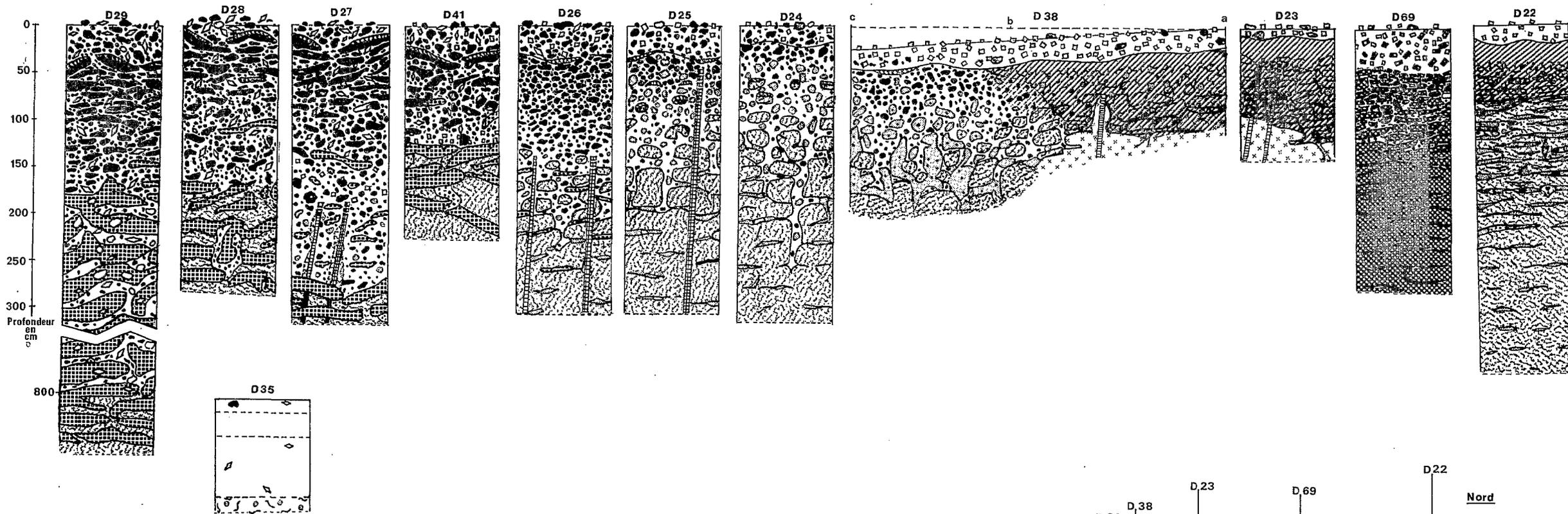
- les sols rouges de la zone rubéfiée ne subsistent que par places et sur une faible épaisseur sous la couverture remaniée : ce sont des *sols rouges érodés remaniés*. Mais souvent l'ensemble du profil de sol rouge a disparu et l'horizon remanié repose directement sur la roche-mère, il s'agit alors de *sols peu évolués d'érosion* ;
- sur le glacis encroûté, il n'existe pas d'horizons supérieurs appauvris en calcaire, et le remaniement a atteint la partie superficielle de l'encroûtement. Les processus essentiels qui ont été à l'origine des encroûtements ne sont plus actifs ; les encroûtements peuvent être considérés comme matériau originel des sols actuels. Sur les encroûtements feuilletés existent des *sols peu évolués d'érosion*, alors que sur les encroûtements nodulaires, où l'approfondissement du profil se fait plus aisément et apparaît toujours associé à une forte activité biotique, se développent des *sols bruns subtropicaux*.

Les zones rubéfiées et encroûtées actuelles sont caractérisées par l'existence d'un horizon de remaniement superficiel dont l'épaisseur varie généralement de 20 à 40 cm. *L'érosion a favorisé la concentration relative des éléments grossiers dans l'horizon de remaniement* : cailloux de quartz sur les zones rubéfiées, cailloux de quartz et débris calcaires sur les zones d'encroûtement sur arène, cailloux schisteux et débris calcaires dans les zones d'encroûtement sur remblaiement.

Après le remaniement, *l'évolution des sols paraît avoir été faible*. Elle ne se manifeste dans certains profils que par une redistribution du calcaire sous forme de *pseudomycéliums*, ou par une *petite croûte lamellaire* soulignant la limite de l'horizon remanié au-dessus de l'encroûtement. Ces caractères se retrouvent sur toutes les formations les plus anciennes, remaniées, de la région.

Les alluvions fines de la *basse terrasse (T1)* de l'oued Tensift se sont mises en place après un abaissement du lit de l'oued, au moins jusqu'à un niveau comparable à celui qu'il occupait au même endroit avant l'établissement du glacis G3. Cette terrasse récente est entaillée par le lit de divagation actuel de l'oued. *Les alluvions sont faiblement évoluées* et sont essentiellement marquées par le développement de l'*alcalisation*, de la *salure*, ou de l'*hydromorphie*, à des degrés variables selon les endroits. La présence de la nappe phréatique à faible profondeur est à l'origine de ces phénomènes.

L'observation de nombreux éléments coprogènes, particulièrement en présence d'accumulations calcaires, mérite enfin d'être soulignée. Ces éléments témoignent d'une activité biologique relativement bien développée qui semble avoir joué un rôle important dans le processus d'approfondissement des sols sur granite. A l'exception du profil D35 sur la basse terrasse T1, où l'activité biologique dans le sol irrigué est tout à fait actuelle, les coprolithes sont ailleurs plus ou moins enrobés de calcaire et paraissent anciens ; aucun organisme vivant susceptible d'en être à l'origine n'a pu être observé dans ces sols.



TOPOSEQUENCE: 1

TOPOSEQUENCE 2

Les profils sont établis en avant d'une petite colline isolée : "Tabouchent", qui culmine à 573 m et domine un vaste glacis encroûté (photo 2, pl. 1). Cette colline constitue un relief vigoureux mais de faible importance puisque le diamètre de la circonférence à la base, situé autour de la côte 420, est de l'ordre de 1 km. Pourtant, la ligne de crête disposée suivant un arc de cercle ouvert vers le sud-ouest, permet le fonctionnement d'un petit bassin de réception qui est à l'origine d'un glacis d'érosion et d'épandage en forme de cône, dans cette même direction, au pied de la colline. L'ensemble peut être considéré comme un modèle réduit d'un système d'écoulement de montagne : bassin de réception, canal d'écoulement, cône de déjection.

La colline est formée de schistes primaires à faciès variable, mais le plus souvent quartzeux et résistant bien à l'érosion. Sur les pentes fortes, la surface est essentiellement constituée d'affleurements rocheux, avec un pavage superficiel et irrégulier de cailloux anguleux. Sur certains replats, et particulièrement sur les pentes inférieures, le recouvrement caillouteux peut être d'épaisseur plus importante et semble assez bien stabilisé dans les conditions actuelles. En avant de la colline, se sont mis en place des dépôts à forte pierrosité de surface qui appartiennent à deux générations d'épandages (G2 et G3).

ETUDE DES PROFILS

Profil D 32 - Sol peu évolué d'érosion, sur schistes.

Pente inférieure (15%) sur la colline, au voisinage d'un affleurement schisteux. Pierrosité importante, de l'ordre de 80% : graviers et cailloux de schistes anguleux jusqu'à 20 cm de large, quelques quartz. Végétation très faible représentée par quelques petites herbacées.

- 0 à 15 cm : Humide. Brun-rougeâtre (5 YR 5/3-5/4). Non calcaire. Limono-sableux avec 40 à 50% de graviers et cailloux anguleux. Surface battue à structure lamellaire. Structure irrégulièrement développée, polyédrique (1-3 cm), entre les cailloux. Cohésion d'ensemble faible, un peu plus forte des éléments structuraux. Porosité lacunaire moyenne, médiocre. Activité biotique assez bonne. Enracinement herbacé bien représenté dans les zones terreuses. Limite régulière peu tranchée.
- 15 à 30 cm : Humide. Un peu plus rougeâtre (5 YR 5/4). Non calcaire. Texture de la terre fine un peu plus argileuse, avec 30 à 40% d'éléments grossiers. Entre les cailloux, structure bien développée, polyédrique irrégulière (1 cm). Cohésion d'ensemble assez faible, un peu plus forte des éléments structuraux. Porosité et activité biotique bonnes. Enracinement herbacé encore assez bien représenté. Limite ondulée, sur 3-4 cm.
- 30 à 35-55 cm : Horizon intermittent semblable au précédent, mais avec présence de pseudomycéliums nets. Structure bien développée, polyédrique irrégulière (1 cm, parfois jusqu'à 3-4 cm). Porosité et activité biotique bonnes. Enracinement très faible. Limite ondulée brutale.
- 35-55 à 100 cm : Schiste en place, irrégulièrement altéré, à schistosité fine oblique. D'un côté du profil, on observe la courbure des lits dans le sens de la pente au voisinage de l'horizon supérieur, en même temps qu'ils se fragmentent en éléments isolés. Couleur verdâtre sombre, à toucher gras dans les zones les plus altérées. La partie supérieure est fortement imprégnée de calcaire entre les lits et l'accumulation calcaire s'observe parfois jusqu'à la base. Au-dessus de 60 cm, le schiste est bien pénétré par des zones terreuses à partir de l'horizon supérieur ; ces zones étroites, le plus souvent associées à l'accumulation calcaire, ont été fortement travaillées par la faune.

Profil C 92 - Sol châtain-rouge subtropical, sur épandage grossier à matrice fine rouge, non calcaire.

Sommet de pente (10%) sur le cône d'épandage. Forte pierrosité de surface : graviers et cailloux anguleux de schistes jusqu'à 30 cm. Très faible végétation de petites herbacées : *Stipa retorta*, *Carlina racemosa*.

- 0 à 20 cm : Non calcaire. Graviers et cailloux anguleux (jusqu'à 15 cm) très abondants, avec terre fine gris-brunâtre (7,5 YR 6/2-5/2), sablo-limoneuse (à sable grossier). Structure polyédrique bien développée : inférieure à 0,5 cm. Cohésion assez faible. Porosité lacunaire moyenne et activité biotique bonnes. Enracinement herbacé essentiellement limité aux 10 cm supérieurs. Limite régulière sur 4-5 cm, par accroissement de la teinte rougeâtre.
- 20 à 75 cm : Non calcaire. Graviers et cailloux schisteux (jusqu'à 30-40 cm) très abondants ; terre fine brun-rougeâtre (2,5 YR 4/4), sensiblement plus argileuse que précédemment. Structure bien développée, polyédrique anguleuse (< 0,5 cm), à facettes brillantes, entre les graviers. Cohésion d'ensemble moyenne, irrégulière des polyèdres. Porosité lacunaire moyenne et activité biotique bonnes. Enracinement très faible. Limite nette, légèrement ondulée.
- 75 à 140 cm : Sablo-caillouteux, rouge (2,5 YR 4/4-4/6). A pseudomycéliums calcaires formant un fin réseau particulièrement net sous les cailloux. Structure à tendance monoparticulaire. Cohésion d'ensemble assez faible. Porosité lacunaire moyenne, très bonne. On note encore quelques racines. Activité biotique réduite.

Profil C 93 - Sol châtain-rouge subtropical, sur épandage grossier à matrice fine rouge, non calcaire.

A l'aval du profil C 92. Surface semblable à forte pierrosité. Cailloux anguleux de schistes jusqu'à 30 cm.

Le sol est situé sur un matériau gravelo-caillouteux, à terre fine sablo-argileuse, et présente un profil comparable au profil C 92. Un réseau de pseudomycéliums assez dense apparaît à 75 cm et s'accompagne même de petits amas sous les cailloux.

Profil C 94 - Sol châtain-rouge subtropical, sur épandage grossier à matrice fine rouge, non calcaire.

A l'aval du profil C 93 ; surface comparable à forte pierrosité, culture d'orge jeune.

- 0 à 20 cm : Non calcaire. Brun clair (7,5 YR 6/4-7/4). Gravier et cailloux anguleux de schistes abondants ; terre fine sablo-limoneuse en proportion plus importante vers le bas. Structure moyennement et irrégulièrement développée, mottes irrégulières jusqu'à 5 cm, avec polyèdres $\leq 0,5$ cm ; à la partie supérieure la culture détruit la structure. Cohésion d'ensemble moyenne, assez faible des mottes. Porosité lacunaire moyenne et irrégulière, réduite dans les mottes. Activité biotique moyenne et mal répartie. Enracinement de l'orge médiocre. Limite régulière assez bien tranchée sur 4-5 cm.
- 20 à 55 cm : Fortement caillouteux à gros éléments anguleux de schistes et quartzite jusqu'à 30-40 cm ; d'un côté du profil un élément quartzitique atteint 50 cm de longueur. Certains cailloux de schiste ardoisier ou chloriteux apparaissent assez fragiles. Entre les éléments grossiers qui constituent un empilement compact, terre fine rouge (2,5 YR 5/6) argilo-sableuse, bien structurée en petits polyèdres anguleux $\leq 0,5$ cm, à facettes brillantes. Cohésion d'ensemble faible, moyenne des éléments structuraux. Porosité lacunaire moyenne et activité biotique bonnes, dans les zones terreuses. Enracinement très médiocre à la partie supérieure, très faible au dessous.
- 50 à 110 ou 155 cm : Matériau identique, mais apparition de fins pseudomycéliums représentés par quelques petits filaments très fins à partir de 50 cm, devenant plus épais et nombreux vers le bas, tout en restant toujours d'importance assez réduite. Limite nette très ondulée.
- 110 ou 155 à 165 cm : Schiste verdâtre, à fine schistosité subverticale, assez altéré, à toucher gras. Imprégnation calcaire entre les lits, mais les parois sont également fréquemment recouvertes d'une pellicule rouge argileuse, avec de fins amas. Il s'agit d'un dépôt alimenté par la terre rouge de l'horizon précédent. A la base, cette pénétration est beaucoup plus discrète mais pas totalement absente.

A 20 m à l'est de ce profil, on observe un affleurement de schiste rasant très localisé à la surface.

Profil C 96 - Sol brun subtropical, sur un ancien encroûtement érodé d'épandage caillouteux.

Situé à 10 m à l'est du profil C 94. Pente de 8% ; nombreux cailloux de schistes présentant des traces d'encroûtement. Cette zone de teinte blanchâtre n'a qu'une extension très limitée au milieu de l'épandage caillouteux rougeâtre, sur lequel sont situés les profils voisins. Culture d'orge jeune.

- 0 à 20 cm : Horizon de remaniement. Brun-jaunâtre (10 YR 6/4-5/4). Sablo-limoneux avec nombreux graviers et cailloux anguleux de schistes (jusqu'à 10-15 cm de large) souvent bien enrobés de calcaire, et surtout concentrés à la surface. Fins pseudomycéliums à peine visibles à la base. Structure irrégulièrement développée à tendance polyédrique (≤ 5 cm). Cohésion faible jusqu'à 10 cm, un peu plus importante au-dessous. Porosité lacunaire moyenne et activité biotique bonnes. Enracinement de l'orge assez bon. Limite irrégulière du fait de la présence d'éléments calcaires à différents niveaux dans cet horizon.
- 20 à 75 cm : Essentiellement gravelo-caillouteux à éléments anguleux de schistes généralement inférieurs à 5 cm. Encroûtement calcaire granulo-nodulaire peu dense et assez friable, à tendance tuffeuse. Les éléments calcaires soudent de nombreux sables et graviers ; ils sont faiblement et irrégulièrement indurés et apparaissent relativement fragiles. Entre les éléments grossiers, terre brune sensiblement plus argileuse que dans l'horizon précédent, bien travaillée par la faune et assez bien explorée par les racines herbacées qui diminuent avec la profondeur.
- 75 à 150 cm : Niveau gravelo-caillouteux à éléments plus grossiers : jusqu'à 10-15 cm. Suivant la nature du schiste, certains cailloux peuvent être plus ou moins altérés. L'encroûtement devient moins dense, et de larges zones du matériau sont totalement friables. Par endroits, l'accumulation calcaire constitue des éléments assez gros : 5-10 cm.
- 150 à 200 cm : L'encroûtement disparaît, ne constituant plus que quelques plages à ciment calcaire irrégulièrement induré. Le matériau grossier gravelo-caillouteux, avec des lits sablo-caillouteux, est faiblement calcaire. Des revêtements calcaires sont nets autour des cailloux, surtout à la face inférieure. Mais des lits ou des poches de terre fine rouge sont dépourvus de calcaire.

Profil C 95 - Sol châtain-rouge subtropical, sur épandage grossier à matrice fine rouge, non calcaire.

Milieu de pente : 7%, sur le cône d'épandage, 100 m à l'aval de C 94. Pierrosité très importante constituée d'éléments schisteux anguleux. Culture d'orge jeune.

Profil développé sur un matériau gravelo-caillouteux, à terre fine argilo-sableuse rouge (2,5 YR 5/6), avec une bonne structure polyédrique (< 0,5 cm), parfois cubique, entre les cailloux. Un réseau de fins pseudomycéliums apparaît à 85 cm et devient plus dense vers le bas.

Profil C 97 - Sol châtain-rouge subtropical, sur épandage grossier, à matrice fine rouge, non calcaire, recouvrant un encroûtement plus ancien.

Pente inférieure du cône caillouteux 2-3%. Faible végétation herbacée, avec quelques rejets de jujubier.

Profil semblable aux profils C 94 et C 95. Mais il commence à réagir à l'acide dès 45-50 cm et repose brutalement, à 65 cm, sur un encroûtement calcaire plus ancien. Il s'agit d'un encroûtement granulo-nodulaire à zones friables, développé dans un matériau caillouteux d'un côté du profil, et dans un schiste en place de l'autre côté. Cet encroûtement se retrouve dans les profils suivants ; il appartient au grand glacis encroûté qui s'étend à l'aval vers l'oued Tensift. Vers l'amont, il correspond vraisemblablement à l'encroûtement érodé du profil C 96.

Profil C 98 - Sol châtain-rouge subtropical, sur un épandage grossier à matrice rouge, peu épais, recouvrant un schiste encroûté.

Pente faible de l'ordre de 2-3%. Forte pierrosité à cailloux anguleux de schistes ne dépassant guère 5 cm. Chaume d'orge.

0 à 15 cm : Non calcaire. Humide. Brun (7,5 YR 5/4). Sableux à sablo-limoneux, avec graviers et cailloux schisteux moins nombreux vers le bas (20%). Structure difficile à apprécier à l'état humide : tendance particulière, avec petites mottes pouvant atteindre 3-4 cm. Cohésion faible. Porosité lacunaire fine, moyenne dans les mottes, plus large et meilleure ailleurs. Activité biotique irrégulière, très bonne par endroits. Enracinement herbacé médiocre, mais bien réparti. Limite régulière sur 5-7 cm.

15 à 30 cm : Rouge (2,5 YR 4/6-5/6). Non calcaire, sauf à la base où apparaît une réaction à l'acide. Sablo-argileux avec graviers et cailloux schisteux irrégulièrement répartis. Structure moyennement développée, polyédrique irrégulière (< 1 cm). Cohésion d'ensemble assez faible, moyenne des éléments structuraux. Porosité lacunaire moyenne et activité biotique bonnes. Enracinement faible. Sur les 5 à 10 cm inférieurs, des fragments calcaires résiduels se mélangent irrégulièrement avec le matériau rouge ; ils sont assez fragiles et irrégulièrement pénétrés par la terre rouge. Limite ondulée, tranchée.

vers 30 cm : Croûte lamellaire de 1 cm d'épaisseur recouvrant un schiste quartzeux à schistosité fine d'orientation oblique. Les dépôts calcaires apparaissent en abondance entre les feuillets et pénètrent dans cette roche en profondeur.

Profil C 99 - Sol brun subtropical, sur encroûtement nodulaire érodé remanié, avec faible enrichissement superficiel par l'épandage grossier à matrice rouge plus récent.

Pente faible : 2%, vers le sud-ouest. Pierrosité assez forte, constituée d'éléments calcaires résiduels, de fragments anguleux de schistes quartzeux : 2-10 cm, quelques-uns jusqu'à 20 cm. Faible végétation herbacée basse.

0 à 10 cm : Humide. Brun (7,5 YR 5/4). Sablo-limono-graveleux avec débris calcaires abondants (40%). Structure irrégulière particulière, ou motteuse surtout à la base. Cohésion d'ensemble faible, un peu plus forte des mottes. Porosité lacunaire fine, assez bonne. Activité biotique bonne. Enracinement herbacé moyen et irrégulier. Limite de culture légèrement ondulée, peu tranchée sur 2-3 cm.

10-20 cm : Brun-rougeâtre (5 YR 5/4). Sablo-argileux à débris calcaires plus nombreux vers le bas. Structure assez bien développée, polyédrique irrégulière (< 2 cm). Cohésion moyenne. Porosité lacunaire moyenne, bonne. Activité biotique bonne. Enracinement herbacé faible et irrégulier. Limite ondulée, tranchée.

20 à 120 cm : Encroûtement granulo-nodulaire rognoneux avec matrice de terre fine jaune-rougeâtre (5 YR 6/6), sablo-limoneuse, à structure polyédrique émoussée (0,5 cm), bien développée. Activité biotique bonne. Les éléments calcaires sont indurés, plus ou moins friables en bordure. Les rognons sont brun-rougeâtre avec des taches plus blanchâtres ou rougeâtres et soudent des sables et graviers de schistes. Rares au-dessus de 70 cm de profondeur, les cailloux anguleux schisteux deviennent plus nombreux vers le bas.

Malgré la présence d'éléments calcaires, la réaction à l'acide est faible et sporadique dans la terre fine des 2 premiers horizons. Dans ce profil, le matériau d'épandage caillouteux, à matrice rubéfiée, n'apparaît plus qu'en mélange dans l'horizon de remaniement de 0 à 20 cm, au-dessus de l'encroûtement plus ancien. Il disparaît vers l'aval.

Profil D0 - Sol peu évolué d'érosion, sur encroûtement nodulaire érodé remanié.

Pente très faible vers le sud-ouest (1%). Nombreux éléments calcaires résiduels (1 à 10 cm), avec des cailloux anguleux de schistes qui présentent souvent des traces d'encroûtement. Faible végétation herbacée basse.

0 à 10 cm : Horizon de remaniement. Brun (7,5 YR 5/4). Sablo-limoneux, avec environ 50% d'éléments grossiers calcaires et schisteux. Structure irrégulièrement développée, massive ou polyédrique (1 cm). Cohésion faible. Porosité réduite. Activité biotique faible, meilleure vers le bas. Enracinement irrégulier des herbacées. Limite ondulée, irrégulièrement tranchée. D'un côté du profil, le remaniement descend jusqu'à 40 cm et se distingue de l'encroûtement en place essentiellement par une plus forte proportion de terre fine.

10 à 160 cm : Encroûtement granulo-nodulaire avec rognons jusqu'à 10 cm de large. Terre fine brun clair (7,5 YR 6/4), sablo-limono-argileuse, avec quelques cailloux schisteux. A partir de 110-120 cm, l'encroûtement devient moins dense, mais on y observe encore des éléments calcaires de 5-10 cm, durs et compacts, qui soudent des graviers et petits cailloux. Structure particulière ou polyédrique (1 cm) à cohésion assez faible. L'enracinement encore bien représenté au sommet devient très faible ensuite. Limite très progressive et irrégulière.

160 à 210 cm : Matériau sablo-gravelo-caillouteux, à éléments anguleux de schistes. On remarque deux cailloux de granite arénisés, non rubéfiés, ne présentant qu'une légère libération ferrugineuse à la périphérie. Quelques petits graviers blancs très friables sont probablement d'anciens grains de feldspaths. Accumulation calcaire sous forme de rognons dispersés soudant des sables et graviers, avec pseudomycéliums et petits amas dans la terre fine, et dépôts plus nets à la face inférieure des cailloux. Il ne s'agit plus ici d'un encroûtement.

210 à 340 cm : Matériau identique, mais le calcaire devient plus discret et ne constitue plus d'éléments indurés. Il existe sous forme de fins amas et pseudomycéliums, avec légers dépôts à la face inférieure des cailloux. La cohésion d'ensemble est assez faible. La présence de la terre fine bien travaillée par la faune depuis l'horizon supérieur est encore bien visible jusqu'à la base ; elle s'insère même en fines veines dans les cailloux granitiques arénisés.

CONCLUSIONS

Trois segments différents constituent cette toposéquence de l'amont vers l'aval :

- la colline schisteuse ;
- le cône d'épandage caillouteux (G2) ;
- l'amont du glacis encroûté (G3).

L'érosion est vive sur les pentes fortes de la colline schisteuse, et les affleurements rocheux occupent l'essentiel de la surface. Par places, un matériau de remaniement grossier recouvre les schistes. Les *Lithosols* et les *sols régosoliques* sont généralement dépourvus de calcaire. Mais les schistes peuvent avoir subi une certaine altération et présenter des imprégnations ou des poches d'accumulation calcaire. Dans ce cas, ils permettent une faible recalcification à la base du remaniement supérieur sous forme de pseudomycéliums. Cette recalcification semble favoriser par l'existence d'une végétation herbacée qui a pu être plus abondante qu'actuellement ; elle serait l'indice d'une *évolution steppique des sols régosoliques*. L'existence éventuelle d'un schiste fin, facilement altérable, favorise l'approfondissement du sol vis-à-vis duquel l'activité biologique paraît avoir joué un rôle primordial : profil D 32. Il n'y a pratiquement plus de traces de rubéfaction sur cette colline ; mais elles sont encore bien visibles ailleurs, sur d'autres reliefs où la pente plus faible a limité l'importance de l'érosion.

Le cône d'épandage caillouteux se déploie en éventail sur une surface concave, en avant de la colline. Les matériaux arrachés à la colline se sont étalés en érodant le substratum schisteux et les pédiments préexistants (C96) qui constituaient l'extrême amont du grand glacis encroûté. Ce cône d'épandage constitue donc un *petit glacis G2 plus récent que le glacis encroûté G3* qu'il recouvre vers l'amont. L'encombrement par les épandages grossiers en avant du petit chenal d'écoulement a favorisé la naissance de déversements qui sont à l'origine des thalwegs actuels. L'écoulement n'y est que très temporaire après les plus fortes pluies, et probablement pas annuel.

Les matériaux d'épandage G2 sont constitués de cailloux anguleux schisteux associés à une matrice fine rubéfiée, plus argileuse vers l'aval. La terre rouge a été fournie par d'anciens sols rouges méditerranéens situés sur la colline. Sur ces matériaux *lithochromes non calcaires*, se sont différenciés des *sols châtain-rouges* dont les horizons profonds présentent de faibles accumulations calcaires sous forme de pseudomycéliums ou de petits amas.

Le glacis encroûté G3 qui s'étend jusqu'à l'oued Tensift, sur plus de 4 km vers le sud-ouest, est constitué d'un *remblaiement d'origine essentiellement schisteuse*. Les matériaux ont été arrachés

aux différentes collines schisteuses, dont le Taboucheint, mais aussi aux zones granitiques situées plus à l'est et drainées par un thalweg qui contourne la colline Taboucheint vers le nord. Des cailloux de granite sont ainsi visibles dans le profil D0. Les schistes affleurent à 200 m à l'aval du profil D0 et ils ont été aussi observés à faible profondeur dans d'autres profils voisins.

Les matériaux déposés sont généralement assez grossiers mais la partie supérieure apparaît moins caillouteuse, peut-être en raison de la diminution de la capacité de transport de l'écoulement. Aucun niveau ne présente ici de teinte dominante rougeâtre ; cependant, à la base des profils situés plus loin vers l'aval du glacis, on observe fréquemment un *matériau fin rougeâtre surmonté par un niveau caillouteux sans traces de rubéfaction*. L'encroûtement s'est développé avec plus d'intensité à la partie supérieure ; vers le bas, le drainage suffisamment efficace, n'a pas permis l'accumulation de calcaire en forte quantité.

Comme dans toutes les autres toposéquences, le glacis encroûté se caractérise par un *horizon superficiel de remaniement* abondamment pourvu en éléments résiduels grossiers : débris calcaires et cailloux rocheux subsistant après *démantèlement* de la partie supérieure de l'encroûtement.

L'ordre chronologique de la mise en place des matériaux paraît être le suivant :

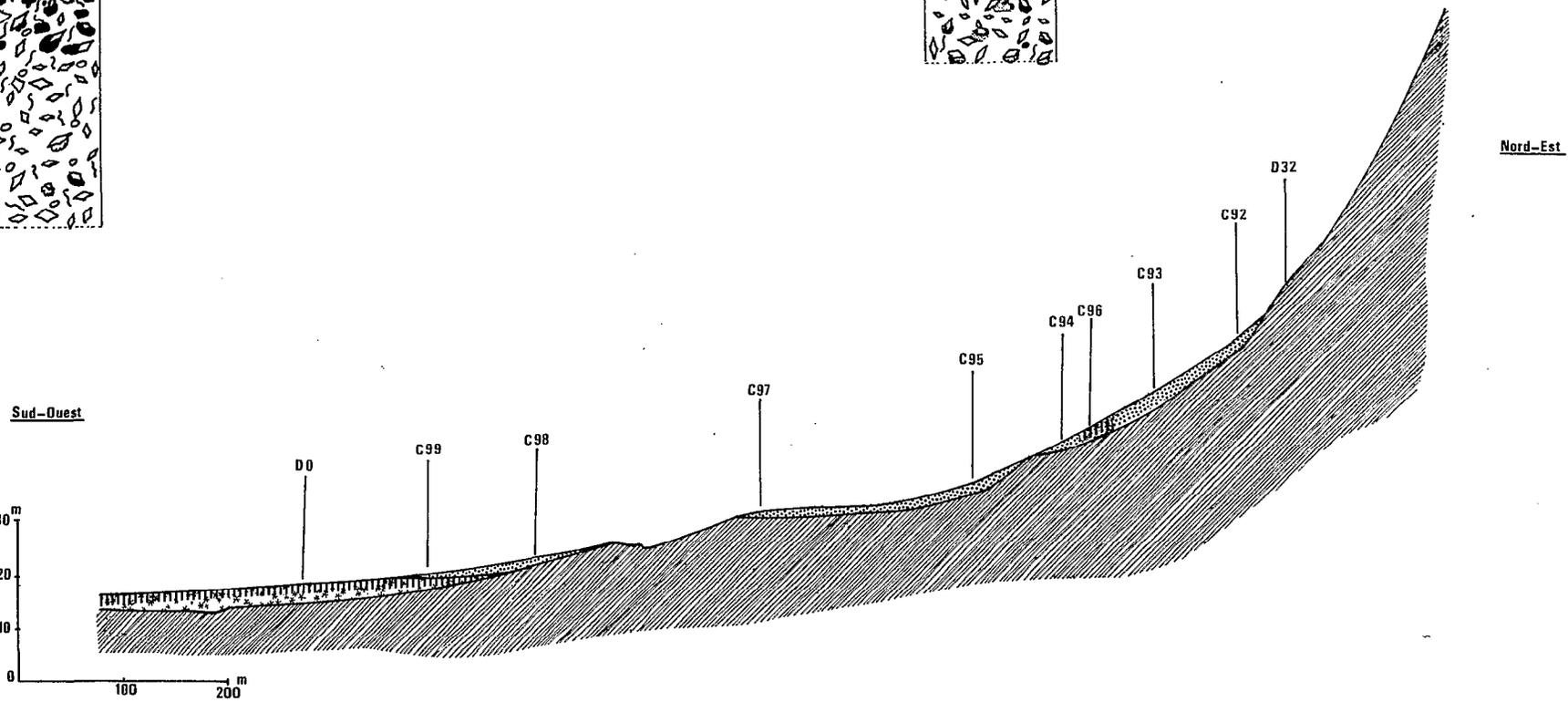
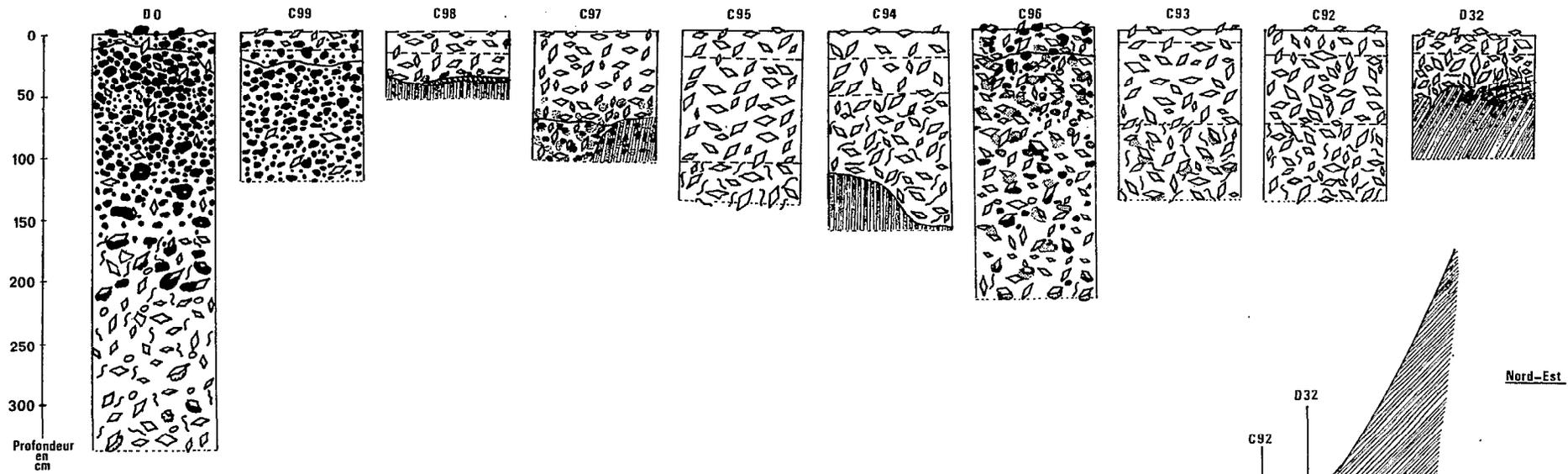
- érosion des reliefs et formation du *grand glacis de raccordement* (G3) avec l'oued Tensift. Le remblaiement apparaît généralisé sur tout le glacis dans cette région ;
- après l'encroûtement du glacis précédent, une deuxième phase d'érosion aboutit à la formation du *cône d'érosion et d'épandage* (G2). L'importance des matériaux mis en mouvement est très faible par rapport à la période précédente.

La présence d'une matrice de terre rouge provenant de sols rouges arrachés à la colline, dans les dépôts de deuxième génération, pose le problème de savoir si ces sols rouges subsistaient après la formation du premier glacis, ou bien s'ils se sont développés en même temps que l'encroûtement, entre les deux périodes de morphogénèse. Nous pensons que cette dernière hypothèse doit être retenue pour les raisons suivantes :

- le remblaiement constituant l'amont du grand glacis encroûté G3 ne présente aucune trace de rubéfaction. On peut donc considérer qu'il n'existait plus de sols rouges sur la colline à la fin de la première phase d'érosion, alors que des quantités considérables de matériaux fins puis grossiers avaient été transportés ;

- le contraste est frappant entre ces matériaux (G3) et les dépôts plus récents (G2), situés au même endroit et provenant des mêmes sources. Les derniers sont constitués d'une matrice riche en argile et de couleur rouge, qui traduit l'existence de sols fersiallitiques bien évolués comme origine du matériau ;

- l'encroûtement généralisé de l'ancien glacis G3, qui s'est développé sur des roches non calcaires jusqu'à son extrême amont (C 96), a nécessité la mise en place d'une importante quantité de calcaire. L'origine de ce calcaire est difficilement explicable, si l'on ne fait pas appel à des apports fournis par les régions avoisinantes plus élevées. *L'existence d'une pédogénèse rubéfiante sur les reliefs aurait ainsi permis la libération du calcium ayant servi à alimenter vers l'aval les encroûtements du grand glacis G3.*



TOPOSEQUENCE : 2

TOPOSEQUENCE 3

Les profils ont été placés dans un des thalwegs peu encaissés qui découpent le glacis encroûté G3 en délimitant des interfluves étroits, au sud du Djebel Ramram, à la longitude de Marrakech.

A l'amont, ces thalwegs font suite aux cônes d'épandage caillouteux à matrice rubéfiée argileuse (t.s. 2) qui apparaissent plus ou moins ravinés selon l'importance du relief environnant. Vers l'aval, ils se raccordent à la basse terrasse sablo-limoneuse de l'oued Tensift (T1), qu'entaillent les affluents actuels à écoulement très temporaire, pour rejoindre le lit de divagation de l'oued.

Cinq profils ont été étudiés de l'amont vers l'aval : D60, D17, D42, D43, D44.

ETUDE DES PROFILS

Profil D 60 - Siérozem modal, sur épandage sableux recouvrant un ancien sol châtain-rouge.

Sommet de thalweg à peine déprimé dans une zone d'épandages caillouteux à matrice de terre fine rubéfiée, recouvrant un substratum granitique, au pied des reliefs schisteux. Pente longitudinale de 2%. Surface à faible microrelief, avec 20% de cailloux anguleux de schistes quartzeux et de granite. Culture d'orge à maturité, avec adventices.

- 0 à 8 cm : Horizon de travail. Non calcaire. Brun (7,5 YR 5/4-4/4). Sableux à sable grossier, avec graviers et petits cailloux de quartz et de schistes. Surface battue ; structure motteuse à cohésion très faible, tendance particulière. Porosité lacunaire bonne, sauf au centre des mottes. Activité biotique bonne. Enracinement bon et assez bien réparti. Limite légèrement ondulée, moyennement contrastée.
- 8 à 55 cm : Brun-rougeâtre (5 YR 4/4). Texture comparable mais un peu plus argileuse, plus caillouteuse vers le bas. Non calcaire jusqu'à 25 cm, puis réaction à l'acide en présence de fins pseudomycéliums qui deviennent denses sur les 15 cm inférieurs, avec dépôts filiformes entrecroisés sous les cailloux. Massif à cohésion faible. Porosité lacunaire moyenne. Activité biotique bonne permettant un enracinement moyen. Limite ondulée, très nette.
- 55 à 75 cm : Rouge (2,5 YR 4/6). Sablo-argileux avec graviers de quartz et petits cailloux anguleux de schistes. Par endroits, mélange de terre plus brune, semblable à celle de l'horizon précédent, bien travaillée par la faune. Pseudomycéliums denses en engainements blancs ; à la base, on note aussi des amas calcaires. Structure massive à cohésion d'ensemble assez forte ; mais cohésion assez faible des débits qui se subdivisent facilement en éléments polyédriques irréguliers de plus en plus fins jusqu'à libération des sables et graviers. Porosité assez faible. Activité biotique médiocre, sauf dans les zones de terre brune. Enracinement faible, surtout limité aux zones travaillées par la faune. Limite légèrement ondulée et irrégulièrement distincte en raison de la présence du calcaire.
- 75 à 170 cm : Encroûtement calcaire en larges amas irrégulièrement friables, à noyaux granulaires indurés ; avec pénétrations terreuses brunes bien travaillées par la faune. Présence d'îlots d'arène granitique à tendance rubéfiée à la partie supérieure, plus saine (gris-bleuté) ensuite, et devenant prépondérante vers le bas. On note la présence d'une pellicule rubanée compacte, brun clair, de 2-3 cm d'épaisseur, correspondant vraisemblablement à l'emplacement d'une ancienne diacalse.

MOD 17 - Siérozem modal, sur épandage sableux recouvrant un ancien sol châtain-rouge.

Zone plane au fond du thalweg peu encaissé, entre des interfluves encroûtés. Pente longitudinale de 1-2%. Sableux et graveleux en surface. Jachère herbacée en reprise de végétation, avec chaumes de *Carlina racemosa* ; quelques touffes de *Zizyphus lotus* et *Asparagus stipularis*.

- 0 à 15-30 cm : Humide. Non calcaire. Brun (7,5 YR 6/4-5/4). Sableux à sable grossier. Structure particulière, tendance massive à cohésion faible vers le bas. Porosité lacunaire moyenne. Activité biotique peu visible. Enracinement bon et bien réparti avec nombreux rhizomes de chiendent. Limite ondulée, par apparition d'une teinte plus rougeâtre et enrichissement en argile, sur 3-4 cm.
- 15-30 à 60-130 cm : Humide. Non calcaire. Rouge-jaunâtre (5 YR 5/6-4/6). Sableux à sablo-argileux avec petits cailloux anguleux schisteux, généralement inférieurs à 5 cm, disposés en lits, mais ne représentant pas plus de 10% de l'ensemble. Structure variable mais mal développée. Massive à cohésion faible ; parfois à tendance particulière, ou bien polyédrique (1 cm) très fragile. Porosité lacunaire moyenne à grossière, très bonne. Activité biotique très bonne. Enracinement herbacé bon et assez bien réparti dans la moitié supérieure ; il se trouve cependant gêné par les zones les plus massives. Limite nette ondulée et oblique.
- 60 à 120 cm : Cet horizon n'apparaît que d'un côté du profil. Rouge-jaunâtre (5 YR 4/6). Sablo-argileux à sable grossier avec petits cailloux schisteux irrégulièrement répartis. Pseudomycéliums nets mais irréguliers constituant un réseau d'engainements beige clair, sauf sur les 15 cm supérieurs dans la partie de l'horizon non tronquée, où les engainements sont très blancs et poudreux. Grandes amas sous les cailloux ; petites zones à amas fins de quelques mm de diamètre, parfois plus grossier et soudant les grains de sable. Structure irrégulière massive à débits irréguliers, ou tendance polyédrique (1 à 3 cm) mieux développée par endroits. Porosité lacunaire moyenne à grossière, bonne. Activité biotique bonne. Enracinement faible. Limite régulière, peu contrastée.

120-130 à 260 cm : Matériau de même origine que dans l'horizon précédent, mais plus gravelo-caillouteux, avec la même teinte rougeâtre de la matrice terreuse. Gravier et cailloux anguleux de schistes, quelques-uns de quartz et de granite faiblement altéré, avec quelques petits graviers blancs feldspathiques non friables. Les cailloux sont revêtus d'un léger dépôt calcaire, plus abondant à la face inférieure où il soude des sables et petits graviers, et n'apparaissant qu'en fin réseau filiforme sur la face supérieure. Le calcaire a également tendance à s'accumuler dans les zones les plus riches en terre fine où il constitue des masses tuffeuses irrégulièrement indurées, entre les cailloux et les graviers. Ces accumulations tuffeuses se concentrent surtout vers 130-150 cm et 190-220 cm ; elles ont tendance à constituer des ensembles orientés horizontalement mais ne possèdent pas de limite brutale avec les zones friables environnantes : le passage s'établit par l'existence d'un réseau d'engainement de moins en moins dense. L'accumulation calcaire ne constitue pas un encroûtement dans ce matériau. Structure variable selon la texture, polyédrique irrégulière (1 cm), ou particulière dans les zones graveleuses ; les zones encroûtées se subdivisent très facilement en petits polyèdres. Cohésion d'ensemble assez forte, sauf dans les zones à sable grossier et graviers qui peuvent être bouillantes. Porosité très irrégulière. Activité biotique présente à certains endroits. Limite ondulée, nette.

vers 260 cm : Passage à un granite en place traversé par un petit filon de quartz. Granite à grains assez grossiers et riche en biotite, irrégulièrement et faiblement altéré. Dans les zones tendant à s'aréniser : biotite mordorée à revêtements ferrugineux sur les bordures, feldspaths fissurés mais peu friables. Il n'y a pas de réaction à l'acide dans l'arène, mais elle est notable dans les diaclases.

Profil D 42 - Siérozem modal, sur épandage sableux recouvrant un ancien sol châtain-rouge.

Thalweg faiblement déprimé entre deux interfluvés encroûtés ; pente longitudinale faible : 1%. Surface plane avec quelques cailloux anguleux de schistes et de quartz. Culture de blé dur à maturité, avec adventices.

- 0 à 15 cm : Horizon de culture. Non calcaire. Humide. Brun (7,5 YR 5/4-5/6). Sableux, à sable grossier avec graviers de quartz. Battu est assez compacte sur 2-3 cm en surface ; meuble au-dessous, particulière, parfois finement grumeleux, à cohésion faible. Porosité lacunaire moyenne assez bonne. Activité biotique peu visible. Enracinement herbacé assez bien représenté et bien réparti. Limite ondulée, peu contrastée.
- 15 à 50 cm : Non calcaire. Brun-rougeâtre (5 YR 4/4-5/4). Sableux à sablo-argileux avec quelques graviers de quartz ; sur les 10-15 cm inférieurs, graviers et cailloux de schistes (jusqu'à 5-10 cm) paraissent provenir du remaniement du matériau sous-jacent. Structure irrégulière : massive à éclats aplatis et mamelonnés, parfois à tendance polyédrique (< 1-2 cm), ou bien plutôt particulière vers le bas. Cohésion très variable mais souvent assez forte. Porosité lacunaire moyenne et activité biotique assez bonnes. Enracinement moyen, apparaissant meilleur à la base à cohésion plus faible. Limite légèrement ondulée sur 5 cm.
- 50 à 130 cm : Matériau grossier avec 50-60% de graviers et cailloux anguleux de schistes atteignant 10-15 cm de large, exceptionnellement jusqu'à 20-30 cm ; avec sables et graviers de quartz ; quelques grains non quartzeux, très blancs, peu friables mais facilement attaquables au couteau, probablement de nature feldspathique. Matrice de terre rouge (2,5-5 YR 5/4) fortement argileuse. Accumulation calcaire ponctiforme (amas en tête d'épingle) et fins engainements très discrets, mais devenant plus nets vers le bas, notamment autour des cailloux. La réaction à l'acide est elle-même très localisée. Matériau compact à très forte cohésion d'ensemble. Dans les zones de terre fine, structure bien développée polyédrique (1 cm), à sous-structure polyédrique de quelques mm, initiées par un réseau et un sous-réseau de fines fissures. En dehors des zones terreuses on obtient partout de petits polyèdres très anguleux de quelques mm disposés entre les graviers. Porosité essentiellement de fissures, assez bonne. Activité biotique peu visible. Limite irrégulière et progressive.
- 130 à 140 cm : Matériau semblable mais à accumulation calcaire plus importante. Elle est très irrégulière, et on observe par places de larges amas pouvant atteindre plusieurs cm, avec des noyaux indurés en granules et nodules. Cette accumulation s'établit surtout dans les zones de terre fine et semble favorisée par la proximité des cailloux. Dans les zones à sable grossier ou graveleuses, elle n'apparaît pas ; mais un fin dépôt existe partout autour des éléments grossiers. L'ensemble réagit à l'acide mais il ne s'agit pas d'un encroûtement. L'activité biotique apparaît meilleure que dans l'horizon précédent. Enracinement faible. Limite irrégulière, assez nette.
- 190 à 295 cm : Matériaux gravelo-caillouteux (schistes et quartz) avec des lits un peu plus argileux ; matrice sableuse faiblement argileuse, brun-rougeâtre (5 YR 5/4-5/6). Dépôts calcaires nets sous les cailloux où ils soudent des sables. Quelques larges zones d'accumulation irrégulière à noyaux indurés, mais moins nombreuses que dans l'horizon précédent. Structure particulière à cohésion faible. Limite ondulée, très nette.
- 295 à 340 cm : Arène granitique à grains grossiers (quartz jusqu'à 0,5 cm) avec biotite mordorée et feldspaths irrégulièrement friables. Les grains sont enrobés d'une pellicule terreuse rouge-beige (2,5 YR 6/6-5/6). On note aussi des imprégnations calcaires indurées, jusqu'à 5-10 cm de largeur, dans les anciennes diaclases, où elles soudent les grains constitutifs du granite.

Profil D 43 - Siérozem modal, sur épandage sableux recouvrant un ancien sol châtain-rouge.

Thalweg faiblement déprimé entre deux interfluves encroûtés. Pente longitudinale faible 1%. Surface battue, sableuse avec quelques cailloux de quartz et quelques petits graviers de schistes. Jachère à faible végétation herbacée.

- 0 à 20 cm : Faiblement calcaire. Brun (7,5 YR 5/4). Sableux à sablo-limoneux, à sable grossier et petits graviers de quartz, rarement de schistes. Battu en surface, motteux jusqu'à 10 cm ; plutôt particulaire ou polyédrique émoussé (0,2 à 1 cm) à la base plus humide. Cohésion moyenne des mottes sèches, faible dans les zones humides. Porosité lacunaire bonne. Activité biotique assez bonne, mais irrégulière. Enracinement herbacé, avec rhizomes de chiendent, bien développé. Limite régulière sur 2-3 cm.
- 20 à 40 cm : Faiblement calcaire. Brun (7,5-5 YR 4/4). Texture semblable mais un peu plus argileuse que dans l'horizon précédent. Structure mal développée à tendance polyédrique irrégulière (1-2 cm), parfois plus fine dans les zones à cohésion moyenne. Cohésion d'ensemble assez forte. Porosité lacunaire fine et grossière moyenne mais irrégulière. Activité biotique bonne mais irrégulière. Enracinement assez bon et bien réparti. Limite légèrement ondulée, nette.
- 40 à 80 cm : Rouge (2,5 YR 4/6). Sablo-argileux à argilo-sableux, avec 20-30% de graviers et cailloux anguleux de schistes et quartz ne dépassant guère 5 cm, quelques-uns jusqu'à 10 cm ; quelques graviers blancs laiteux de feldspaths sont fissurés et se divisent sans s'éfriter. On note aussi quelques fragments résiduels de croûte calcaire, soudant des cailloux de dolomite. Pseudomycéliums calcaires en fin engainements, constituant un réseau anastomosé autour des cailloux. Structure variable suivant la texture, mais souvent bien développée, polyédrique très anguleuse (≤ 1 cm), initiée par de fines fissures irrégulières. Cohésion d'ensemble moyenne, faible des éléments structuraux. Porosité lacunaire moyenne, assez bonne, mais faible dans les zones mal structurées. Enracinement encore assez bon. Vers 70 cm, cet horizon s'enrichit en éléments grossiers schisteux atteignant fréquemment 10 cm : ces cailloux descendent jusqu'à 80 ou 110 cm et déterminent une limite texturale ondulée avec le niveau sous-jacent moins caillouteux. Mais à 80 cm apparaît une limite d'accumulation calcaire régulière : éléments calcaires irrégulièrement friables ou indurés, représentant environ 20% de la masse. Cette accumulation se développe indistinctement dans les deux types de matériau qui se juxtaposent avec une limite ondulée entre 80-110 cm.
- 80 à 230-270 cm : L'accumulation calcaire se développe et devient plus importante, tendant à constituer un encroûtement irrégulier. Le matériau apparaît tacheté, avec une teinte de fond jaune-rougeâtre (5 YR 6/6) correspondant à une terre fine sablo-argileuse à argilo-sableuse, avec 30% de taches beige-jaunâtre ou blanches, très irrégulières, s'étalant sur 2-3 cm et parfois davantage. Ces zones d'accumulation calcaire sont irrégulièrement friables et possèdent des noyaux indurés en granules et nodules. Certains éléments indurés sont de forme cylindrique et tortueux ; ils atteignent plusieurs cm de longueur mais se subdivisent le plus souvent en petits tronçons avec des zones plus friables. Ces indurations sont de couleur beige clair et soudent de nombreux sables et petits graviers de quartz et parfois de schistes. Dépôts stalactiformes sous les cailloux. A côté des larges accumulations, des pseudomycéliums calcaires se développent dans les zones terreuses qui réagissent violemment à l'acide. Il existe environ 20 à 30% d'éléments grossiers dans ce matériau : schistes et quartz, parfois disposés en lits. On y retrouve aussi quelques fragments calcaires résiduels durs et compacts, et des graviers feldspathiques blancs peu altérés. La structure apparaît motteuse très irrégulière : 5-10 cm, mais se subdivisant souvent en petits polyèdres de 0,2 cm. Cohésion d'ensemble forte. Porosité médiocre. Activité biotique très irrégulière, assez faible (galeries et turricules). Enracinement herbacé encore présent dans les zones de galeries. A partir de 200 cm, l'accumulation calcaire devient plus importante et plus indurée par endroits ; d'un côté du profil elle constitue une zone massive indurée soudant des cailloux de schistes grossiers (jusqu'à 20 cm) au contact du granite. Limite très ondulée, très nette.
- 230-270 à 300 cm : Granite bien arénisé à la partie supérieure, mais encore cohérent à la base. Dépôt de calcaire induré dans les diaclases, avec une poche calcaire de 25-30 cm de diamètre vers 290 cm. Granite à grains moyens : quartz de 0,3 cm, feldspaths irrégulièrement friables, biotite mordorée, avec revêtements ferrugineux des cristaux à la partie supérieure. Pas d'effervescence à l'acide dans la masse de l'arène.

Profil D 44 - Sol à alcali non lessivé moyennement salé, sur épandage alluvial sablo-limoneux.

Aval du thalweg à 200 m de l'oued Tensift ; pente faible : 1-2% vers l'oued. Jachère à surface battue. Végétation halophile : *Atriplex halimus* et *Sueda frutescens* en bordure de haie, *Mesembryanthemum nodiflorum* par plages localisées ; avec *Asparagus stipularis* et *Zizyphus lotus*, ainsi que quelques palmiers dattiers dispersés.

- 0 à 15-20 cm : Horizon de culture. Brun (7,5 YR 5/4-6/4). Limono-sableux, à sable grossier quartzueux, quelques graviers ou petits cailloux de schistes et débris calcaires. Structure motteuse irrégulière pouvant atteindre 10 cm. Cohésion d'ensemble moyenne, plus forte des mottes. Porosité lacunaire fine, assez bonne, sauf au centre des grosses mottes compactes. Activité biotique assez bonne, mais irrégulière. Enracinement herbacé irrégulier, évitant les zones compactes. Effervescence violente à l'acide. Limite ondulée, distincte sur 5 cm.

- 15-20 à 90 cm : Brun-rougeâtre (5 YR 5/4-4/4), avec très fins engainements calcaires blanchâtres peu visibles. Limono-sableux, à sable grossier quartzueux avec quelques grains de feldspaths ; graviers et petits cailloux de schistes ou calcaires, surtout sur les 10 cm inférieurs, mais existant aussi dispersés dans la masse. Structure massive, à éclats irréguliers initiés par de fines fissures tortueuses formant des mailles de l'ordre de 10 cm. Cohésion très forte. Porosité lacunaire bonne. Activité biotique très bonne. Enracinement moyen, décroissant vers le bas. Effervescence violente à l'acide. Limite légèrement ondulée, distincte sur 4-5 cm.
- 90 à 220 cm : Matériau hétérogène. Terre fine limono-sableuse, rouge-jaunâtre (5 YR 5/6-6/6) jusqu'à 160 cm, un peu plus foncé au-dessous (5 YR 4/6) et plus argileuse. 5-10% de graviers et petits cailloux schisteux et quartzueux souvent disposés en lits. Environ 20% d'éléments calcaires (jusqu'à 5 cm de large), pouvant être pour une part d'origine détritique. Ils sont durs et compacts, brun clair, et soudent des graviers schisteux. Il existe aussi une accumulation sous forme d'amas blanchâtres, farineux et possédant souvent des noyaux indurés ; ils sont dispersés dans la masse mais se réunissent fréquemment en ensembles de quelques cm de large, parfois à tendance verticale et cylindrique : 5-10 cm sur 2-3 cm. Dépôts stalactiformes sous les cailloux et fins engainements dans la terre fine. Sur les 15 cm supérieurs, on n'observe pas d'amas mais seulement de nombreux nodules. Ces concentrations calcaires représentent environ 40-50% de taches blanchâtres sur le fond brun-jaunâtre. Structure polyédrique bien développée (0,5-2 cm), entre les éléments calcaires. Cohésion d'ensemble forte, moyenne des éléments structuraux. Porosité lacunaire bonne. Activité biotique bonne dans les zones de terre fine. Limite assez régulière sur 5-10 cm. Par endroits, les amas blanchâtres se développent jusqu'à la partie supérieure de l'horizon sous-jacent.
- 220 à 330 cm : Matériau sablo-graveleux lité, à sable grossier et graviers de quartz et de schistes, quelques cailloux schisteux. Très humide. Accumulation calcaire diffuse. Mais dans la moitié inférieure, concentrations en zones très irrégulières, qui soudent les sables et les graviers d'une façon faiblement cohérente, sans couleur distinctive par rapport au matériau à l'état humide. A la partie inférieure on observe des éléments en rognons puis en feuillets de 5 à 10 cm d'épaisseur devenant plus importants vers le bas où ils résistent bien au piochon. Vers 330 cm, il s'agit d'une véritable dalle compacte, au contact de la nappe phréatique. A l'état sec le ciment calcaire est bien visible. A la loupe on observe une fine pellicule blanchâtre autour des grains de sables. Lorsque cette pellicule s'épaissit pour constituer un dépôt continu tapissant la paroi des interstices entre les grains, la cohésion devient notable puis l'induration s'accroît à mesure que ce dépôt remplit mieux les vides et que la porosité diminue. Dans les dalles, le ciment calcaire occupe la totalité de la porosité initiale du matériau. Par ailleurs, la dessiccation accroît rapidement la dureté des éléments retirés de cet horizon.

CONCLUSIONS

Cette toposéquence complète naturellement la toposéquence 2. Les *épandages caillouteux* (G2), qui s'étalent en avant des reliefs dont ils sont issus, se répartissent vers l'aval dans des thalwegs bien délimités. Ces thalwegs s'emboîtent dans le *glacis encroûté* (G3) pour rejoindre l'oued Tensift, mais leur encaissement n'est jamais important.

Nous avons retrouvé le *matériau caillouteux à matrice rubéfiée* déjà observé avec la toposéquence 2, et qui constitue ici une nappe alluviale directement au contact de la roche granitique, sur le fond du thalweg. Il n'y a pas de différenciation bien nette de la texture en fonction de la pente, sans doute en raison de la faible distance de transport. Mais on peut constater, ailleurs, un enrichissement en argile lorsqu'on s'éloigne des zones d'érosion ; ainsi, le taux d'argile atteint 50% au nord du douar Oulad Aguid dans l'ancien thalweg qui draine la face est du Djebel Ramram (fig. 13).

A cette similitude des matériaux, s'ajoute une différenciation pédologique de même nature. Bien que la partie supérieure des sols ait été ici tronquée et recouverte, on peut encore reconnaître des *sols châtain-rouge*. L'accumulation calcaire se différencie en fonction de la topographie ; elle devient plus importante et envahit la base des profils vers l'aval (fig. 12). *Les matériaux proviennent essentiellement des zones rubéfiées de l'amont*, mais on retrouve aussi, à l'aval, *quelques éléments détritiques de croûte calcaire* (D43) arrachés aux interfluves encroûtés voisins.

Entre les profils D43 et D44, ces alluvions caillouteuses, à fragments de schistes anguleux, disparaissent. Elles ont probablement été érodées à la suite d'un *abaissement ultérieur du niveau de l'oued Tensift*.

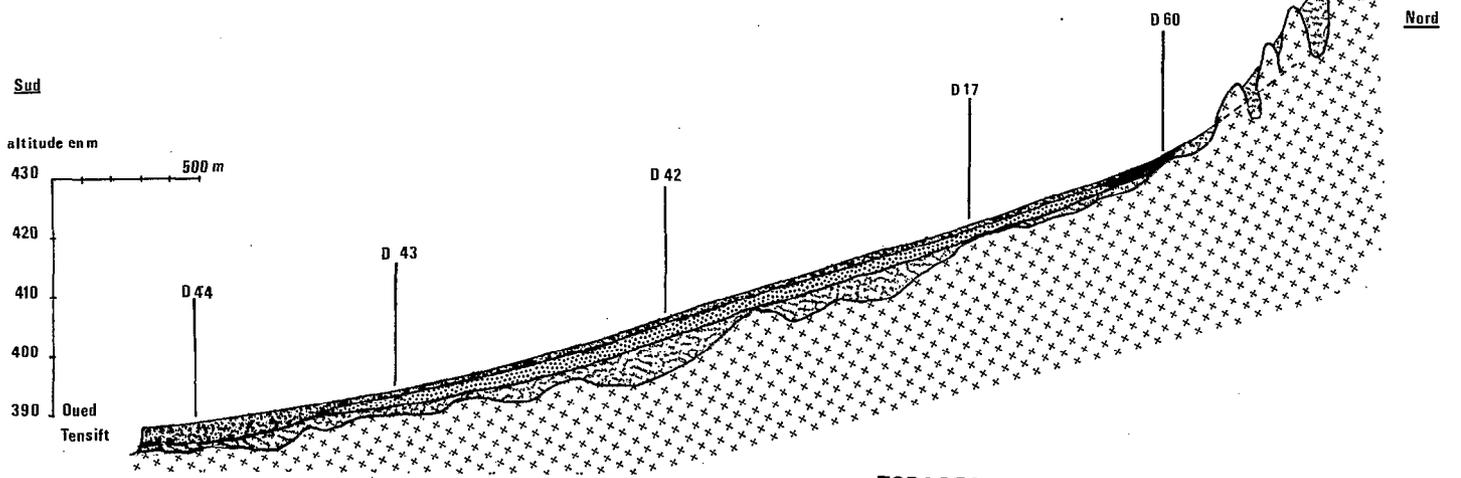
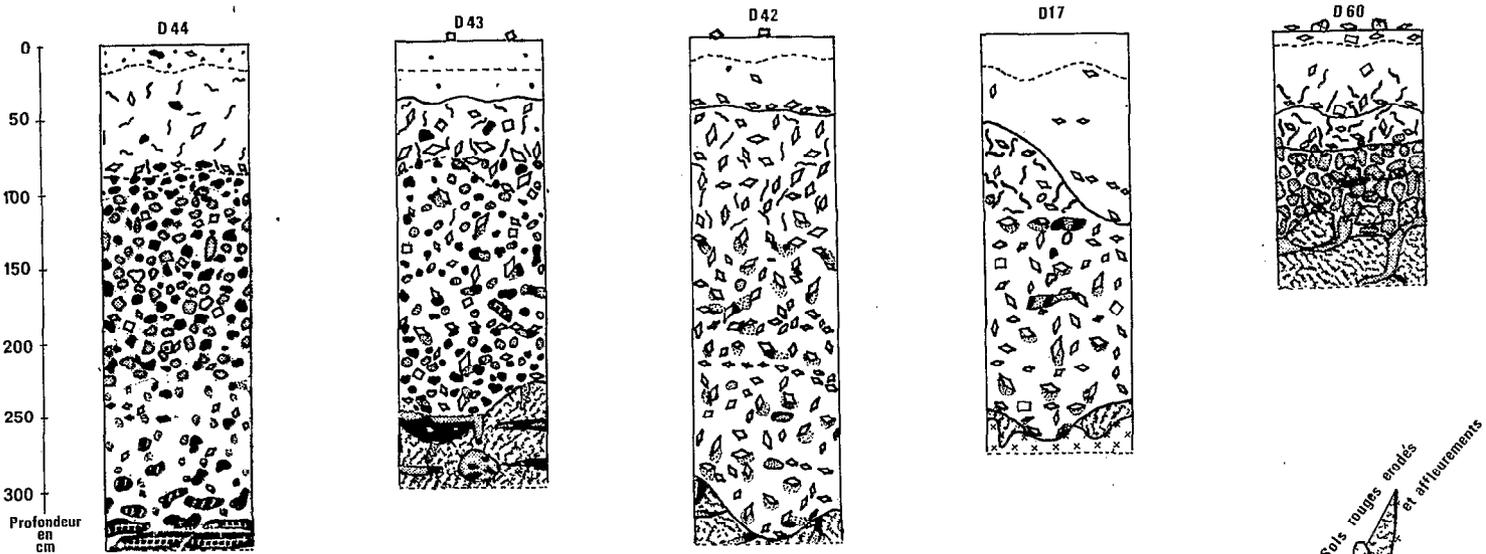
Une *nappe alluviale sableuse plus récente* (G1) est remaniée par l'écoulement temporaire actuel. Elle apparaît vers l'amont, au fond des incisions du cône caillouteux, puis s'étale dans le thalweg en recouvrant la nappe caillouteuse à matrice rouge (G2). La texture sableuse est due à *l'origine essentiellement granitique* du matériau. L'épaisseur du recouvrement est toujours assez faible, sauf au voisinage de l'oued Tensift où ces alluvions se confondent avec la basse terrasse (T1) de l'oued entaillée par le lit actuel. Le type de texture nous conduit à penser que cette nappe alluviale est liée à un *écoulement dont la puissance était bien inférieure* à celui ayant mis en place la nappe caillouteuse plus ancienne. La masse des matériaux transportée apparaît aussi plus faible.

Ces alluvions sableuses ne sont pas calcaires à l'amont mais elles le deviennent vers l'aval. Les interfluves encroûtés voisins, dont la surface a été remaniée et appauvrie en particules fines, sont vraisemblablement à l'origine de cet enrichissement en calcaire.

L'évolution du recouvrement G1 est très faible : *siéroxans* et *sols peu évolués d'apport*. Au voisinage de l'oued Tensift, la proximité de la nappe phréatique favorise le développement de l'alcali-

sation et de la salure : *sols à alcali non lessivés, peu ou moyennement salés*, ainsi que l'accumulation du calcaire. *Une dalle de nappe est en cours de formation à la base du profil D 44.*

Il est intéressant de remarquer que, dans la même région, la nappe sableuse G1 n'existe pas dans l'ancien thalweg drainant la face est du djebel Ramram. Il s'agit là d'un cas particulier dû à un phénomène de capture qui a privé ce thalweg du recouvrement sableux.



TOPOSEQUENCE 4

Cette toposéquence appartient à la partie supérieure de l'ancien glaciaire G3 reliant les Djebilet à l'oued Tensift. Elle est située sur un interfluve où se dégage une petite butte encroûtée dominant la topographie environnante marquée par des affleurements rasants (photo 3, pl. 1). Les profils ont été disposés suivant une orientation SW-NE, de façon à étudier la nature de cette butte encroûtée et ses rapports avec les zones avoisinantes.

ETUDE DES PROFILS

Profil D10 - Sol peu évolué d'érosion, sur arène à forte imprégnation calcaire.

Sommet d'interfluve légèrement déprimé par rapport à une zone d'affleurements rocheux au sud-ouest. Il s'agit d'un granodiorite présentant à certains endroits des dépôts calcaires dans les diaclases et, beaucoup plus rarement, d'étroites zones rubéfiées près des diaclases verticales. Vers le nord-est, la pente remonte vers la butte encroûtée.

Surface recouverte de graviers et cailloux granitiques, très nombreux et atteignant 10 à 20 cm. Jachère à végétation herbacée basse et rare, avec quelques *Zizyphus lotus* et *Asparagus stipularis*.

- 0 à 10 cm : Horizon de culture, calcaire. Humide. Brun (7,5 YR 6/4-5/4). Sableux à sablo-limoneux, avec quelques graviers et petits cailloux de granodiorite. Meuble à structure particulaire ; quelques petites mottes à cohésion très faible. Porosité lacunaire bonne. Activité biotique difficile à apprécier. Enracinement moyen (peu de végétation). Limite régulière peu tranchée.
- 10 à 30-40 cm : Humide. Couleur semblable (7,5 YR 6/4-5/4). Sableux à sablo-limono-argileux. Cailloux granitiques irrégulièrement altérés (jusqu'à 15 cm de large) et irrégulièrement répartis. Pseudomycéliums par endroits, quelques amas calcaires, surtout autour des éléments altérés qui semblent laisser la place à des amas farineux blanc-saumonné (7,5 YR 8/2). Structure moyennement développée, polyédrique irrégulière (1 cm), à cohésion faible ; souvent à tendance particulière. Porosité lacunaire et activité biotique bonnes. Enracinement moyen et bien réparti. Limite ondulée, très irrégulière et même intermittente, marquant la base de cet horizon très probablement remanié.
- 30-40 à 100 cm : Arène de granodiorite avec accumulation calcaire en larges masses farineuses. L'arène est pénétrée par des zones calcaires blanchâtres d'orientation horizontale, d'épaisseur variable parfois jusqu'à 10 cm ou plus. Ces zones calcaires sont marbrées de veines et de poches remplies de terre brune bien travaillée par la faune et semblable à celle de l'horizon précédent. L'arène n'occupe pas plus de 50 % de la surface à la partie supérieure, où les zones terreuses comparables à l'horizon supérieur sont bien représentées avec l'accumulation calcaire. Vers le bas, elle tend à occuper la totalité du profil pour passer à la roche moins désagrégée vers 100 cm ; mais quelques veines calcaires et terreuses existent encore à cette profondeur dans les diaclases. Les zones les plus altérées et digérées sont finement diaclasées ; l'altération paraît être associée à une accumulation de calcaire farineux qui souligne la structure feuilletée préexistante dans la roche. Cette accumulation s'étend en masses friables sur plusieurs cm de large dans les zones où l'arène apparaît entièrement digérée (on ne retrouve que très peu de grains de quartz, la roche étant elle-même pauvre en quartz). La pénétration des veines terreuses dans les zones calcaires peut être favorisée par l'activité biotique et les racines qui sont visibles. Assez fréquemment, surtout à la partie supérieure, le calcaire tend à constituer une petite croûte lamellaire très faiblement indurée, au-dessus de l'arène. La réaction à l'acide est violente même dans l'arène.

Profil D11 - Sol brun modal subtropical, sur arène, à remaniement superficiel.

Zone située au pied de la butte encroûtée, pente de l'ordre de 5 % vers le sud-ouest. Surface récemment travaillée à l'araire et semée en orge. Nombreux graviers et quelques cailloux calcaires résiduels, mais la pierrosité est plus faible que dans le profil précédent.

- 0 à 20 cm : Horizon de remaniement. Humide. Beige clair (7,5 YR 7/2), sablo-limoneux, avec environ 20 % de petits éléments calcaires résiduels arrondis, inférieurs à 5 cm. Structure particulaire ou en petites mottes à cohésion très faible. Porosité lacunaire bonne. Activité biotique très bonne. Enracinement de fines racines herbacées satisfaisant et assez bien réparti. Limite ondulée, nette.
- 20 à 45 cm : Horizon de couleur hétérogène : beige très clair (7,5 YR 7/2-8/2), avec 20 % d'amas calcaires blanchâtres de 1-2 cm de diamètre. Quelques petits îlots d'arène ; sablo-limoneux plus argileux que le précédent. Structure assez bien développée, polyédrique irrégulière (jusqu'à 3-4 cm). Cohésion d'ensemble assez forte ; cohésion des éléments faible. Porosité lacunaire et activité biotique bonnes. Enracinement moyen assez bien réparti. Limite assez tranchée mais très ondulée et même interrompue ; à un endroit, une langue pénètre jusqu'à 110 cm sur 10-15 cm de largeur.

45 à 160 cm : Arène granitique avec amas calcaires farineux remplissant les diaclases en association avec de la terre brune bien travaillée par la faune. A la partie supérieure, des îlots d'arène se trouvent isolés par le développement des zones terreuses en continuité de l'horizon supérieur, avec environ 40 % d'amas calcaires. Au-dessous de 60 cm, l'arène occupe l'ensemble du profil à l'exception de la langue de pénétration jusqu'à 110 cm ; celle-ci s'élargit à cette profondeur pour constituer une poche terreuse avec des amas calcaires et où l'activité biotique et les racines sont encore présentes. Par ailleurs, le calcaire friable n'occupe plus que d'étroites bandes dans les diaclases, mais il est toujours accompagné de terre fine avec de nombreux turricules et des fines racines. Vers 145 cm, l'arène présente une zone de libération ferrugineuse soulignant la structure initiale finement feuilletée de la roche. Dans cette zone, on observe des pores dont les parois sont revêtues d'un mince film argileux ; on y observe également la présence de fins dépôts calcaires. A la base, le granodiorite est mieux consolidé. La réaction à l'acide est très violente dans tout le profil.

Profil D12 - Sol peu évolué d'érosion, sur carapace calcaire.

Pente de 6 % vers le sud-ouest, sur le flanc de la butte encroûtée. Débris calcaires assez nombreux en surface, de l'ordre de 5-10 cm. Surface récemment travaillée et semée en orge.

0-35 cm : Horizon de remaniement semblable à l'horizon 0-20cm du profil D11 précédent, mais avec débris calcaires un peu plus nombreux.

35 à 90 cm : Humide. Encroûtement granulo-nodulaire et rognons. Éléments calcaires très irréguliers et de taille variable, mais beaucoup sont grossiers et dépassent 10 cm ; à la partie supérieure, tendance feuilletée par étirement horizontal de ces éléments qui ne constituent cependant pas des feuilletés de croûte continus. L'induration est variable et beaucoup de zones calcaires sont friables. Présence de cailloux de schistes anguleux assez nombreux dans la moitié inférieure, avec quelques quartz pouvant atteindre 20 cm. Réseau de terre fine, brun clair (7,5 YR 7/2-6/4), sablo-limoneuse. Elle est bien travaillée par la faune, avec pénétration de fines racines herbacées, et représente environ 10 à 15 %. Limite ondulée, nette.

90 à 245 cm : Horizon hétérogène, pour une part formé de larges zones irrégulières, souvent de l'ordre de 10-20 cm, blanc-verdâtre, constituées de petits points vert sombre enrobés dans une matrice blanche qui n'est pas essentiellement calcaire. Il s'agit de zones très friables ne libérant pas de quartz, qui résultent de l'altération d'une roche du type diorite feuilletée. Le feuilletage horizontal est souligné par un dépôt calcaire blanchâtre friable, qui constitue de petites accumulations linéaires : 0,3 cm d'épaisseur, espacées de 2 à 3 cm. D'autre part, il existe un deuxième ensemble de zones irrégulières terreuses, rouge-jaunâtre (5 YR 5/6), contrastant fortement avec les premières ; elles peuvent aussi atteindre 20 cm de large et constituent un réseau ramifié à orientation préférentielle verticale, qui représente environ 50 % du volume total. Elles pénètrent parfois dans les zones d'altération en petites veines de 1 à 5 mm de large qui semblent dues à l'activité biotique. Ces zones rougeâtres sont argileuses avec des sables et petits graviers de quartz et de schistes. Sur les 40 cm supérieurs, présence de granules, nodules et larges amas calcaires, en continuité de l'horizon précédent et en proportion décroissante vers le bas, mais des granules s'observent jusqu'à la base dans la terre rougeâtre ; parfois, on rencontre des éléments un peu plus grossiers de forme cylindrique. Structure de la terre fine assez bien développée, polyédrique (0,3-1 cm), à sur-structure prismatique (1-2 cm) et sous-structure polyédrique (0,1-0,2 cm). Porosité lacunaire bonne. On note des revêtements argileux rouge sur les pores et les cavités. A la partie supérieure, pénétration importante de la terre brune de l'horizon précédent favorisée par l'activité biotique, et quelques galeries se développent jusqu'à la base. Il n'y a pas de réaction à l'acide dans les zones rouges à l'extérieur des accumulations calcaires ; elle est, par contre, violente dans les zones d'altération riches en calcaire friable.

A 245 cm : Les zones rougeâtres diminuent assez brutalement ; des filons de roche moins altérée apparaissent par endroits : roche grenue à grains fins, pratiquement sans quartz et mieux pourvu en minéraux sombres que dans le profil précédent ; il s'agit ici d'une diorite.

Au-dessous de 90 cm, le matériau hétérogène peut être considéré comme un matériau complexe alluvio-colluvial, où se sont mélangés une masse terreuse rubéfiée et des blocs de roche qui se sont ensuite altérés.

Profil D13 - Sol peu évolué d'érosion, sur encroûtement calcaire.

Surface convexe au sommet de la butte encroûtée. Nombreux graviers et cailloux calcaires résiduels, de l'ordre de 3-15 cm, parfois jusqu'à 20 et 30 cm. On note aussi la présence de quelques cailloux de roches diverses, mais ceux-ci ne présentent aucune trace d'encroûtement et proviennent vraisemblablement d'un tas de pierres en forme de tumulus situé sur la même surface. Végétation herbacée basse et très faible.

- 0 à 15-20 cm : Horizon de remaniement limono-sableux et riche en débris calcaires. Limite ondulée, nette.
- 15 ou 20 à 120 cm : Encroûtement nodulaire à nombreux rognons ; feuilleté à la partie supérieure avec des feuilletés de croûte de 5 à 10 cm d'épaisseur ; pellicule rubanée irrégulièrement présente en surface. Quelques rares cailloux anguleux de quartz et de schistes (10-20 cm) ont été soudés dans l'encroûtement. Entre les éléments calcaires indurés, la terre fine brun clair, limoneuse, bien travaillée par la faune et bien structurée, représente de 20 à 30 % ; elle est pénétrée par de fines racines herbacées. Limite régulière et nette.
- 120 à 150 cm : Horizon essentiellement caillouteux, avec matrice de terre rougeâtre, limoneuse à limono-sablo-argileuse, dans lequel l'encroûtement supérieur a poursuivi son développement. La terre rougeâtre contient des graviers de quartz, de schistes et des feldspaths blanc-laiteux dont certains sont pulvérulents (sans doute plagioclases). L'ensemble est moyennement cohérent. Des galeries permettent la pénétration de la terre brune de l'horizon supérieur, avec quelques fines racines herbacées, nombreux turricules. Limite assez régulière, marquée par la disparition des cailloux.
- 150 à 225 cm : L'encroûtement en éléments irréguliers se continue, mais ceux-ci diminuent de taille devenant plus nettement granulo-nodulaire vers le bas. On observe parfois des zones indurées verticales sur 10 cm de large. Entre les éléments calcaires, la terre fine rougeâtre (5 YR 5/6-5/8) représente environ 40 % de la masse ; texture limoneuse à limono-argilo-sableuse avec quelques graviers de même nature que ceux décrits dans l'horizon précédent. Elle est fréquemment pénétrée par de larges galeries remplies de terre brune bien travaillée par la faune, qui se développent à partir de l'horizon 20-120 cm en s'amenuisant dans la traversée du niveau caillouteux supérieur. La terre contenue dans ces galeries présente une couleur et une texture très comparables (à peine un peu plus argileuse) à celle de la terre fine brune du deuxième horizon. La terre rougeâtre est bien structurée polyédrique irrégulière (0,5-1 cm) et ne réagit que faiblement à l'acide. De fines racines, favorisées par l'activité biotique, pénètrent encore jusqu'à la partie supérieure, mais disparaissent ensuite. Limite régulière sur 10-15 cm par disparition des granules et nodules.
- 225 à 340 cm : Couleur hétérogène, fond rougeâtre (5 YR 5/6), avec taches blanchâtres occupant de 50 à 60 % de la surface ; ce sont de larges amas calcaires (jusqu'à 5 cm de diamètre), friables. Très faible réaction à l'acide dans la terre rougeâtre. Elle est limono-argileuse, avec petits graviers de quartz et de feldspath friable. C'est un matériau compact à faible porosité, mais se divisant assez bien en éléments à faces bien marquées portant une fine bordure légèrement luisante, de forme polyédrique (1 cm) et souvent plus grossiers en mottes irrégulières. La cohésion d'ensemble est moyenne ; celle des mottes est forte. On note encore la pénétration de terre brune friable essentiellement sous forme de turricules constituant souvent de petits cylindres (0,5-1 cm de diamètre), dont l'importance diminue vers le bas. L'activité biotique permet également la pénétration de fines veines terreuses dans la masse des amas calcaires.
- 340 à 380 cm : Les amas calcaires deviennent plus larges, et les zones terreuses bien travaillées par la faune diminuent d'importance. Mais progressivement l'accumulation calcaire s'atténue et devient plus diffuse. En même temps, la couleur devient plus homogène et prend une teinte brun clair (7,5 YR 5/4-6/4). Le matériau est essentiellement motteux : 5-10 cm, à surfaces régulières et à arêtes vives. Il est très compact et à très forte cohésion (le marteau est nécessaire pour briser les mottes) ; la surface des mottes est fréquemment revêtue d'un dépôt calcaire laiteux.

Des profils échelonnés sur la pente et tout autour de la butte, dont le diamètre à la base est de l'ordre de 25 m, ont permis de déterminer la nature du matériau profond de la butte encroûtée, ainsi que la profondeur à laquelle se situe la roche en place. Nous avons pu aussi, de cette façon, repérer l'orientation N-S de l'ancien thalweg où se sont accumulés les matériaux.

Les observations dans les profils correspondant à l'amont et à l'aval de l'ancien thalweg concordent pour situer le plancher rocheux vers 5 m au-dessous de la surface du profil D13 (4,75 m dans le profil amont, 5,15 m dans le profil aval). Il s'agit d'un schiste assez fin à schistosité verticale, de couleur gris-verdâtre clair, plus ou moins altéré selon la finesse des feuilletés et présentant un toucher gras.

La stratigraphie des niveaux profonds a pu être établie, complétant les observations du profil D13.

Jusqu'à environ 400-450 cm (390 cm à l'amont 480 cm à l'aval), on retrouve un matériau comparable à celui observé à 380 cm dans le profil D13. La couleur brune est générale (7,5 Y 6/4) avec des nuances plus rougeâtres parfois. L'ensemble est constitué d'éléments motteux de taille variable. A certains niveaux ils prennent souvent une forme aplatie, de 1-2 cm d'épaisseur sur 4-5 cm de large, apparaissant empilés mais bien séparés par des fissures horizontales, verticales et obliques. Ailleurs, les mottes deviennent plus grossières et prismatiques : 5-10 cm de large. Ces éléments sont toujours très compacts et durs ; ils semblent avoir été fortement comprimés et présentent une certaine analogie avec le niveau 130-210 cm du profil D27 (t.s.1). Les fissures bien développées permettent de dégager facilement les mottes de la masse. La surface des mottes est revêtue d'un fin dépôt calcaire blanc-laiteux, avec parfois des taches noires probablement manganifères. L'accumulation calcaire est faible dans ce matériau compacté, mais elle est importante dans quelques lits alluviaux limoneux, constituant des zones massives claires (7,5 YR 8/2), sur 10-15 cm d'épaisseur, de consistance crayeuse et s'effritant facilement à l'ongle. Il n'y a pas de cailloux dans ce matériau, mais les sables et les graviers

sont abondants ; on remarque en particulier des grains blancs altérés et friables qui pourraient être des plagioclases.

A la base, reposant sur la roche, un niveau gravelo-caillouteux essentiellement schisteux et quartzeux, dont les éléments ne dépassent pas 5 cm. Ce matériau est associé à une matrice de terre fine rougeâtre. L'ensemble est friable à la partie supérieure, mais s'enrichit en calcaire par apparition d'une accumulation irrégulière en nodules qui se généralise à la base pour former un encroûtement massif irrégulièrement friable ou consistant. Par endroits, au contact de la roche, l'induration devient forte avec une accumulation compacte correspondant à un élément de dalle.

Vers 500 cm, apparaît, d'une façon irrégulière, un schiste fin à schistosité verticale et assez fortement altéré. La roche est gris-verdâtre plus ou moins clair selon l'état d'altération, avec des revêtements rubéfiés dans les fissures à la partie supérieure. Mais l'encroûtement massif s'est aussi développé dans ce schiste qu'il digère presque totalement à la partie supérieure ; cet encroûtement atténué donc considérablement le contraste entre la roche en place et son recouvrement. Il s'agit d'un encroûtement massif d'aspect tuffeux blanc-grisâtre (5 Y 8/1-7/1).

Profil F1 - Sol peu évolué d'érosion, sur encroûtement calcaire.

Pente de 5 % sur le flanc nord-est de la butte encroûtée. Surface jonchée de débris calcaires, avec quelques débris schisteux. Chaume après culture d'orge.

- 0 à 15 cm : Horizon de culture. Brun clair (7,5 YR 6/4-5/4). Sableux avec 40 à 50 % de débris calcaires et de graviers schisteux (1-3 cm) qui présentent souvent des traces d'encroûtement. Structure à tendance particulière, avec quelques polyèdres de 1 cm. Cohésion très faible. Porosité lacunaire bonne. Activité biotique peu visible. Enracinement herbacé bon et bien réparti. Limite ondulée, assez nette.
- 15 à 40-50 cm : Partie inférieure de l'horizon de remaniement. Brun (7,5 YR 5/4). Limono-sableux avec éléments grossiers comparables à ceux de l'horizon précédent. Pseudomycéliums très fins. Structure assez mal développée, polyédrique irrégulière (2-5 cm). Cohésion faible à moyenne. Porosité lacunaire assez bonne. Activité biotique très bonne dans la terre fine : nombreux turricules. Enracinement herbacé moyen, avec quelques débris de fine coquille calcaire. Limite ondulée, très nette.
- 40-50 à 60-70 cm : Encroûtement dense granulo-nodulaire et rognons calcaires. Les éléments calcaires, de taille et de forme variables, sont blanchâtres à brunâtres et présentent souvent des inclusions rougeâtres ; l'induration est maximum dans les zones brunes. Un fin réseau de terre brune friable, comparable à celle de l'horizon précédent se développe entre ces éléments calcaires. Limite ondulée, nette, par apparition de graviers et cailloux.
- 60-70 à 110-140 cm : Matériau gravelo-caillouteux, essentiellement constitué de fragments anguleux de schiste fin, plus ou moins altérés, dont la taille très variable peut atteindre 10-20 cm. Une matrice de terre rougeâtre (5 YR 5/6), limono-argileuse et non calcaire, représente environ 10-15 %. Cette terre fine rougeâtre est pénétrée par des galeries de terre brune contenant de nombreux turricules, issues de l'horizon précédent. Au-dessous de 70 cm dans ce matériau, l'accumulation calcaire constitue des amas farineux de forme et de taille irrégulières, ou bien un voile blanc-laiteux à la surface des éléments terreux ou caillouteux. De fines taches noires et blanches existent, par ailleurs, dans la terre fine. Limite ondulée, nette.
- 110-140 à 170 cm : D'une façon brutale mais irrégulière, apparaît un schiste fin à schistosité verticale. Il est grisâtre et l'altération se développe préférentiellement dans les zones les plus finement litées. Toutes les fissures et les zones altérées sont imprégnées de calcaire, quelques veines de terre brune bien travaillée par la faune sont bien visibles jusqu'à la base du profil dans la roche altérée.

A 10 m vers l'aval, les schistes apparaissent en affleurements rasants à la surface du sol.

CONCLUSIONS

Il apparaît donc que la butte encroûtée résiduelle (G3) correspond au comblement d'un ancien *thalweg* situé à la limite entre deux formations géologiques distinctes : schistes à l'est, granodiorite à l'ouest.

Le comblement s'est effectué par apport de matériaux à texture relativement fine dans l'ensemble, mais devenant plus grossière à la partie supérieure. Les cailloux schisteux et quartzeux issus des collines voisines n'ont été transportés que sur une courte distance et demeurent très irréguliers et anguleux.

La base du profil D12 correspond à un complexe alluvio-colluvial où se trouve impliqué un matériau rubéfié non calcaire. Le même type de matériau se retrouve par ailleurs parmi les alluvions qui constituent la butte. Ceci indique que *des sols rouges existaient dans la région avant le comblement du thalweg.*

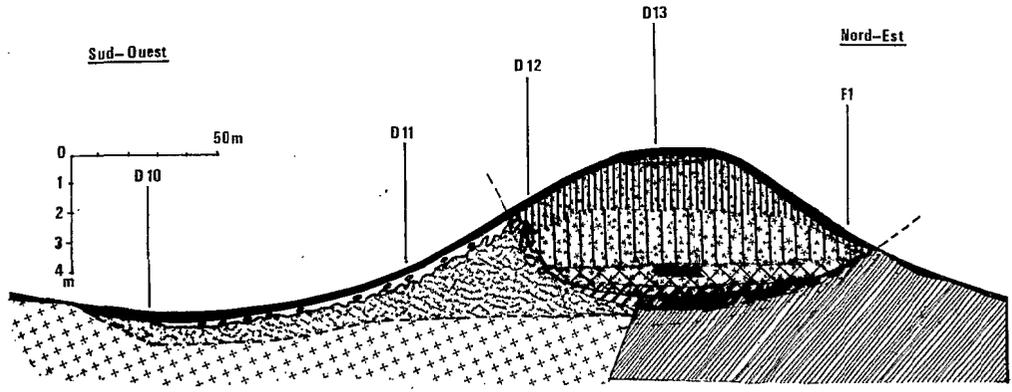
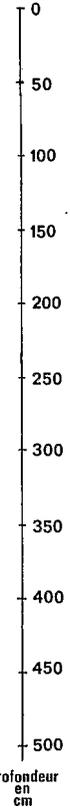
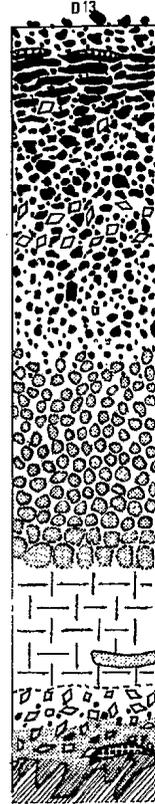
L'accumulation du calcaire qui s'est développée dans les alluvions du thalweg s'est aussi manifestée sur les zones d'affleurements granitiques et schisteux voisines. Des encroûtements résiduels, plus ou moins nets, subsistent en effet sur ces zones. Mais *l'accumulation calcaire, mieux nourrie par les solutions du sol circulant préférentiellement vers l'ancien thalweg, a été plus importante dans les alluvions de comblement de ce thalweg.*

L'intensité des encroûtements a pu ensuite jouer d'une façon sélective vis-à-vis de l'érosion, en protégeant les zones où ils étaient le plus développés. Ainsi, les alluvions du thalweg fortement encroûtées ont mieux résisté à l'érosion que les surfaces voisines, et *une inversion de relief s'est opérée.*

L'orientation N-S de l'ancien thalweg diffère de l'orientation NE - SW du réseau hydrographique actuel. Cependant, il s'agissait vraisemblablement d'un petit thalweg affluent dont la direction d'écoulement pouvait sensiblement différer de celle de l'ensemble du réseau. Après le *comblement, le niveau de drainage local a dû s'élever, au minimum de 5 m, facilitant ainsi l'encroûtement des matériaux.* Le niveau des thalwegs voisins actuels se trouve inférieur, d'environ 5 m, à celui de l'ancien thalweg reconnu sous le profil D13.

Les encroûtements nodulaires des profils D12 et F1 se situent à un niveau correspondant à l'encroûtement en larges amas qui existe sous la butte. Tout se passe comme si les amas de cet encroûtement, qui se sont retrouvés au voisinage de la nouvelle surface érodée sur les flancs de la butte après l'inversion de relief, s'étaient *indurés* en nodules. On note, d'ailleurs, qu'une partie reste friable dans le profil D12 et à la base du profil F1. De plus, une *tendance au feuilletage* se manifeste à la partie supérieure de l'encroûtement en D12.

Sur la butte encroûtée, les sols sont des *sols régosoliques* sur croûte calcaire (D12-D13 et F1). Ailleurs, les sols régosoliques existent également sur granodiorite (D10) comme sur schiste, mais l'approfondissement du profil dans les arènes (D11) ou les schistes altérés engendre des *sols bruns modaux* (avec amas). Des *sols minéraux bruts* occupent les zones d'affleurement de roches non ou peu altérées.



TOPOSEQUENCE: 4

TOPOSEQUENCE 5

Cette toposéquence est située en rive gauche de l'oued Tensift, près du douar El Guern. C'est dans cette région qu'apparaissent distinctement les anciennes terrasses alluviales encroûtées (T3 et T2), au-dessus de la basse terrasse limono-sableuse (T1). Ces terrasses se différencient encore plus nettement vers l'est, comme le montrera la toposéquence 7.

ETUDE DES PROFILS

Profil D 85 - Sol peu évolué d'érosion, sur carapace calcaire.

Sur la bordure nord d'une des grandes zones encroûtées du Haouz septentrional. Sommet de la rupture de pente vers la vallée de l'oued Tensift : 3-4%. Surface jonchée de nombreux éléments résiduels calcaires pouvant atteindre 10 cm et couvrant 30-40% ; par endroits, graviers et petits cailloux inférieurs à 5 cm de roches d'origine atlasique : galets fragmentés de grès, roches vertes et violacées. Végétation herbacée très faible.

- 0 à 5-20 cm : Horizon de remaniement très riche en débris calcaires irréguliers (anguleux mais émoussés) de toutes tailles jusqu'à 10-15 cm. Certains noyaux calcaires très durs et compacts sont de couleur brun-rosâtre, alors que la zone périphérique plus ou moins large est plus claire : blanchâtre à beige, et apparaît parfois zonée. Certains éléments sont irrégulièrement moins indurés et finement craquelés. Quelques rares graviers de roches atlasiques. Terre fine brun clair (7,5 YR 6/4), limoneuse, représentant environ 40%, avec pseudomycéliums irrégulièrement apparents. Structure bien développée, polyédrique irrégulière (0,3-1 cm). Cohésion d'ensemble assez faible, souvent moyenne des éléments structuraux. Porosité lacunaire bonne. Activité biotique bonne. Enracinement médiocre mais assez bien réparti entre les éléments grossiers ; à la base, les racines sont plaquées contre la pellicule rubanée sous-jacente. Limite ondulée, nette.
- 5-20 à 140 cm : Encroûtement calcaire feuilleté. Les feuillets de croûte dépassent rarement 5 cm d'épaisseur. Couleur blanchâtre, parfois plus brune, mais la croûte présente de fines craquelures qui facilitent sa dislocation en éléments irréguliers de taille variable jusqu'à 5-10 cm. A la partie supérieure, certaines zones prennent l'aspect de dalle compacte très dure, brun-rosâtre. Au sommet, une pellicule rubanée de 1-2 cm d'épaisseur, très ondulée, épouse l'irrégularité de l'encroûtement. Vers 100 cm, des feuillets présentent parfois l'aspect d'éléments de dalle pouvant atteindre 20-30 cm d'épaisseur. Cet encroûtement peut perdre à certains niveaux sa structure feuilletée et prendre un caractère plus nodulaire, devenant ainsi plus friable. Entre les indurations calcaires, terre fine brun-rougeâtre clair (5 YR 6/4), limoneuse, mais plus argileuse que dans l'horizon remanié, et très bien travaillée par la faune (turricules). Quelques rares graviers et petits cailloux originaires de l'Atlas. Terre fine bien structurée, polyédrique émoussée (≤ 1 cm), à cohésion moyenne à faible. Enracinement très faible, sauf à la partie supérieure, souvent souligné par des pseudomycéliums. Limite assez régulière et progressive.
- 140 à 300 cm : Encroûtement calcaire hétérogène, nodulaire et à rognons. Les éléments calcaires sont irrégulièrement indurés et représentent 80 à 90% de l'ensemble ; ils sont en contact étroit dans certaines zones, plus lâches ailleurs. Dans les zones d'accumulation dense, l'induration irrégulière et la présence de fines craquelures permettent la libération d'éléments de toutes tailles jusqu'à 5-10 cm. Couleur beige clair plus ou moins blanchâtre. Certaines zones apparaissent plus brunes, plus massives et fortement indurées ; vers 260 cm, un niveau plus compact sur 25 cm constitue une dalle soudant des graviers et cailloux arrondis. La terre fine brun-rougeâtre clair (5 YR 6/4), bien travaillée par la faune, occupe des galeries anastomosées pouvant représenter jusqu'à 30-40% dans les zones granulo-nodulaires ; elles sont rares mais pas totalement inexistantes dans les zones d'encroûtement dense. Le matériau encroûté possède quelques graviers et cailloux constitués de galets originaires de l'Atlas ; on remarque des galets de granite arénisés.
- à 300 cm : D'un côté du profil, passage assez brutal à une dalle massive assez riche en petits galets divers, de couleur brun clair, parfois plus blanchâtre et moins compacte mais très riche en sable et graviers. La partie supérieure plus brune apparaît plus indurée sur 2-3 cm d'épaisseur.
- A environ 200 m à l'ouest du profil D85, vers un petit thalweg qui détermine une dénivellation de 5 m environ, nous avons pu observer dans un rhattara la coupe suivante :
- 0 à 90-110 cm : Matériau alluvial sablo-graveleux et petits galets originaires de l'Atlas, avec des éléments de calcaire fin blanchâtre issus du matériau sous-jacent remanié, soudés en masses compactes par un ciment calcaire brun clair. L'ensemble constitue des lits irréguliers, souvent d'aspect rognoneux, pouvant atteindre 5 cm d'épaisseur, et parfois entrecroisés. L'induration forte diminue vers le bas où se développe une tendance crayeuse.
- 100-300 cm : Calcaire très fin, fortement induré, blanchâtre, constituant des bancs compacts d'épaisseur variable jusqu'à 30 cm. Cependant ces bancs n'offrent pas un aspect massif sur toute leur épaisseur, notamment les moins épais qui présentent une forme amygdaloïde grossière : la surface irrégulière constitue des formes ovales étirées dans le sens des bancs, de 5-10 cm de longueur. On note la présence de quelques rares galets issus de l'Atlas.
- Ce calcaire fin, vraisemblablement d'origine lacustre, se retrouve à d'autres endroits dans cette région bordant l'oued Tensift. On l'observe à 60 m à l'aval du profil D85, dans un puits.

On peut également en rapprocher le calcaire des carrières situées au nord de Marrakech, près du Djebel Gueliz et de la route de Casablanca. Dans ce dernier cas, cependant, il existe une grande variété du faciès qui présente irrégulièrement des couches crayeuses, des bancs clairs massifs et des feuilletés nodulaires. Sur les fronts de carrière qui peuvent atteindre 6-7 m de hauteur, la base apparaît souvent crayeuse, puis succèdent des bancs compacts d'épaisseur variable et irrégulièrement fracturés alternant avec des feuilletés nodulaires ; ces derniers deviennent généralement prépondérants vers le sommet. Les feuilletés nodulaires ainsi que certains petits lits plus massifs peuvent être entrecroisés. Cette disposition évoque une origine fluvio-lacustre qui aurait pu se développer à l'emplacement d'un estuaire lacustre fluctuant.

Profil D 95 - Sol peu évolué d'érosion, sur carapace calcaire.

Bas de pente au-dessous du profil D85, s'atténuant à 2% vers l'aval. Affleurements de dalle calcaire, avec nombreux débris calcaires, graviers et cailloux divers d'origine atlasique ne dépassant pas 10 cm. Faible végétation herbacée, quelques rejets de jujubier en touffes.

- 0 à 15-30 cm : Horizon de remaniement riche en éléments calcaires irréguliers, de taille variable jusqu'à 4-5 cm ; quelques graviers de roches atlasiques. Environ 50% de terre fine limono-sablo-argileuse, de couleur brun clair (7,5 YR 6/4-5/4), avec fins pseudomycéliums. Structure lamellaire en surface, motteuse à la partie supérieure, polyédrique assez bien développée (0,5-3 cm) vers le bas. Cohésion irrégulière, assez faible d'ensemble, moyenne à forte des éléments structuraux. Porosité lacunaire moyenne et fine, bonne. Activité biotique assez bonne. Enracinement herbacé moyen. Cet horizon disparaît dans un coin occupé par un élément de dalle. Limite ondulée très nette.
- 15-30 à 40-70 cm : Encroûtement feuilleté assez dense. Au sommet, dalle compacte de 10 cm d'épaisseur, apparaissant ondulée et disloquée en éléments de 15 à 40 cm de large, avec une pellicule rubanée à la surface supérieure. Cette dalle est absente par endroits, mais dans un coin un élément superposé affleure (sans doute s'agit-il d'un élément remanié : sans pellicule rubanée nette). Cette dalle compacte, brun-rougeâtre clair et très dure, soude des cailloux irréguliers de calcaire lacustre. Au-dessous, on retrouve ces mêmes cailloux dans la croûte feuilletée. Les feuilletés de croûte sont d'épaisseur variable, inférieure à 10 cm et diminuant vers le bas ; couleur à nuances brunes ou blanchâtres. Ils sont fortement indurés, mais présentent de fines cavités ou fissures qui les distinguent bien de la dalle. Entre les feuilletés de croûte, terre fine brun-rougeâtre clair (5 YR 6/4), avec pseudomycéliums et granules nombreux. Elle est bien travaillée par la faune et bien structurée : polyédrique émousée (0,3-1 cm) ; cohésion faible ; porosité lacunaire moyenne, bonne. Enracinement faible dans les zones terreuses. Limite irrégulière et graduelle.
- 40-70 à 140 cm : Encroûtement granulo-nodulaire (éléments jusqu'à 5 cm) assez dense, où l'on retrouve des cailloux de calcaire lacustre, avec quelques galets. Les éléments calcaires sont blanchâtres parfois brunâtres et indurés. Voile calcaire laiteux sur les cailloux fissurés. Terre fine brun-clair (7,5 YR 6/4), limono-argileuse et comparable par ailleurs à celle de l'horizon précédent ; elle représente jusqu'à 40% dans certain cas et assure une bonne friabilité de l'ensemble.
- à 140 cm : Assez brutalement, on passe à une dalle calcaire ; mais d'un côté, l'horizon précédent granulo-terreux pénètre sur 20 cm. Couleur brun clair, avec quelques galets divers et des cailloux de calcaire lacustre soudés dans la dalle. Cette dalle est très dure avec quelques fines cavités, mais l'induration est moins importante que dans le calcaire fin lacustre.

Profil D 96 - Sol peu évolué d'érosion, sur carapace calcaire.

Zone plane. Surface récemment travaillée, avec nombreux débris de dalle calcaire (jusqu'à 20 cm), cailloux et graviers. Les cailloux et graviers sont des galets qui présentent des traces d'encroûtement ; ils sont constitués de roches atlasiques : grès, roches vertes, granite. Chaume après culture d'orge.

- 0 à 20 cm : Horizon de culture riche en débris calcaires irréguliers, de toutes tailles jusqu'à 3-4 cm, parfois 10 cm ; avec nombreux petits cailloux en surface. Les éléments grossiers constituent environ 40-50%. Terre fine calcaire, brune (7,5 YR 5/4), limoneuse. Elle a été récemment travaillée et apparaît meuble avec des polyèdres émousés (0,5-1 cm). Cohésion d'ensemble très faible, plus moyenne des éléments structuraux. Porosité lacunaire moyenne et grossière, bonne. L'enracinement de l'orge est surtout développé à la base. Limite régulière sur 2-3 cm.
- 20 à 30-50 cm : Base de l'horizon remanié, avec nombreux débris calcaires irrégulièrement répartis. Ces éléments calcaires irréguliers peuvent atteindre 10 cm de large. Certains sont très compacts et de couleur brune ; d'un côté, on note deux éléments de dalle de 7 à 8 cm d'épaisseur et 10 à 20 cm de large, indurés et irrégulièrement fissurés. Un très léger revêtement rougeâtre apparaît sur la paroi des fissures. Terre fine calcaire en proportion variable, pouvant représenter environ 50%, brun-rougeâtre (5 YR 5/4), contrastant avec des zones plus brunes moins étendues. Texture limono-argileuse. Structure assez bien développée, polyédrique (0,5-1 cm, parfois 3 cm). Cohésion d'ensemble moyenne, assez forte des polyèdres. Porosité et activité biotique assez bonnes mais irrégulièrement développées ; les zones rougeâtres sont généralement compactes, tandis que les zones brunes qui les pénètrent sont très bien travaillées par la faune. Enracinement moyen, irrégulièrement réparti. Limite ondulée, oblique d'un côté, bien tranchée sur 1 cm.

30-50 à 85 cm : Encroûtement feuilleté dense. Dalle compacte sur les 20 cm supérieurs, du côté où l'horizon remonte à 30 cm. Au-dessous, les feuillets de croûte présentent de petites cavités et la couleur n'est pas homogène : blanchâtre à zones plus ou moins brunes. L'épaisseur des feuillets est de l'ordre de 5 cm à la partie supérieure ; elle devient plus faible vers le bas. En même temps le feuilletage se désorganise progressivement pour passer à l'encroûtement granulaire qui se développe au-dessous. Ce passage est accompagné par une extension des zones terreuses : brun-rougeâtre clair (5 YR 6/4), limoneuses à limono-argileuses, très bien travaillées par la faune, et où se développent encore quelques racines. Quelques galets originaires de l'Atlas. Limite très progressive.

85 à 160 cm : Encroûtement granulaire, avec granules bien individualisés et nombreux. On observe aussi, surtout vers le bas, des taches blanchâtres irrégulières, sur 2-3 cm de diamètre, et de couleur blanc-crèmeux ; ces zones d'accumulation calcaire sont irrégulièrement friables et contiennent des petits noyaux indurés. Petits cailloux de roches diverses irrégulièrement répartis. Proportion assez importante de terre fine : 30-40%, brun-rougeâtre clair (5 YR 6/4), limoneuse à limono-argileuse ; elle est bien travaillée par la faune, avec une bonne porosité qui induit une assez faible cohésion d'ensemble. Vers 160 cm, dans un coin du profil, on remarque un élément de dalle massive en place, de 2 à 4 cm d'épaisseur. Limite progressive.

160 à 200 cm : Au-dessous de 160 cm. L'accumulation en zones irrégulièrement indurées s'accroît pour constituer la forme la plus importante, en larges concentrations de 5 à 10 cm ; la friabilité augmente et tend à se généraliser vers le bas. En outre, présence assez fréquente de petits éléments calcaires aplatis horizontalement : 1,5 cm environ d'épaisseur, compacts et très durs. Ils sont de couleur brune tachetée de noir. Terre fine bien travaillée par la faune, semblable à celle de l'horizon précédent. Limite régulière sur 5-10 cm.

200 à 230 cm : Aspect semblable au précédent niveau. Grandes zones calcaires blanc-crèmeux, pouvant atteindre 10 cm, masquant en grande partie la terre fine un peu moins claire (5 YR 6/4-5/4) associée aux granules. Ces zones blanchâtres constituent de larges amas friables faiblement poreux qui contiennent des petits éléments fortement indurés, aplatis (1 cm), bruns avec dendrites sombres mal dessinées. Ces éléments indurés existent également en dehors des amas friables et ils peuvent prendre des formes irrégulièrement plus grossières, mais conservent les mêmes caractères d'induration et de couleur. L'ensemble est encore peu consolidé. Engainements noirs dans la terre fine ; ceux-ci sont peu distincts. Les zones terreuses ne font que faiblement effervescence en présence d'acide : la ségrégation du calcaire est particulièrement nette à ce niveau. Limite progressive.

230 à 265 cm : L'accumulation en éléments aplatis, bruns, homogènes et très durs, devient plus dense et prend un aspect feuilleté vers le bas ; toutefois, on observe encore des zones de pénétration de terre fine bien travaillée par la faune et de larges amas farineux. Il s'agit cependant d'un encroûtement induré et non friable dans son ensemble, qui passe irrégulièrement à un élément de dalle massive de 10 cm d'épaisseur à 265 cm d'un côté du profil. Cette dalle est brun clair, dure et compacte, avec des dendrites sombres sur les fractures ; on note aussi quelques petites alvéoles contenant des recristallisations de calcite.

A 120 m à l'ouest du profil D96, nous avons observé un puits abandonné en cours de creusement. La surface du sol à cet endroit se situe à un niveau inférieur de 1 m par rapport à celle de D96.

0 à 100 cm : Matériau alluvial grossier, constitué de galets de nature variée issus de l'Atlas ; certains atteignent 10 cm de diamètre ; quelques-uns sont bien altérés et se désagrègent facilement : granite, andésite. Encroûtement calcaire en lits irréguliers, ondulés et durs, de couleur brun clair parfois blanchâtre ; ils peuvent atteindre 10 cm d'épaisseur et alternent avec des zones friables. Limite ondulée et brutale.

100 à 300 cm : Encroûtement feuilleté assez dense en petits éléments aplatis de 1-2 cm d'épaisseur, à cristallisation fine et dure, semblables à ceux observés en profondeur dans le profil D96. Au-dessous de 220 cm, les feuillets deviennent plus denses et plus épais, jusqu'à 5 cm d'épaisseur, mais ils alternent encore avec des zones de terre friable qui contiennent de nombreux granules irrégulièrement indurés.

Vers 300 cm : On passe régulièrement à un matériau en dalles compactes, épaisses de 30 à 40 cm, à grain très fin, de couleur brun clair, avec quelques lignes de discontinuité et petites cavités qui induisent des formes anguleuses allongées ; présence de dendrites et recristallisation de calcite. Sur toute la hauteur et jusqu'à la base (350 cm), on trouve quelques galeries contenant de la terre limoneuse à limono-argileuse, brun-rougeâtre, bien travaillée par la faune.

L'encroûtement en feuillets fins est comparable à celui qui a été observé à la base du profil D96 dans un matériau comparable.

Le développement en dalles massives qui s'observe ici peut également exister à grande profondeur dans le profil D96. Il est intéressant de remarquer la nature différente de l'accumulation calcaire selon le type de texture des matériaux. Dans le puits, le matériau alluvial grossier de la partie supérieure a favorisé le développement de lits calcaires irréguliers et ondulés. Dans le profil D96, le matériau fin, situé à un niveau équivalent, est occupé par des concentrations en petits éléments aplatis.

Profil D 86 - Sol peu évolué d'érosion, sur alluvions grossières encroûtées.

Replat de terrasse, légèrement plus bas que le niveau du profil D96. Surface irrégulièrement travaillée, recouverte à 80% d'éléments grossiers : fragments calcaires résiduels pouvant atteindre 10-15 cm, graviers et galets de roches diverses originaires de l'Atlas, présentant fréquemment des traces d'encroûtement. Faible végétation herbacée.

0 à 30-40 cm : Niveau de remaniement composé à 50-60% d'éléments grossiers : débris calcaires irréguliers soudant des graviers et galets, galets divers pouvant présenter des traces d'encroûtement ; quelques galets de granite se désagrègent assez facilement. Sur les 10-15 cm supérieurs, correspondant à l'horizon de culture, terre fine brune (7,5 YR 5/4) limono-sablo-argileuse. Au-dessous de 10-15 cm, la terre est plus rougeâtre (5 YR 5/4), à texture limono-argilo-sableuse ; par ailleurs, la réaction à l'acide est plus violente qu'à la partie supérieure, laquelle apparaît faiblement calcaire. Surface battue, mais la structure est bien développée entre les éléments grossiers : polyédrique irrégulière 0,2-1 cm. Cohésion moyenne, plus forte vers le bas. Porosité lacunaire très bonne, diminuant vers le bas. Activité biotique bonne. Enracinement herbacé moyen à la partie supérieure, médiocre au-dessous. Limite ondulée, très nette.

30-40 à 120 cm : Matériau alluvial grossier. Galets de toutes tailles de 1 à 15-20 cm, la fraction la plus grossière étant la plus importante. La nature pétrographique des galets est très variée et indique une origine atlasique ; les roches grenues se désagrègent assez facilement. Encroûtement calcaire en lits irréguliers soudant les galets ; ils sont compacts de couleur brun clair, et constituent des dalles d'épaisseur très variable, dépassant souvent 10 cm, et parfois jusqu'à 30 cm. A la partie supérieure, une pellicule rubanée d'environ 0,5 cm d'épaisseur épouse toutes les ondulations de la limite avec l'horizon supérieur. Sur les 15 à 20 premiers cm, l'encroûtement apparaît plus fragmenté dans certaines zones, avec des revêtements légèrement rougeâtres. Entre les lits compacts, les couches de terre friable ont une épaisseur de 5 à 20 cm. La terre fine est jaune-rougeâtre (5 YR 6/6), limono-argileuse avec graviers et granules. Elle est friable, à structure polyédrique fine à moyenne. Porosité et activité biotique bonnes. Les racines herbacées sont rares mais encore présentes à la base.

Profil D 87 - Sol brun encroûté subtropical, sur alluvions limono-caillouteuses.

Surface sensiblement plus basse que celle du profil précédent (D86), mais elle est également légèrement déprimée par rapport au profil suivant (D90) situé à proximité de l'oued Tensift. Nombreux galets et graviers de roches diverses, avec quelques débris calcaires. Chaume de céréale, quelques touffes de jujubier.

0 à 15-20 cm : Horizon de culture, calcaire. Brun-rougeâtre (5 YR 5/3). Limoneux avec sable et aussi quelques graviers et cailloux irréguliers de roches variées : grès, roches vertes. Ces cailloux sont de taille réduite pour la plupart, mais certains peuvent atteindre 10-15 cm. Ils sont irrégulièrement répartis et peu nombreux : environ 10%, sauf à la base où leur proportion atteint 50%. On note aussi quelques éléments calcaires résiduels. Structure irrégulièrement développée : motteuse (5-10 cm), parfois polyédrique émoussée (jusqu'à 0,5-1 cm) surtout à la base. Cohésion d'ensemble assez faible, moyenne des mottes. Porosité lacunaire médiocre. Enracinement herbacé moyen et assez bien réparti. Limite légèrement ondulée, distincte.

15-20 à 50-55 cm : Horizon de remaniement contenant 60 à 80% d'éléments grossiers : éléments calcaires irréguliers, de taille variable jusqu'à 10-15 cm, beaucoup sont bruns et massifs, soudant des sables et graviers ; présence aussi de graviers et petits cailloux de roches variées. Terre fine calcaire, brun-rougeâtre (5 YR 5/3-4/3), limoneuse plus argileuse, très bien travaillée par la faune et se divisant en petits éléments émoussés. Cohésion d'ensemble assez faible. Porosité lacunaire bonne. Enracinement médiocre. Limite ondulée, nette.

50-55 à 170 cm : Matériau alluvial gravelo-caillouteux : galets de roches très variées, originaires de l'Atlas, de taille variable jusqu'à 5 cm, parfois 10 cm. Encroûtement irrégulier à caractère d'ensemble nodulaire. L'accumulation calcaire constitue un réseau de zones anastomosées blanchâtres et craquelées en éléments indurés de taille variable jusqu'à 2-3 cm ; les noyaux très indurés apparaissent compacts et brunâtres ; quelques éléments compacts plus grossiers existent aussi. A la partie supérieure, existe par endroits une croûte pelliculaire de 5 cm d'épaisseur. L'encroûtement apparaît plus friable dans certaines zones et plus cohérent à d'autres. La terre fine, brun-rougeâtre (5 YR 5/4), limono-argileuse, représente de 5 à 10%, et constitue un fin réseau terreux où l'activité biotique est très importante. Limite brutale.

A 170 cm : On passe brutalement à un niveau à galets grossiers : 10-15 cm, cimentés dans un encroûtement calcaire en dalles compactes constituant des lits irréguliers. Ce matériau alluvial encroûté est comparable à celui observé dans le profil D86.

Profil D 90 - Sol peu évolué d'érosion, sur alluvions encroûtées.

Surface convexe surplombant légèrement la basse terrasse alluviale de l'oued Tensift. Nombreux fragments calcaires de 5 à 15 cm, avec galets de roches très diverses pouvant atteindre 20 cm ; les éléments grossiers couvrent la surface du sol à 80%. Très faible végétation herbacée.

0 à 15-20 cm : Horizon de remaniement contenant environ 40% d'éléments grossiers : fragments calcaires, graviers et petits cailloux. Terre fine brune (7,5 YR 5/4), limono-sableuse. Structure irrégulièrement développée, polyédrique émoussée (0,2-1 cm) ou motteuse. Cohésion faible. Porosité et activité biotique bonnes, sauf dans les mottes. Enracinement moyen mais irrégulier. Limite ondulée, nette.

15-20 à 140 cm : Matériau alluvial à texture dominante sableuse jusqu'à 80 cm, puis caillouteuse à galets de 5 cm parfois 10 cm, jusqu'à la base. Encroûtement en lits irréguliers moins épais à la partie supérieure, où l'on observe des éléments de dalle de 5-10 cm et parfois 20 cm d'épaisseur. Sur les 30 cm supérieurs, la couleur apparaît blanchâtre ; les éléments sont craquelés et présentent des revêtements rouille. Quelques zones sont granulaires et bien friables. A la partie inférieure, dans les galets, les lits compacts irréguliers sont plus épais. Mais dans l'ensemble du matériau, il existe des couches friables alternant avec les lits indurés ; leur importance est variable d'un niveau à l'autre. La terre fine est très bien travaillée par la faune et favorise la pénétration des racines. Ce matériau alluvial encroûté peut être comparé à celui qui existe dans le profil D86 et à la base du profil D87.

CONCLUSIONS

L'étude de cette toposéquence 5 permet de distinguer plusieurs formations superficielles qui présentent des caractères lithologiques et pédologiques différents.

A l'amont, les *calcaires lacustres* représentent la formation la plus ancienne attribuée au *Quaternaire ancien*. Ils constituent un talus d'affleurement dont le sommet correspond à un niveau stratigraphique qui se retrouve un peu plus loin à l'est, érodant le substratum schisteux : la faible couverture alluviale de galets atlasiques encore visibles y est directement au contact des schistes, dont la partie supérieure a également subi l'encroûtement. Ce sont les vestiges d'une *terrasse* de l'oued Tensift, la plus ancienne reconnaissable dans la région.

Les encroûtements calcaires des profils D85, D95 et D96 constituent une *carapace calcaire* analogue à celle qui caractérise le *glacis encroûté* G3 sur les autres toposéquences 1, 2, 4, 6, 7 et 8. Dans le cas de cette toposéquence 5, il faut distinguer deux zones encroûtées de niveau différent, séparées par le talus d'affleurement des calcaires lacustres. Ce talus représente une ancienne berge qui n'a pas été totalement rabotée (comme cela est le cas à une centaine de mètres vers l'amont de la vallée), en raison de la grande dureté de la roche calcaire. Les profils D95 et D96 appartiennent à l'extrême aval du glacis se raccordant à la terrasse d'alluvions grossières T3 du Tensift. Il faut considérer, en fait, que la grande résistance des calcaires lacustres à l'érosion a induit une rupture à l'extrême aval du grand glacis G3 du Haouz. Malgré la dénivellation relativement importante qui en résulte, la carapace calcaire s'est parfaitement développée sur les deux segments amont et aval. L'intensité de l'accumulation calcaire apparaît toutefois plus forte dans le profil du sommet (D85), tandis que la dalle compacte à la partie supérieure de l'encroûtement feuilleté est bien mieux développée dans les profils du bas (D95) ; de plus, un encroûtement en larges amas s'est différencié dans le profil D96.

Le puits situé à l'ouest du profil D96 montre que des alluvions grossières semblables aux alluvions de la terrasse T3 (profils D86 et D90) peuvent recouvrir des alluvions fines comparables à celles observées en profondeur dans le profil D96. Cela indique que ces *alluvions fines profondes* sont pour le moins *contemporaines des alluvions grossières T3*. Il pourrait s'agir d'apports latéraux déversés en avant du talus d'affleurement des calcaires lacustres et mal repris par l'oued Tensift. C'est vraisemblablement sous l'influence de la même nappe phréatique que l'encroûtement en lits irréguliers compacts, considéré comme dalles de nappe, s'est développé en profondeur dans les alluvions fines et grossières. L'apparente continuité de la séquence d'accumulation calcaire dans le profil D96, permet de penser que les *différentes formes d'encroûtements* : feuilletés, nodulaires, en larges amas et en lits compacts profonds, se seraient développées au cours d'une *même phase de paléogénèse*.

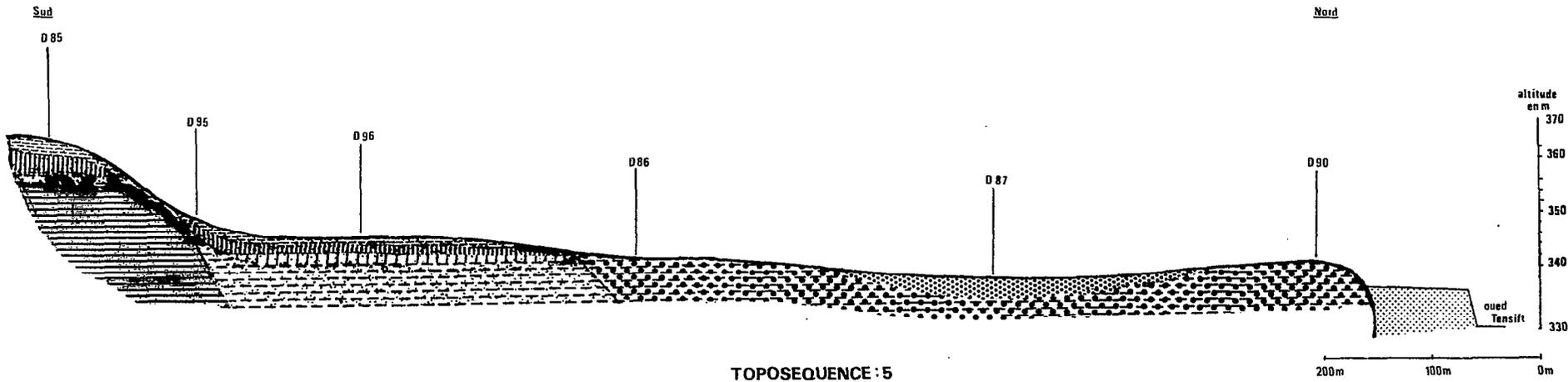
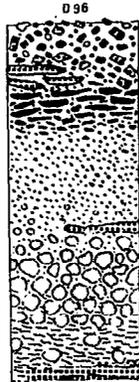
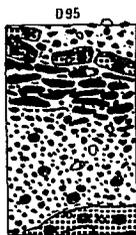
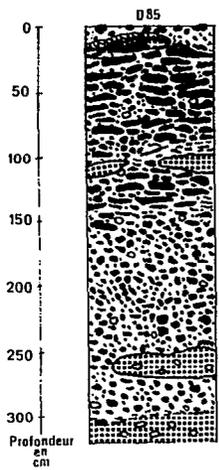
Comme partout ailleurs, les zones fortement encroûtées (G3 et T3) ont été érodées et portent actuellement des *sols régosoliques*.

Les *alluvions caillouteuses moins grossières*, situées autour du profil D87, correspondent à des dépôts plus récents de l'oued Tensift. Il peut s'agir d'un ancien bras de divagation du Tensift, existant au moment de la mise en place des alluvions de la *moyenne terrasse T2*, qui apparaissent pour la première fois ici, vers l'aval de la vallée. Cette terrasse n'entaille que très faiblement la terrasse supérieure T3, mais elle s'en détache d'une façon plus nette assez rapidement vers l'ouest.

L'évolution de ces alluvions T2 est essentiellement marquée par une différenciation très nette du profil calcaire qui caractérise des *sols bruns encroûtés*. Les caractères de l'évolution pédologique rapprochent ces alluvions des épandages caillouteux à matrice rubéfiée (G2) des cônes et des thalwegs situés sur la bordure méridionale des Djebilet (t.s. 2 et 3). La situation topographique et la présence à faible profondeur (parfois même dans le profil sous forme d'éléments détritiques) des alluvions encroûtées plus anciennes, ont sans doute facilité l'accumulation relativement forte du calcaire dans ces sols.

Enfin, la *basse terrasse T1* constituée d'alluvions fines récentes borde le lit actuel de l'oued. Elle porte des *sols peu évolués d'apport*, faiblement à moyennement salé.

Trois phases d'alluvionnement peuvent être distinguées ici, à l'aval des calcaires lacustres, en bordure de l'oued Tensift. Les formations alluviales se situent à des niveaux très proches, et l'étude de l'évolution des différents matériaux est essentielle pour distinguer et caractériser chacune d'elles.



TOPOSEQUENCE 6

Cette toposéquence est située sur la rive droite de l'oued Tensift, à 2 km en aval de la toposéquence 5. Elle est placée sur un interfluve qui correspond à la partie inférieure d'un long glacis encroûté (G3), passant vers l'aval à des alluvions grossières encroûtées (T3). Ces alluvions sont irrégulièrement recouvertes par des épandages caillouteux rougeâtres, localisés sur les flancs de l'interfluve. Un affleurement schisteux légèrement en relief, mais fortement imprégné de calcaire, apparaît parmi les alluvions grossières encroûtées et soutient le sommet de l'influve près de l'oued. Les profils sont alignés suivant une direction NNE-SSW.

ETUDE DES PROFILS

Profil D80 - Sol peu évolué d'érosion, sur carapace calcaire.

Zone plane, à pente faible, inférieure à 1 % vers le sud. Surface battue, recouverte à 10-15 % par des débris calcaires, avec des graviers irréguliers de schistes quartzeux issus des Djebilet. Nombreuses plages de lichens blanchâtres, avec une faible végétation : *Atriplex halimus*, *Ziziphus lotus*, petites graminées.

- 0 à 20-40 cm : Horizon de remaniement riche en éléments grossiers : graviers et petits cailloux de schistes quartzeux anguleux, débris calcaires avec des éléments de dalle compacte de 30 cm de long sur 5-10 cm d'épaisseur, de même aspect que la dalle sous-jacente. Les éléments grossiers représentent 60 à 80%, un peu moins à la partie supérieure. Terre fine, brun clair (7,5 YR 5/4-6/4), limoneuse argileuse, avec un réseau dense de fins pseudomycéliums. Structure bien développée entre les cailloux, polyédrique émoussée (0,5-1 cm). Cohésion d'ensemble faible, un peu plus forte des éléments structuraux. Porosité lacunaire fine et moyenne, bonne. Activité biotique bonne : nombreux turricules. Enracinement faible (peu de végétation). Limite très ondulée, plus ou moins nette selon les endroits.
- 20-40 à 80 cm : Encroûtement feuilleté, à feuillets de dalle compacte de 5-10 cm d'épaisseur, légèrement ondulés. Ils sont moins épais et moins allongés vers le bas où ils passent à un encroûtement nodulaire. La dalle apparaît très dure, brun-rougeâtre clair, et soude des graviers de schistes verdâtres et des quartz. Entre les feuillets, les zones nodulaires sont friables avec une terre fine bien travaillée par la faune, comparable à celle de l'horizon précédent. Les nodules sont plus clairs et moins compacts que les feuillets de dalle. Limite assez régulière, progressive.
- 80 à 195 cm : Encroûtement granulo-nodulaire et rognoneux, dense, en éléments indurés brun clair constituant par endroits des zones massives assez larges : 10-15 cm, mais irrégulières. Le matériau est riche en graviers et petits cailloux de schiste ardoisier, avec quelques quartz sur 5 cm d'épaisseur à la base, un petit lit graveleux contient une proportion importante de terre rouge et apparaît moins encroûté. Entre les éléments calcaires, la terre fine constitue un réseau de galeries et quelques poches, représentant 10 à 20 % ; elle est bien marquée par l'activité biotique. L'encroûtement apparaît plus dense d'un côté du profil, au-dessous de 140 cm. La couleur brun-rougeâtre (5 YR 5/3) de la terre fine contraste fortement avec la teinte claire de l'encroûtement. Limite ondulée, peu contrastée.
- 195 à 220 cm : Schiste fin à schistosité verticale, altéré mais en place. Il contient un encroûtement peu distinct du précédent, fortement induré dans l'ensemble, mais à induration irrégulière. Couleur brune et grisâtre, avec quelques rares zones de pénétration de terre fine contenant de nombreux turricules.

Profil D81 - Sol peu évolué d'érosion, sur carapace calcaire.

Pente faible : 1-2 %. Surface non travaillée, fortement battue et à plages de lichens, occupée à 20-30 % par des débris calcaires pouvant atteindre 10-15 cm, avec quelques graviers de schistes quartzeux et de quartz. Végétation très faible, surtout petites graminées.

- 0 à 15-25 cm : Horizon de remaniement contenant 50 % d'éléments grossiers, essentiellement constitués de fragments calcaires très durs jusqu'à 5-10 cm, brun clair, avec des anfractuosités à revêtements laiteux ; pratiquement pas d'éléments rocheux, sauf à la partie supérieure. Terre fine brun clair (7,5 YR 5/4-6/4), limoneuse. Structure lamellaire en surface sur 1-2 cm ; puis polyédrique émoussée (0,2-1 cm) bien développée ; essentiellement sous forme d'anciens turricules entre les éléments grossiers. Cohésion faible. Porosité lacunaire et activité biotique très bonnes. Enracinement médiocre. Limite ondulée, nette au-dessus d'un feuillet de dalle, peu contrastée si on passe à une zone nodulaire.

- 15-25 à 60 cm : Encroûtement feuilleté à feuillets de dalle compacte de 5-10 cm d'épaisseur. Calcaire brun soudant quelques sables. Pellicule rubanée sur les faces supérieures ou obliques. Léger revêtement laiteux sur les faces d'anciennes fissures. Entre les feuillets, terre fine brun clair (7,5 YR 6/4-5/4), limoneuse à limono-argileuse, associée à des granules et nodules ; elle est très bien travaillée par la faune. Limite régulière sur 5 cm, par disparition des feuillets.
- 60 à 130 cm : Encroûtement granulo-nodulaire occupant 70 à 80 % de l'ensemble. Les accumulations sont blanchâtres et craquelées libérant des éléments irréguliers indurés, légèrement poreux avec de petites craquelures. Les éléments les plus grossiers, atteignant 5 cm, apparaissent plus compacts. Tendance à un léger feuilletage de l'encroûtement par endroits. Peu de sables et de graviers : schistes, parfois quartz. La terre fine brun clair (7,5 YR 6/4-5/4), contenue dans les galeries, constitue un réseau anastomosé ; elle est très bien travaillée par la faune : nombreux turricules. L'encroûtement est relativement friable dans son ensemble. Limite régulière sur 5-10 cm.
- 130 à 190 cm : L'encroûtement prend un aspect feuilleté par développement de feuillets calcaires blanchâtres, craquelés, horizontaux, de 1 à 4 cm d'épaisseur. Ils sont séparés par des couches granulaires et terreuses de même orientation, mais pouvant se rejoindre, dont l'épaisseur varie aussi de 1 à 4 cm. Vers le bas, le calcaire constitue des ensembles plus larges : 15 à 20 cm d'épaisseur, peu poreux mais moins indurés, qui déterminent le passage au niveau suivant.
- 190 à 220 cm : Horizon constitué à 50-60 % de terre fine, brun-rougeâtre (5 YR 5/4), argilo-limoneuse, avec accumulation calcaire en larges zones assez indurées, brun clair, sur plusieurs cm de large. Elles constituent parfois un niveau épais totalement compact, ou bien le plus souvent, des nodules et granules irréguliers revêtus d'un fin dépôt noir. La terre fine présente de fines accumulations ponctiformes calcaires et des revêtements sombres sur les pores. Structure bien développée, polyédrique irrégulière (0, 5-2 cm). Cohésion d'ensemble assez faible, forte des éléments structuraux. Porosité et activité biotique bonnes dans les zones terreuses. Limite nette, légèrement oblique.
- 220 à 265 cm : Niveau riche en graviers et cailloux jusqu'à 10-15 cm, constitué de galets de roches variées originaires de l'Atlas. Certains galets de roche grenue se désagrègent assez facilement. Matrice de terre fine semblable à celle de l'horizon précédent. Accumulation calcaire en éléments irréguliers sous forme de traînées indurées dispersées ; d'un côté, il existe un feuillet oblique de 4 cm d'épaisseur sur 15 cm de long, soudant des graviers. Les zones calcaires sont dures mais restent bien poreuses. La plus grande partie du matériau n'est pas cimentée et apparaît bien friable. Limite assez nette, faiblement ondulée.
- 265 à 330 cm : Rouge-brunâtre clair (5 YR 5/4-5/6). Limono-argileux, assez riche en sables grossiers et graviers de schiste altéré vert-jaunâtre, de quartz, avec des petits fragments de fine coquille calcaire. Accumulation calcaire de faible importance surtout à la base, sous forme d'éléments irréguliers de plusieurs cm, brun-jaunâtre, souvent indurés mais poreux. A 300 cm, un niveau calcaire fortement induré, brun foncé, de 1-2 cm d'épaisseur, existe d'une façon intermittente. L'essentiel du matériau est donc terreux et bien structuré : polyèdres irréguliers de 1-2 cm. Revêtements noirs sur les faces et dans les pores des agrégats. Cohésion d'ensemble moyenne, plus forte des polyèdres. Porosité lacunaire fine, moyenne. Activité biotique irrégulière. Vers le bas, la structure devient plus fine et plus friable. Limite nette, ondulée.
- 330-430 cm : Galets de toutes tailles jusqu'à 10-15 cm, et d'origine pétrographique très variée, où l'on reconnaît de nombreuses roches atlasiques. En alternance, il existe des lits sableux ou, parfois, de terre fine. Faible accumulation calcaire dans certains des lits les plus terreux : induration faible, généralement friable à la main, et sans concentration massive. Les galets présentent un aspect sale, dû à l'existence d'un léger dépôt calcaire rouille clair qui les recouvre. L'ensemble du matériau est très peu consolidé.

Profil D82 - Sol peu évolué, d'érosion sur carapace calcaire.

A l'aval du profil D81, après une légère inflexion de la pente. Nombreux éléments calcaires résiduels de toutes tailles jusqu'à 10-15 cm, avec des cailloux irréguliers de schistes quartzeux ne dépassant guère 5 cm. Chaume d'orge.

0 à 5-20 cm : Horizon de remaniement contenant 70 à 80 % d'éléments grossiers. Essentiellement débris calcaires irréguliers, de toutes tailles jusqu'à 10 cm, irrégulièrement fissurés, blanc-laiteux à zones plus rougeâtres ; certains, de couleur brune, sont compacts et très durs : éléments de dalle ; graviers schisteux en faible proportion. Terre fine brun clair (7,5 YR 5/4-6/4), limoneuse. Battu et lamellaire en surface ; au-dessous, structure bien développée, polyédrique émoussée (1 cm). Cohésion faible. Porosité lacunaire et activité biotique bonnes ; nombreux turricules. Enracinement de l'orge assez bon dans les zones terreuses. Limite ondulée, irrégulièrement contrastée.

5-20 à 55 cm : Encroûtement en éléments de dalle compacte, irréguliers et ondulés, parfois anastomosés, s'étirant horizontalement, mais irrégulièrement fracturés : 5 à 8 cm d'épaisseur et jusqu'à 30 cm de longueur. D'un côté du profil les éléments de dalle disparaissent au profit d'un encroûtement nodulaire, possédant des rognons assez nombreux. Nodules de taille très

variable et de couleur blanchâtre à nuances brunâtres ; ils sont souvent fissurés avec des faces rougeâtres. A la partie supérieure, on observe une zone avec des inclusions rougeâtres, au contact de la dalle. Les deux types d'encroûtement : dalle et nodules, ne paraissent pas avoir connu les mêmes conditions de formation ; l'encroûtement nodulaire s'est probablement développé après un remaniement qui a aussi pu favoriser le morcellement de la dalle observé dans ce profil. Une pellicule rubanée assez fine et intermittente existe à la partie supérieure. Entre les éléments calcaires, la terre fine brun clair (7,5 YR 6/4), limoneuse, plus argileuse que dans l'horizon précédent, représente environ 10 %. Elle constitue des polyèdres irréguliers de 0,1 à 1 cm, de cohésion assez faible, avec une porosité lacunaire bonne. Enracinement bien représenté dans les zones terreuses qui contiennent de nombreux turricules. Limite régulière et progressive.

55-100 cm : Encroûtement granulo-nodulaire dense, avec des éléments plus grossiers, pouvant atteindre 5 cm à la partie supérieure. Accumulation calcaire en éléments de faible dimension : 1-2 cm le plus souvent, craquelés et libérant des granules très anguleux ; cependant des nodules de 4-5 cm existent aussi. Les éléments calcaires sont poreux, blanchâtres, plus bruns dans les zones fortement indurées. A la base, on observe un niveau d'accumulation calcaire induré en dalle compacte brune, de 4-5 cm d'épaisseur. La terre fine, brun-rougeâtre clair (7,5-5 YR 6/4), représente de 10 à 20 % et constitue des zones de 1 cm de largeur environ ; l'ensemble forme un réseau brunâtre contrastant fortement sur la teinte blanchâtre du calcaire. Cette terre est limono-argileuse et contient de nombreux turricules ; quelques graviers de quartz.

100 à 155 cm : L'encroûtement devient moins dense et les zones d'accumulation deviennent plus larges : 4-5 cm. Elles sont blanchâtres, irrégulièrement et plus faiblement indurées, parfois friables à la main. Elles libèrent des éléments très irréguliers : granules et parfois nodules jusqu'à 3-4 cm de diamètre. Ces éléments sont assez compacts mais restent toujours poreux. Terre fine rougeâtre (5 YR 6/6-6/4), argilo-limoneuse, avec quelques petits galets (originaires de l'Atlas) et graviers de quartz ; petits fragments de fine coquille calcaire. Structure bien développée, polyédrique irrégulière (0, 2-1 cm). Cohésion d'ensemble moyenne, assez forte des éléments terreux. Porosité et activité biotique bonnes ; nombreux turricules. Limite légèrement ondulée, nette.

155 à 310 cm : Matériau alluvial grossier, constitué de galets divers d'origine atlasique et de taille très variable : de 2-3 à 10-15 cm. Ils alternent avec des lits plus sableux ou terreux. Jusqu'à 240 cm, le calcaire n'apparaît qu'en fin dépôt autour des galets où il soude des sables et graviers. L'ensemble est assez peu cohérent. A partir de 250 cm, le calcaire s'accumule préférentiellement dans les niveaux sableux où il tend à former des lits compacts indurés, pouvant atteindre 15 à 20 cm d'épaisseur, en alternance avec des niveaux friables. Vers 290 cm, un lit de galets épais et totalement cimenté en dalle compacte apparaît. L'encroûtement en lits compacts existe donc à la base de ce profil.

Jusqu'à 240 cm, les galets sont recouverts d'un enduit calcaire terreux qui leur confère un aspect sale, semblable à celui des galets profonds du profil précédent D81. Au-dessous de ce niveau, les galets et les sables sont très propres, comme s'ils avaient été lavés par la présence de la nappe.

Profil D88 - Sol brun encroûté subtropical, sur matériau alluvial gravelo-caillouteux à matrice limono-argilo-sableuse.

Zone plane à teinte dominante rougeâtre, très localisée à l'aval de l'interfluve encroûté. Surface recouverte à 80 % de galets divers d'origine atlasique, de toutes tailles jusqu'à 10-15 cm ; certains présentent des traces d'encroûtement calcaire. On note également quelques débris calcaires irréguliers. Chaume d'orge, quelques touffes de jujubiers.

0 à 10 cm : Horizon de culture très faiblement calcaire. Brun (7,5 YR 5/4). Limoneux faiblement argileux ; avec graviers et cailloux nombreux pouvant représenter jusqu'à 50 % du matériau, constitués de galets d'origine atlasique ou parfois par les fragments de ceux-ci. Certaines roches grenues sont en voie de désagrégation. Structure assez bien développée, polyédrique irrégulière (0,3-1 cm). Cohésion faible. Porosité lacunaire assez bonne. Activité biotique moyenne. Enracinement bien développé et assez bien réparti. Limite régulière, peu tranchée.

13 à 20-30 cm : Plus riche en éléments grossiers que l'horizon précédent : 70 % du volume ; essentiellement galets d'origine atlasique de toutes tailles jusqu'à 15 cm ; mais on reconnaît aussi quelques éléments anguleux schisteux des Djebilet. Terre fine plus rougeâtre (5 YR 5/4), limono-argileuse. Petits engainements calcaires localisés ; très légers revêtements à la base des cailloux. Structure polyédrique irrégulière assez fine (0,5 cm). Cohésion moyenne à faible. Porosité et activité biotique bonnes. Enracinement herbacé bien réparti dans la terre fine. Limite légèrement ondulée, sur 5 cm, par apparition irrégulière d'accumulations calcaires plus importantes.

20-30 à 90-100 cm: Horizon contenant au moins 60 % d'éléments grossiers irréguliers, constitués d'éléments calcaires et de galets souvent soudés, avec des sables et graviers. Avec les éléments calcaires très indurés, il existe aussi des granules irréguliers blanchâtres, inférieurs à 1 cm ; ils sont accompagnés d'une terre fine brun-rougeâtre (5 YR 5/4), limono-argileuse, constituant un réseau anastomosé. Certains cailloux et éléments calcaires fissurés sont revêtus d'une pellicule rougeâtre ; quelques fragments de granite sont arénisés. Structure comparable à celle de l'horizon précédent, avec nombreux turricules. Les zones granulo-terreuses sont bien friables. Limite ondulée nette, mais le contraste est atténué par la pénétration des zones terreuses bien travaillées par la faune au-delà de la limite inférieure.

90-100 à 200 cm : Matériau alluvial constitué de galets divers, d'origine atlasique, de 2-3 cm et parfois jusqu'à 10 cm. Accumulation calcaire en lits épais, compacts et très durs ; ils sont irréguliers et ondulés, alternant avec des lits gravelo-terreux friables. Les roches à structure grenue sont en cours de désagrégation.

A 90 m du profil D88, en direction de l'oued Tensift, nous avons observé deux petites excavations.

La première montre, de 0 à 100 cm, un matériau hétérogène constitué de lits de galets et d'alluvions fines entrecroisés. Les zones fines sont caractérisées par un encroûtement nodulaire à granules et rognons contenant des alvéoles terreuses. Dans les galets, on observe au contraire un encroûtement en lits massifs irréguliers. Sur la limite oblique entre les deux types de matériau, une pellicule rubanée apparaît très distinctement.

A quelques mètres de distance, la seconde excavation entaille un matériau de texture fine où l'on observe :

sur 30 à 40 cm, un encroûtement feuilleté devenant plus fin vers le bas ;

puis jusqu'à 150 cm, un encroûtement nodulaire dense ; le réseau de terre fine brune, bien travaillée par la faune, représente 20 à 30 % de l'ensemble.

Ces deux observations appellent les remarques suivantes :

- la carapace calcaire (encroûtement feuilleté et encroûtement nodulaire superposés) qui caractérise l'ancien glacis encroûté G3, s'est développée ici jusqu'à l'extrême aval, sur la nappe alluviale de l'oued Tensift ;

- la composition granulométrique initiale du matériau peut modifier largement l'aspect des accumulations calcaires qui se développent en un lieu donné ; ici, les galets ne permettent pas le développement d'un encroûtement nodulaire ; comme nous l'avons observé par ailleurs, ils favorisent des accumulations grossières et indurées qui constituent des lits irréguliers alternant avec des zones friables.

Profil D76 - Sol brun modal subtropical, sur alluvions anciennes encroûtées, érodées et remaniées.

Talus de la berge, en rive droite de l'oued Tensift. Pente forte : 20 %.

0-30 cm : Horizon de remaniement parallèle à la pente. Limoneux, avec graviers et petits cailloux. Calcaire, avec très fins engainements parfois. Structure polyédrique bien développée (0, 1-2 cm). Cohésion assez faible. Porosité et activité biotique moyennes et irrégulières. Limite ondulée, nette.

30-110 cm : Matériau alluvial riche en galets divers (beaucoup de roches vertes), avec matrice de terre fine limoneuse. Accumulation calcaire sous forme d'amas et granules, avec des éléments plus grossiers indurés autour des cailloux. L'ensemble ne constitue pas un encroûtement dense, mais plutôt irrégulier et très friable par endroits. Activité biotique très bonne dans les zones terreuses.

A 110 cm : On passe brutalement à un schiste fin et sombre, peu altéré.

CONCLUSIONS

L'étude de la toposéquence 6 permet de préciser deux points importants concernant les relations existant entre les différentes formations superficielles de la région. Ce sont :

- les rapports entre le glacis encroûté (G3) et la terrasse d'alluvions grossières encroûtées (T3) de l'oued Tensift ;

- les rapports entre les épandages alluviaux caillouteux à terre fine brun-rougeâtre (G2), d'une part, la terrasse supérieure encroûtée (T3) et les thalwegs actuels, d'autre part.

Vers l'amont, le *glacis encroûté* G3 est constitué d'un remblaiement riche en cailloux anguleux de schistes, reposant sur la roche schisteuse en place. La présence d'un petit niveau à terre rouge au-dessus de la roche est à noter dans le profil D80. Vers l'aval, les *épandages* ont recouvert les *alluvions grossières* T3 de l'oued Tensift. Le remblaiement supérieur est ici essentiellement constitué de matériaux fins. En profondeur, le substratum schisteux apparaît à un niveau variable sous la couverture alluviale.

Le passage des alluvions grossières aux sédiments fins apparaît de façon relativement brutale, dans les profils D82 et D81. Cela indique une *modification rapide des conditions de sédimentation*. La partie inférieure des dépôts fins contient des fragments irréguliers de coquille d'escargot. En raison de sa relative fragilité, un tel matériel n'a pu être transporté que sur une faible distance et provient vraisemblablement de zones d'érosion peu éloignées dans les Djebilet. Cette hypothèse se trouve renforcée, dans le cas du profil D82, par la présence exclusive d'éléments schisteux : on a affaire ici à une interstratification du niveau à coquilles d'escargot (265-330 cm) à la partie supérieure des alluvions grossières d'origine atlasique. Dans le cas du profil D81, les passages des alluvions grossières aux dépôts fins s'effectue de façon plus directe ; toutefois, quelques petits galets d'origine atlasique sont encore présents dans le niveau à coquilles d'escargot. Dans les deux profils, les fragments de coquille disparaissent rapidement vers le sommet. La présence de graviers de quartz comparables à ceux observés dans le profil D80, et plus rarement de graviers ou cailloux schisteux, permet de penser que les dépôts fins supérieurs sont également originaires des Djebilet. L'existence d'éléments schisteux plus grossiers et nombreux vers l'amont du glacis G3, s'explique par la proximité de la zone d'érosion des schistes.

Après la mise en place des alluvions grossières (T3) de l'oued Tensift, caractérisées par des galets d'origine atlasique, les conditions de sédimentation se sont modifiées au profit de dépôts plus fins (G3) dont l'origine à partir des Djebilet s'est rapidement affirmée. Au cours de cette deuxième phase d'alluvionnement, les apports par l'oued Tensift ont considérablement diminué. Les dépôts ont surtout été fournis par les apports latéraux qui ont façonné le glacis de raccordement (G3). Ces apports latéraux ont empiété sur l'ancienne zone alluviale en rétrécissant le lit de l'oued. Ce schéma d'évolution semble assez général dans toute la zone étudiée, à la fois sur la rive gauche et sur la rive droite de l'oued Tensift.

L'encroûtement feuilleté apparaît ici essentiellement constitué de feuillets de *dalle compacte*. La dalle compacte est bien développée sur la partie inférieure du glacis encroûté G3, vers l'aval de la vallée de l'oued Tensift. Par contre, elle n'a pas été observée vers l'amont, dans les profils de la toposéquence 1 par exemple. Les profils D81 et D82 révèlent que les alluvions grossières (T3) n'ont pas été encroûtées dans les niveaux supérieurs ; ceux-ci n'ayant probablement pas été occupés par la nappe phréatique. Les galets y sont recouverts d'un dépôt calcaire terreux qui leur donne un aspect sale. La formation de l'encroûtement en lits compacts irréguliers, dans les alluvions profondes, paraît bien être liée à la présence d'une nappe phréatique.

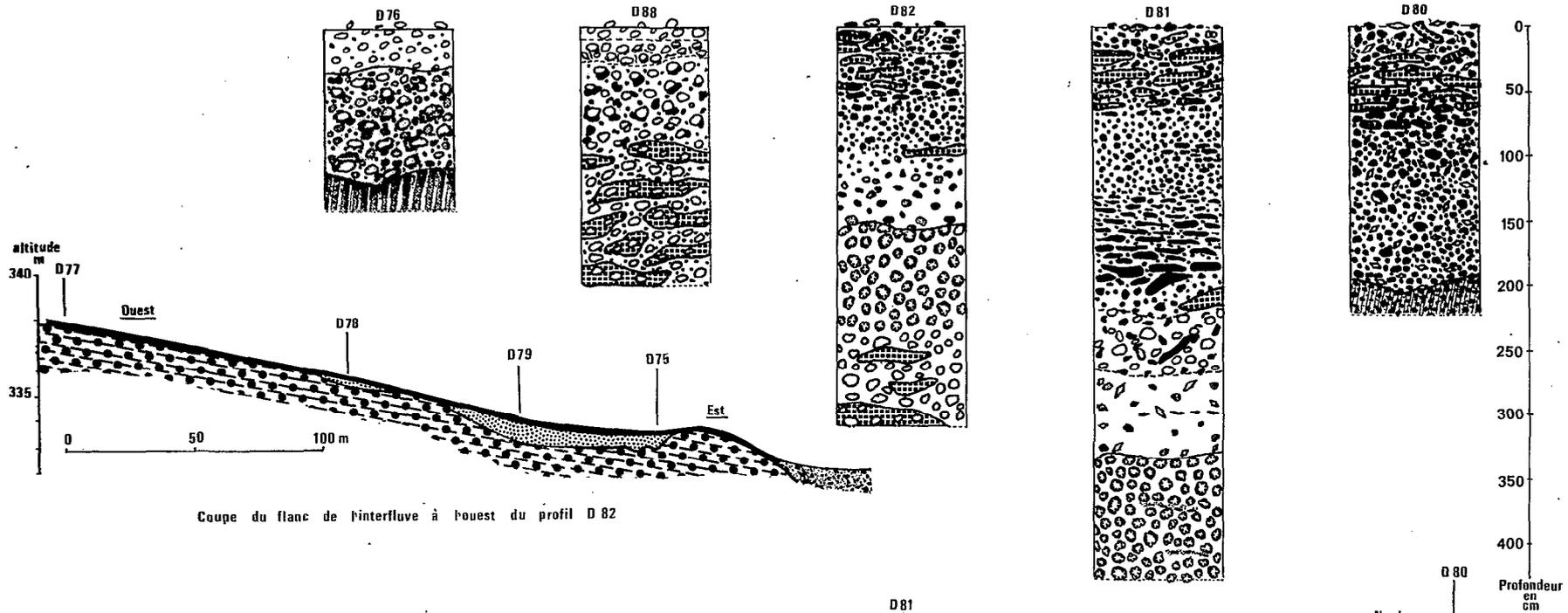
Les zones encroûtées : encroûtements de glacis G3 ou encroûtements d'alluvions grossières T3, ont été érodées et portent des *sols régosoliques sur croûte calcaire*. Le profil D76, sur la berge du Tensift, se développe sur un matériau remanié à encroûtement peu induré ; il peut être considéré comme un *sol brun modal*.

Les dépôts alluviaux rougeâtres correspondant au profil D88, ainsi qu'aux profils non décrits : D78, D79 et D75, sont des recouvrements postérieurs à l'encroûtement du glacis G3 et des alluvions T3. Ils s'étalent sur des surfaces localisées qui constituent des replats plus ou moins bien marqués sur les flancs des interfluves. La teinte rougeâtre de ces dépôts contraste sur le fond blanchâtre des encroûtements environnants. Ils sont exclusivement associés aux encroûtements des alluvions grossières de la terrasse supérieure qui se développe vers l'ouest.

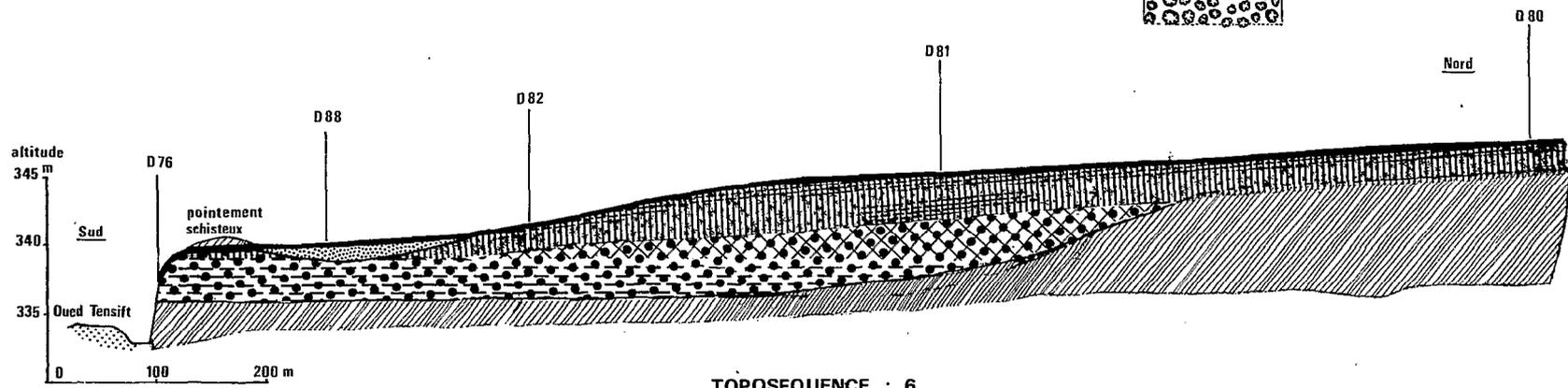
Ces dépôts alluviaux sont constitués, pour une part, par des galets atlasiques provenant du remaniement des alluvions encroûtées, et pour l'autre part, de terre fine rougeâtre où l'on reconnaît des graviers schisteux originaires des Djebilet. La position du profil D88 et des profils D78, D79 et D75 montre que ces dépôts se situent à des niveaux différents, intermédiaires entre les niveaux de la terrasse supérieure T3 et les alluvions récentes du fond du thalweg actuel. Ils ont été mis en place à un *stade intermédiaire du façonnement des interfluves*, alors que les oueds issus des Djebilet, encore actifs, apportaient des alluvions fines rougeâtres et certainement pauvres en calcaire qui étaient étalées et mélangées aux galets remaniés de la terrasse encroûtée (T3).

Par leur situation relative dans le paysage, et par leurs caractères d'évolution, ces épandages alluviaux localisés sont à rapprocher des alluvions faiblement encroûtées (T2) représentées par le profil D87 dans la toposéquence 5, en rive gauche du Tensift, et des épandages alluviaux caillouteux à matrice rubéfiée (G2) des toposéquences 2 et 3, en rive droite de l'oued. Ce sont des *dépôts de deuxième génération*.

Les matériaux ont subi une évolution notable et présentent un profil calcaire bien différencié. Les horizons supérieurs sont peu calcaires, alors que l'encroûtement se développe dans les horizons profonds, si l'épaisseur du recouvrement le permet. Les sols sont des *sols bruns encroûtés*, irrégulièrement remaniés à la partie supérieure.



Coupe du flanc de l'interfluve à l'ouest du profil D 82



TOPOSEQUENCE : 6

TOPOSEQUENCE 7

Les toposéquences 7 et 8, respectivement situées en rive gauche et en rive droite de l'oued Tensift, permettent d'obtenir une coupe transversale complète de la vallée de l'oued, à une vingtaine de km en aval de la toposéquence 6. Les deux terrasses d'alluvions grossières encroûtées, qui se dégagent dans la région de la toposéquence 5, se différencient rapidement vers l'aval. L'oued est ici très encaissé ; le lit de divagation étroit a affouillé la basse terrasse limoneuse (T1) ; mais les deux terrasses encroûtées (T2 et T3) sont bien séparées sur cette toposéquence 7.

Les profils sont disposés suivant une orientation SE-NW, pour suivre la direction générale des interfluves. En outre, le thalweg *Seheb el Hmer*, situé à l'est de l'interfluve étudié, est fortement encaissé, et ses berges constituent un escarpement abrupt qui offre une coupe naturelle permettant d'observer les formations les plus profondes.

ETUDE DES PROFILS

Profil E 42 - Sol peu évolué d'érosion, sur carapace calcaire.

Il s'agit d'une coupe observée dans un puits du douar Kouara bel Lahsene. Surface plane, jonchée de nombreux débris calcaires, avec des dalles calcaires affleurantes par endroits. Ces dalles et l'encroûtement sous-jacent font l'objet d'une exploitation : pierres à chaux, matériau de construction, et plusieurs excavations ont été pratiquées (photo 11, pl. 2 ; photo 16, pl. 3).

- 0 à 15-20 cm : Horizon de remaniement, constitué au moins à 60% de débris calcaires pouvant atteindre 15 à 20 cm de large. Terre fine brune (7,5 YR 5/4), limoneuse. Structure irrégulièrement développée en polyèdres émoussés (0,5-1 cm, parfois plus grossiers : 2-3 cm). Fins pseudomycéliums à la base. Limite ondulée, très nette.
- 15-20 à 50 cm : Croûte calcaire massive, de couleur blanchâtre, avec des noyaux plus indurés brun-rosâtre ; elle est moins massive et se fragmente vers le bas. A la partie supérieure, on observe des zones d'induration en dalle compacte brune. En surface, présence d'une pellicule rubanée de 1 cm d'épaisseur. Limite régulière, sur 5 cm.
- 50 à 120 cm : On passe à un encroûtement nodulaire, à orientation horizontale à la partie supérieure jusqu'à 70-80 cm : granules et nodules aplatis et alignés horizontalement ; des rognons existent également. Ces éléments calcaires indurés sont de couleur brune. La terre fine interstitielle représente environ 20% ; elle est bien travaillée par la faune et possède de nombreux turricules. Quelques petits galets de schiste vert foncé aplatis, et de dolérite arrondis, apparaissent dans le matériau.
- 120 à 190 cm : Matériau semblable, mais les granules et nodules deviennent plus tendres et peuvent souvent s'écraser assez facilement. La couleur de la terre fine brune devient plus soutenue, avec des petits dépôts filiformes noirs. En outre, des efflorescences salines (NaCl) apparaissent sur les parois.
- 190 à 300 cm : La couleur d'ensemble demeure hétérogène, mais les zones d'accumulation calcaire s'élargissent jusqu'à 5-10 cm et constituent des amas blanchâtres friables, légèrement indurés en certains points. Ces zones calcaires irrégulières occupent environ de 60 à 70% de la surface, et elles sont séparées par des galeries et des petites poches (1 à 5 cm) de terre brune bien travaillée par la faune, qui constituent un réseau anastomosé en continuité avec l'horizon précédent. Entre 250-280 cm, on observe un lit de petits galets de schiste fin vert foncé, de dolérite, et de calcaire fin semblable au calcaire éocène : ces roches se rencontrent dans l'Atlas et son piémont.
- 300 à 350 cm : Niveau de transition où apparaissent des éléments calcaires remaniés du niveau inférieur. Ces éléments présentent un ensemble de caractères indiquant qu'ils ont été exposés à l'air sur une ancienne surface : forme très irrégulière comportant des cavités de dissolution du calcaire, cortex plus clair, avec un liseré plus sombre en surface. Par ailleurs, ces éléments se mélangent avec un matériau fin, comparable à celui du niveau supérieur. L'accumulation calcaire se poursuit également en larges amas à noyaux indurés. Limite brutale, légèrement ondulée.
- 350 à 550 cm : Masses calcaires grossières : 15-20 cm, irrégulières, mais ayant tendance à constituer des bancs horizontaux plus nets vers le bas. Ils sont séparés par une trame de terre brune constituant des veines et des poches de largeur variable, pouvant atteindre souvent 10-15 cm. La transition entre la terre fine et les éléments calcaires est très brutale. Ce réseau de terre fine est riche en turricules et contient des amas et des granules peu indurés. Le calcaire soude un matériau alluvial généralement assez fin, avec des lits plus ou moins sableux ou caillouteux : petits galets de schiste vert foncé, dolérite, calcaire éocène. La couleur d'ensemble apparaît gris clair, avec des zones diffuses de couleur rouille souvent importantes et des dendrites sombres. Ce matériau calcaire est comparable à certains faciès des formations calcaires profondes du Quaternaire qui constituent en grande partie le remplissage de la cuvette du Haouz. L'importance des pénétrations terreuses peut être due à l'existence de l'ancienne surface repérée par le niveau de remaniement entre 300 et 350 cm, et qui aurait favorisé le morcellement du calcaire par dissolution et dislocation.

A une dizaine de mètres à l'est du profil E42, très localement la surface du sol s'étage en gradins sur trois niveaux (photo 16, pl. 3) :

- au sommet, sur 30-40 cm, une dalle massive très fortement indurée de couleur homogène : brun soutenu ; elle porte une pellicule rubanée en surface et sur les faces verticales des blocs séparés ; cette pellicule rubanée épaisse peut atteindre 2 à 5 cm ;
- le niveau moyen correspond à l'affleurement de la croûte, massive au sommet, plus feuilletée à la base ; l'épaisseur est de l'ordre de 25-30 cm ;
- le niveau inférieur correspond au sommet de l'encroûtement nodulaire.

Le dégagement de cette surface en gradins est probablement dû en partie, et surtout pour le niveau inférieur, à l'action de l'homme ; mais l'étagement correspond bien à des formes d'accumulation différente du calcaire. Par ailleurs, une pellicule rubanée apparaît sur les trois niveaux. Elle est très fine sur le niveau inférieur, plus épaisse sur la dalle ; mais elle réalise un nappage continu de l'ensemble, en épousant toutes les irrégularités de la surface.

Profil E 43 - Sol peu évolué d'érosion, sur carapace calcaire.

Sommet d'interfluve encroûté bien dégagé. Pente faible, inférieure à 1%, à 2,5 km à l'aval du profil E42. Surface jonchée de débris calcaires.

- 0 à 20 cm : Horizon de remaniement contenant de nombreux éléments calcaires irréguliers détritiques. Terre fine brune (7,5 YR 5/4), limoneuse. Assez bien structuré ; polyèdres à tendance émoussée de 0,5 à 1 cm, parfois plus grossiers. Activité biotique bonne. Légers pseudomycéliums à la base, dans les zones les plus profondes. Limite ondulée très nette.
- 20 à 50 cm : Dalle compacte brune, soudant quelques graviers ; elle est ondulée et apparaît disloquée à certains endroits. Pellicule rubanée à la partie supérieure.
- 50 à 115 cm : Passage à une croûte feuilletée à feuillets fins (quelques cm) et très serrés, soudant quelques petits galets de schiste fin vert et de dolérite. Vers le bas, le feuilletage se désorganise progressivement.
- 115 à 170 cm : Encroûtement granulo-nodulaire à éléments calcaires irréguliers de l'ordre de 1 cm, avec des graviers et quelques galets inférieurs à 10 cm. La terre brune limoneuse, qui représente environ 10% de la masse, est contenue dans un réseau de galeries fines, avec de nombreux turricules. Limite régulière, nette.
- 170 à 270 cm : Matériau faiblement caillouteux, à nombreux éléments calcaires blancs, parfois à nuances verdâtres. Ces éléments sont durs, quelquefois irrégulièrement friables. Ils sont bien individualisés, de forme irrégulière mais arrondie, de taille très variable jusqu'à 10 et parfois 20 cm. Ces éléments paraissent d'origine allochtone, et leur aspect permet de supposer qu'il s'agit de fragments remaniés des formations calcaires mio-pliocènes qui existent à l'amont. Terre fine brun-rougeâtre (5 YR 5/4), limoneuse faiblement argileuse, bien structurée en petits polyèdres émoussés (0,5 cm), et avec de nombreux turricules. On note par ailleurs quelques nodules, un petit lit de graviers soudés par un ciment calcaire blanc-brunâtre à la base de l'horizon. Il n'y a pas d'encroûtement d'ensemble dans ce matériau dont la cohésion apparaît assez faible. Limite ondulée, nette.
- 270 à 400 cm : Matériau alluvial plus riche en graviers et cailloux constitués de petits galets de roches diverses de l'Atlas : dolérite, calcaire éocène très dur, schiste verdâtre, quartz. Le schiste, fréquemment bien altéré, semble être à l'origine de la teinte verdâtre que l'on observe en certaines zones. Vers 370 cm, on observe encore des cailloux calcaires blancs, semblables à ceux observés dans l'horizon précédent. A la partie supérieure, jusqu'à 300 cm, l'accumulation calcaire est faible : granules à quelques endroits et cimentation partielle de petits lits graveleux ; la terre fine existe encore d'une façon comparable à celle de l'horizon supérieur. Au-dessous de 300 cm, des lits caillouteux soudés par le calcaire, de 10-15 cm d'épaisseur, apparaissent irrégulièrement à certains niveaux. Entre 370 et 400 cm, se développent des éléments de dalle massive. Par ailleurs, on observe quelques dépôts gypseux dans ce matériau grossier.

La limite brutale qui existe vers 270 cm est uniquement une limite de dépôt alluvial. Les éléments caillouteux de calcaire blanc, observés dans ce profil, présentent un aspect voisin de celui des calcaires marneux mio-pliocènes salins et gypseux, qui affleurent dans cette région, sur les berges du thalweg *Seheb el Hmer*.

Profil E 45 - Sol peu évolué d'érosion, sur carapace calcaire.

En aval et sur la même surface que le profil E43. Pente faible, inférieure à 1% ; rupture de pente : 2% vers l'aval. Surface jonchée de débris calcaires.

- 0 à 20-30 cm : Horizon de remaniement à nombreux débris calcaires. Fins pseudomycéliums à la base. Limite ondulée, très nette, sauf aux endroits où l'horizon n'est pas arrêté par la dalle sous-jacente.

- 20-30 à 50 cm : Dalle compacte brune, en éléments feuilletés de 10 cm d'épaisseur. Pellicule rubanée de 2 à 3 cm d'épaisseur sur la surface ondulée. La dalle est fractionnée en blocs dont certains sont décalés ; revêtement calcaire blanchâtre sur la face des fractures. Terre fine brune bien travaillée par la faune, entre les feuillets serrés et les blocs décalés.
- 50 à 180 cm : Croûte finement feuilletée à la partie supérieure, passant à un encroûtement granulo-nodulaire assez dense vers le bas. Les nodules sont bruns et fortement indurés. Nombreux turricules terreux entre les éléments calcaires, assurant une certaine friabilité de l'ensemble. Limite régulière et progressive.
- 180 à 300 cm : Granules et nodules moins denses, associés à une terre fine brun-rougeâtre (5 YR 4/4) contenant de nombreux turricules. Présence d'éléments calcaires irréguliers mais émoussés, blancs, parfois à nuances verdâtres, mais également souvent brunâtres et plus durs, avec des petits engainements rouille et noirs autour des pores. Les éléments sont de taille très variable (jusqu'à 20-30 cm). Ils représentent environ 50% ; mais vers le bas, ils constituent des masses encore plus importantes qui forment l'essentiel du matériau au-dessous de 290 cm. Ces éléments calcaires sont comparables à ceux qui ont été observés dans le profil E43, et ils peuvent également être rapprochés des calcaires marneux mio-pliocènes.

Profil E 46 - Sol peu évolué d'érosion, sur carapace calcaire.

Sommet d'interfluve. Vers l'amont, rupture de pente : 2% conduisant au profil E45 ; vers l'aval, pente faible inférieure à 1%. Surface jonchée de débris calcaires.

- 0 à 10-30 cm : Horizon de remaniement contenant de nombreux débris calcaires irréguliers. Fins pseudomycéliums à la partie inférieure. Limite ondulée nette.
- 10-30 à 45 cm : Encroûtement finement feuilleté, à feuillets morcelés de 2 à 3 cm d'épaisseur, de couleur hétérogène : blanchâtre à noyaux plus bruns, avec présence de petits points et taches noires. Une pellicule rubanée de 1 à 2 cm d'épaisseur, intermittente, marque le sommet de l'encroûtement ; parfois, elle existe seule sans éléments de croûte sous-jacents. Terre fine brun clair (7,5 YR 6/4), limoneuse, en réseau anastomosé avec de nombreux turricules. L'ensemble est assez peu cohérent.
- 45 à 130 cm : Encroûtement finement feuilleté, mais des éléments compacts d'orientation horizontale peuvent atteindre 5 cm d'épaisseur. Couleur blanc-brunâtre, brun plus foncé dans les éléments compacts fortement indurés ; présence de dendrites. Le réseau de terre fine brune, bien travaillée par la faune, représente environ 10-15%. Présence de graviers et cailloux arrondis devenant plus nombreux vers le bas. Limite irrégulière et progressive.
- 130 à 180 cm : Matériau riche en éléments grossiers : galets schisteux et calcaires ; avec des lits calcaires compacts irréguliers soudant les graviers et cailloux. Cependant, les zones terreuses friables, bien travaillées par la faune, sont encore bien représentées entre les lits calcaires.

Profil E 47 - Sol brun modal subtropical, sur alluvions grossières encroûtées érodées.

Sommet d'interfluve étroit, à l'aval du profil E46, ayant été dégagé ici dans les alluvions de la haute terrasse encroûtée (T3). Vers l'aval, rupture de pente se raccordant à la moyenne terrasse (T2) : pente de 6% ; sur les flancs de l'interfluve la pente est du même ordre de grandeur. Surface jonchée de débris calcaires de toutes tailles, de nombreux graviers et galets (jusqu'à 10-15 cm) d'origine atlasique : grès, roches effusives fines vertes et violacées. Des masses gréseuses à ciment calcaire affleurent par endroits. Quelques plantes herbacées dispersées.

- 0 à 20-30 cm : Horizon de remaniement superficiel, contenant de nombreux débris calcaires et des petits galets. Légers pseudomycéliums calcaires à la base. Terre fine brun clair, limoneuse, bien structurée en petits polyèdres émoussés de taille variable (0,2-1 cm), avec nombreux turricules. Cohésion faible surtout à la base ; surface battue. Limite ondulée et progressive sur 10 cm.
- 20-30 à 60-75 cm : Horizon riche en éléments grossiers : graviers et petits cailloux, éléments calcaires blanchâtres, parfois bruns, irréguliers et de taille variable. La terre fine brune, limoneuse, représente environ 40%, et constitue une matrice enveloppant les éléments grossiers. Terre fine bien structurée en petits polyèdres émoussés, nombreux turricules. L'ensemble apparaît assez peu cohérent. Limite ondulée, nette.
- 60-75 à 115 cm : Galets divers, d'origine atlasique, plus grossiers : 5-10 cm. Encroûtement en lits calcaires compacts irréguliers, alternant avec des zones non consolidées à matrice terreuse. Ces lits sont plus épais d'un côté vers le bas : 10-15 cm, où ils soudent de nombreux graviers : schistes, roches vertes et calcaire éocène. Beaucoup de galets sont assez fortement altérés.
- Le matériau alluvial encroûté, de nature moins grossière à la partie supérieure, est fortement travaillé par la faune qui favorise l'homogénéisation du profil à partir de la surface et facilite la pénétration des racines herbacées.

Profil E 52 - Sol brun modal subtropical, sur alluvions grossières encroûtées érodées.

Sur pente de 10%, à la partie inférieure du talus séparant les deux terrasses encroûtées (T3 et T2). Surface jonchée de débris calcaires et de galets divers. Très faible végétation herbacée.

Sous un horizon de remaniement très irrégulier, et parfois inexistant, apparaît jusqu'à 100 cm un matériau alluvial grossier : galets jusqu'à 20-25 cm, constitués de roches atlasiques : grès, roches vertes ; ces dernières étant souvent partiellement altérées. Encroûtement en lits compacts irréguliers, mais avec un redépôt calcaire secondaire sous forme d'un voilage blanchâtre qui apparaît dès le sommet. Proportion assez importante de terre fine brune, bien travaillée par la faune : nombreux turrículos qui favorisent la pénétration des quelques racines herbacées.

Bien que les lits calcaires alluviaux soient plus distincts dès la partie supérieure, ce profil E52 et comparable au profil E47. Il s'agit des alluvions grossières encroûtées de la haute terrasse T3 qui ont été fortement érodées. Mais le travail de la faune, associé sans doute au développement racinaire de la végétation, et à une redistribution limitée du calcaire, a certainement favorisé l'approfondissement et l'homogénéisation des profils qui tendent à caractériser des sols isohumiques.

Profil E 54 - Sol peu évolué d'apport, sur alluvions limono-sableuses.

Petit thalweg entaillant la moyenne terrasse encroûtée (T2) pour se raccorder au niveau de la basse terrasse limoneuse (T1) de l'oued Tensift. Surface plane avec quelques galets (grès, roches vertes). Jachère après culture d'orge.

0 à 190 cm : Alluvions limono-sableuses brun clair, avec des lits plus grossiers où l'on retrouve des éléments calcaires détritiques ; sur les 50 cm inférieurs galets plus nombreux. Sous l'horizon de travail : 10-15 cm, fins pseudomycéliums jusqu'à 50 cm de profondeur. Structure mal développée, à cohésion faible. La base est très humide.

190 à 210 cm : Encroûtement massif brunâtre, soudant les graviers. L'ensemble est déjà induré, mais les graviers peuvent se décoller assez facilement. Il s'agit d'un encroûtement qui n'est pas encore totalement compact, se développant au voisinage de la nappe phréatique.

Profil E 53 - Sol brun encroûté subtropical, sur alluvions limono-caillouteuses.

Surface légèrement ondulée sur la moyenne terrasse encroûtée (T2). Débris calcaires ; certains peuvent atteindre 30 cm, quelques graviers : grès, roches vertes.

0 à 30-40 cm : Horizon de remaniement. Brun, limono-sableux avec graviers et débris calcaires. Structure moyennement développée, polyédrique irrégulière moyenne, souvent particulière. Cohésion faible. Limite très ondulée, plus ou moins nette.

30-40 à 120 cm : Encroûtement nodulaire à granules, nodules et rognons blanchâtres. Il constitue un réseau anastomosé par jonction des éléments calcaires. L'épaisseur des zones calcaires est variable et peut atteindre 5 cm. Entre les éléments grossiers, la terre fine brune, limoneuse, très bien travaillée par la faune (nombreux turrículos), peut représenter jusqu'à 50%. Peu de galets (grès, roches vertes, calcaire éocène), mais surtout nombreux cailloux de calcaire détritique. Ce sont des fragments d'encroûtement de la terrasse supérieure, ils apparaissent irréguliers mais bien émoussés et leur taille peut atteindre 25 cm. Il s'agit d'un calcaire brun soudant des sables et graviers, et présentant un cortex d'altération plus clair, sur 7 mm d'épaisseur au voisinage de la surface. Ces éléments peuvent être repris dans l'encroûtement nodulaire du profil.

Sur le talus de cette terrasse T2, en bordure de l'oued Tensift, on observe des lits compacts irréguliers, et les lits sableux sont bien cimentés en bancs gréseux comme dans la terrasse supérieure T3.

OBSERVATION DES BERGES DU THALWEG SEHEB EL HMER

Ce thalweg qui correspond au passage d'un ancien oued actif se raccorde à la basse terrasse de l'oued Tensift. Mais l'extrême aval s'est abaissé pour se rapprocher du niveau du lit de divagation actuel de l'oued Tensift. Dans la région étudiée, le fond du thalweg est occupé par des *sols salés hydromorphes*. Il borde, à l'ouest, l'interfluve au sommet duquel ont été placés les profils précédemment étudiés (niveau A). L'entaille qu'il détermine dans les alluvions anciennes permet d'étudier la partie inférieure de ces alluvions et la nature du substrat qu'elles recouvrent. Cette étude est relativement aisée de l'aval vers l'amont jusqu'à la hauteur du profil E43. Ensuite, le thalweg s'oriente plus nettement vers le sud en s'écartant légèrement du sommet de l'interfluve étudié, dont il se trouve séparé par un petit axe de drainage qui détermine un sous-interfluve de niveau B inférieur au niveau A. Les coupes observées dans le thalweg risquent alors de ne pas correspondre à celles qui existent réellement en profondeur sous le sommet de l'interfluve principal (niveau A).

- Sous la moyenne terrasse T2, le substratum schisteux apparaît à la fois sur la berge de l'oued Tensift et en affleurement sur la pente du petit thalweg affluent où est placé le profil E54. Le niveau supérieur de ces schistes est approximativement situé à la côte 288.

- Vers l'amont, les schistes n'apparaissent plus, alors que le fond du thalweg se trouve à un niveau inférieur à la côte 288. Des profils échelonnés sur le versant, à partir du profil E47, ne révèlent aucun affleurement schisteux qui aurait pu être masqué par des éboulis. La limite inférieure des alluvions grossières de la terrasse supérieure T3 ne peut donc pas être observée dans cette zone.

- Les schistes réapparaissent brutalement vers la côte 294 à 2 m au-dessus du fond du thalweg. A l'aval de ce point, de nombreux débris schisteux sont mélangés aux galets alluviaux. Cette apparition correspond également à un changement de nature des alluvions. Les galets grossiers de l'oued Tensift, constitués en majorité de grès, de roches vertes et violacées, sont remplacés, par recouvrement à la base, par des galets plus fins : schistes verts et dolérite, qui caractérisent toute l'épaisseur de la couverture alluviale vers l'amont (photo 7, pl. 2).

- Les schistes s'observent, sans discontinuité, jusqu'à la côte 300, après le changement de direction du thalweg. Puis, des placages de calcaire marneux les recouvrent irrégulièrement.

- A partir de la côte 304, les schistes disparaissent définitivement et les calcaires marneux se généralisent. Ces derniers peuvent atteindre 5-6 m d'épaisseur à cet endroit ; mais leur faciès présente une différenciation verticale. La partie inférieure, d'aspect plus marneux est en masse informe, de couleur blanche à nuances verdâtres et parfois rouille ; des efflorescences salines sont également visibles. A la partie supérieure, le faciès est nettement lité, de couleur brune, et plus induré ; au sommet, les éléments issus du morcellement des lits présentent un cortex d'altération sur leur pourtour. Le tableau 2 fournit quelques caractéristiques analytiques obtenues pour chacun des deux faciès (échantillons MP1 et MP2) : les différences portent essentiellement sur les valeurs du calcaire, du gypse, de la salure et du rapport fer libre/fer total.

- Le thalweg ne permet pas de voir ces calcaires marneux au-delà de la côte 310. Seules apparaissent, alors, les alluvions à petits galets (schistes verts et dolérites) encroûtées.

On ne retrouve donc pas, ici, les calcaires profonds observés dans le puits E42 et, bien que ces calcaires contiennent aussi quelques galets de même nature pétrographique que les alluvions encroûtées du thalweg, nous pensons qu'ils correspondent à une formation plus ancienne (calcaires de comblement de la cuvette du Haouz, au Quaternaire ancien). L'analogie pétrographique indiquerait simplement une origine commune des éléments allochtones.

CONCLUSIONS

L'oued Tensift est, dans cette région, beaucoup plus encaissé que vers l'amont. Une haute et une moyenne terrasse encroûtées se séparent très distinctement (T3 et T2).

La disparition des schistes, au-dessous des profils E52 et E47, indique que le niveau de l'oued Tensift, dans son ancienne vallée, était inférieur au niveau respectif des trois terrasses alluviales qui ont été façonnées par la suite. Ce niveau pouvait se situer à une côte du même ordre de grandeur ou inférieure à celle du lit actuel.

Les alluvions grossières de la haute terrasse T3 ont remblayé l'ancienne vallée de l'oued Tensift. Ces alluvions sont constituées de galets d'origine atlasique, où l'on reconnaît plusieurs catégories de roches : grès roses du trias, roches vertes et violacées, granite... Ce type d'alluvions se retrouve sur toute l'épaisseur de la terrasse supérieure qui atteint au moins 20 m à l'emplacement de l'ancien thalweg. Vers le sud, elles sont en contact avec des alluvions d'origine différentes. Les galets sont plus petits et essentiellement constitués de schistes verdâtres et de dolérite, avec quelques cailloux de calcaire éocène.

Ces alluvions à galets schisteux ont été apportées par un oued affluent venant du sud. Il s'agit donc d'une zone de confluence, et la haute terrasse de l'oued Tensift passe latéralement à l'ancienne terrasse de cet oued affluent qui peut être facilement suivie en remontant vers le sud, grâce à l'entaille du *Seheb el Hmer*. Les deux types d'alluvions se sont accumulés simultanément. L'ancien oued affluent longeait l'interfluve situé à l'emplacement du profil E42. Il remaniait les formations encaissantes calcaires, notamment les calcaires marneux tendres, pour en étaler les éléments vers l'aval parmi les alluvions.

Le *glacis encroûté* G3 du Haouz s'est développé par épandage de matériaux à texture fine, à dominante limoneuse, sur un ancien niveau d'érosion des calcaires du Quaternaire ancien (profil E42). Au voisinage de l'oued Tensift, ces mêmes épandages G3 ont également recouvert les alluvions grossières de la terrasse T3, sans interruption apparente de la phase alluviale. Il semble bien, encore ici, que les épandages fins, sous l'effet d'un écoulement diffus et divagant qui s'étalait sur la plaine alluviale du Haouz, ont pris le relais des alluvions grossières apportées par des oueds établis dans des thalwegs bien fixés.

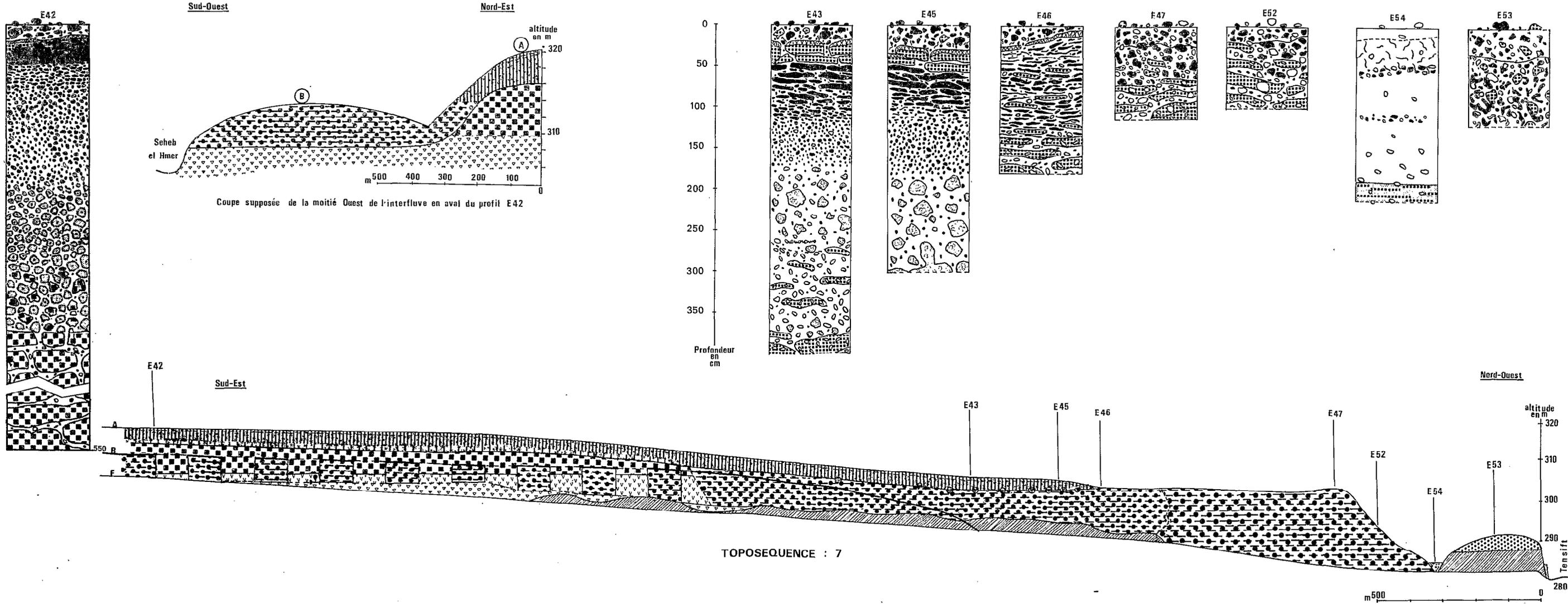
L'encroûtement des alluvions grossières T3 et des épandages fins G3 présente un faciès variable. La carapace calcaire à dalle et croûte feuilletées, surmontant l'encroûtement nodulaire, est de règle sur le *glacis* G3. Toutefois, dans la zone du profil E42, l'encroûtement nodulaire est surmonté d'un élément unique, mais relativement épais, de croûte calcaire ayant irrégulièrement différencié des noyaux de dalle compacte à sa partie supérieure. C'est le seul cas semblable qu'il nous a été donné d'observer dans toute la région prospectée ; mais il n'est pas impossible que ce cas soit beaucoup plus fréquent vers l'ouest, sur les vastes étendues encroûtées du Haouz occidental, où nous n'avons, malheureusement, pas d'autres observations.

Des lits calcaires compacts et irréguliers occupent les alluvions fluviatiles. Le profil E46, situé à l'extrême avancée des épandages du glacis G3 sur les alluvions de la terrasse T3, offre un exemple de passage progressif d'un encroûtement en lits compacts (type dalle de nappe) à un encroûtement de type croûte feuilletée à la partie supérieure. La présence de dendrites indique d'ailleurs que cette zone de transition a été elle-même soumise à une activité de la nappe. La carapace calcaire du glacis et des lits calcaires dans les alluvions fluviatiles se sont vraisemblablement constitués au cours d'une même phase d'évolution ; des décalages ont pu cependant exister, notamment du fait de l'épaisseur des alluvions.

La *terrasse T3*, qui constitue l'extrême aval de l'interfluve étudié, se raccorde au *glacis G3* par une légère inflexion de la pente à la surface du sol. Les formations encroûtées (T3 et G3) portent encore ici des *regosols sur carapace calcaire*. Cependant, sur la terrasse, l'approfondissement du profil sous l'action de l'activité biotique a été facilité dans les encroûtements irréguliers et peu compacts. Les sols sont alors à considérer comme des *sols bruns modaux (ou encroûtés) sur alluvions anciennes encroûtées*.

La *moyenne terrasse T2* est constituée d'alluvions généralement moins grossières, où l'on retrouve des éléments remaniés de la terrasse supérieure. L'épaisseur des alluvions sur le substratum schisteux n'est jamais très importante : 4 ou 5 m au maximum. L'encroûtement n'est que modérément développé, et des *sols bruns encroûtés, à remaniement superficiel*, s'observent à la partie supérieure. Cependant, des *lits calcaires irréguliers et compacts* ont pu se constituer en profondeur.

Ces terrasses sont elles-mêmes entaillées par des petits thalwegs affluents qui sont à l'origine du vallonnement de cette région, au nord comme au sud de l'oued Tensift. Ils ne sont plus fonctionnels, mais ils ont déposé à certains endroits des alluvions fines qui se raccordent à la basse terrasse limoneuse de l'oued (E54). La *basse terrasse T1* ne constitue ici, qu'un très petit épaulement accroché à la berge, en avant de la terrasse T2. L'oued Tensift s'est en effet divisé en deux chenaux d'écoulement divaguants, qui ont sapé la basse terrasse sur les deux rives. Celle-ci subsiste encore dans la zone centrale du lit séparant les deux chenaux, mais elle est irrégulièrement érodée et entaillée par les divagations incessantes de l'oued. Les alluvions fines ne sont que faiblement évoluées et caractérisent des *sols peu évolués d'apport, souvent légèrement salés et alcalisés*. A la partie supérieure, la zone d'activité racinaire est généralement occupée par des pseudomycéliums qui soulignent la porosité tubulaire du sol ; ce réseau de pseudomycéliums n'apparaît pas dans l'horizon de labour. Un *encroûtement de nappe est en cours de formation* à 2 m de profondeur, dans le profil E54.



TOPOSEQUENCE : 7

TOPOSEQUENCE 8

Elle se situe en rive droite de l'oued Tensift, en face de la toposéquence 7. La haute terrasse d'alluvions grossières encroûtées (T3) atteint ici 1 km de large. Vers le nord, elle porte à quelques endroits des petites buttes encroûtées constituées d'un matériau fin. Les profils sont situés de façon à étudier une de ces buttes résiduelles (A), qui prolonge la surface du glacis encroûté G3, également érigé en butte résiduelle (B) par l'érosion. Les deux buttes A et B sont séparées par une petite dépression où se situe la limite d'extension, vers le nord, des alluvions T3. Deux coupes transversales de l'interfluve, au niveau de chacune des buttes, complètent l'étude de cette toposéquence.

ETUDE DES PROFILS

Profil E 49 - Sol peu évolué d'érosion, sur encroûtement calcaire.

Sommet d'interfluve étroit, bien dégagé en butte résiduelle (B) par l'érosion à l'amont et à l'aval. Surface convexe, non cultivée et très battue, avec des débris calcaires et quelques fragments de schistes. Très faible végétation herbacée courte, avec des taches de lichens.

0 à 20-30 cm : Horizon de remaniement, à terre fine limoneuse avec débris calcaires peu nombreux. Limite ondulée, nette.

20-30 à 80 cm : Encroûtement avec structure à tendance feuilletée, en petits éléments calcaires allongés de l'ordre de 1 cm d'épaisseur irréguliers et blanchâtres, modérément indurés. Pellicule rubanée ondulée, marquant la limite supérieure. Réseau de terre brune, limoneuse, bien travaillée par la faune, représentant environ 30 à 40%. Limite régulière, progressive.

Au-dessous de 80 cm : De petits éléments de schiste altéré en place apparaissent. Ils constituent des fragments verdâtres de 1 à 2 cm de longueur et de quelques mm d'épaisseur ; ils sont empilés et l'orientation initiale de la schistosité est aisément reconnaissable. Dans un profil décrit à quelques mètres vers le nord, sur le talus de la même butte, nous avons pu voir que la schistosité principale du schiste est marquée par un réseau de diaclases subverticales espacées de 2 à 3 cm ; mais en s'altérant, les lits se divisent en petits éléments horizontaux superposés, de mêmes caractéristiques que les éléments subsistant dans ce profil. Le schiste est régulièrement imprégné par l'accumulation calcaire blanchâtre : nodules et concentrations friables, avec un réseau de terre brune bien travaillée par la faune ; l'ensemble paraît digérer la roche schisteuse.

Profil E 16 - Sol peu évolué d'érosion, sur alluvions grossières encroûtées.

Petite zone déprimée entre les deux buttes encroûtées (A et B), en sommet d'interfluve. Surface plane, occupée par de nombreux galets et des débris de calcaire.

0 à 40 cm : Horizon de remaniement essentiellement constitué de galets très divers d'origine atlasique, et présentant des traces d'encroûtement, avec des débris calcaires. Au-dessous de 20 cm, fins pseudomycéliums autour des cailloux et à l'emplacement des pores. Limite ondulée, brutale.

40 à 80 cm : Alluvions grossières, constituées de galets d'origine atlasique, généralement inférieurs à 4-5 cm, avec quelques éléments de schistes. Ils sont soudés en lits compacts irréguliers par un ciment calcaire brun clair ; l'ensemble est très dur et ne peut pas être cassé avec la pioche.

Profil E 12 - Sol peu évolué d'érosion, sur carapace calcaire.

Sommet de l'étroite butte résiduelle A, située sur la haute terrasse encroûtée. Surface convexe, avec des affleurements de dalle et nombreux débris calcaires pouvant atteindre 10-15 cm ; la pierrosité est de l'ordre de 70%. Lichens noirs sur la surface battue ; végétation très faible de petites herbacées.

0 à 15-30 cm : Horizon de remaniement, à nombreux débris calcaires de taille variable jusqu'à 10-15 cm, compacts, brunâtres mais à revêtements laitueux sur les faces. Terre fine brun clair (7,5 YR 6/4), à structure polyédrique émousée bien développée (0,5-1 cm). Cohésion d'ensemble faible, un peu plus forte des polyèdres. Limite ondulée, nette.

15-30 à 50 cm : Partie supérieure marquée par une pellicule rubanée pouvant atteindre 4 cm d'épaisseur, brune et bien zonée, qui épouse l'irrégularité de la limite supérieure. Dalle compacte de 10 cm d'épaisseur, n'existant pas d'un côté du profil. Au-dessous, encroûtement feuilleté dense, mais l'épaisseur des feuillets diminue vers le bas. Ils sont blanchâtres, encore poreux et assez fissurés. Du côté du profil où la dalle n'existe pas, un réseau de terre fine bien travaillée par la faune s'intercale de façon plus nette entre les feuillets. Limite régulière, progressive.

- 50 à 90 cm : Encroûtement nodulaire à structure feuilletée, constitué de petits éléments calcaires blancs plus ou moins brunâtres, aplatis (1-2 cm d'épaisseur), mais toujours craquelés et bien séparés. Certaines accumulations sont plus volumineuses et présentent des noyaux fortement indurés. La terre brune, bien travaillée par la faune, constitue un très fin réseau. Limite régulière, progressive.
- 90 à 230 cm : Accumulation calcaire en larges amas, formant de grandes taches irrégulières de 10-15 cm, blanchâtres, peu poreuses. Ils sont de consistance assez friable, mais contiennent des noyaux bien individualisés, compacts, très durs et bruns. Quelques revêtements noirs dans les pores. Contrastant avec ce matériau blanchâtre, la terre fine brun-rougeâtre (5 YR 5/4-6/4), limono-argileuse, peut représenter jusqu'à 20% ; elle est irrégulièrement répartie : veines irrégulièrement anastomosées pouvant constituer des poches de 10-15 cm de diamètre. Cette terre est toujours très bien travaillée par la faune (turricules), avec de nombreux granules calcaires, et petits revêtements noirs autour des pores ; on note également de petits fragments de coquille calcaire très fine. Au-dessous de 200 cm, les noyaux bruns prennent une tendance aplatie et deviennent un peu plus nombreux.
- 230 à 280 cm : A partir de 230 cm, l'induration devient plus importante même dans les accumulations blanchâtres. Les zones terreuses subsistent jusqu'à la base.

Profil E 20 - Sol peu évolué d'érosion, sur carapace calcaire.

Partie aval de la butte encroûtée A, laissant apparaître les galets encroûtés à 50 m vers le sud. Pente de 2% s'atténuant vers l'aval. Nombreux débris calcaires, la plupart inférieurs à 4 cm, quelques-uns jusqu'à 10 cm (quelques fragments de galets). Surface battue, avec très faible végétation de petites herbacées.

- 0 à 35 cm : Horizon de remaniement brun clair (7,5 YR 5/4). Limoneux, assez riche en débris calcaires ; les plus grossiers : 10-15 cm, sont des fragments de dalle. Structure motteuse à la partie supérieure ; polyédrique irrégulière (1 cm), bien développée, ailleurs. Cohésion assez faible. Porosité bonne, plus médiocre en surface. Activité biotique très bonne, avec très bon enracinement. Limite légèrement ondulée, très nette.
- 35 à 80 cm : Pellicule rubanée brune, de 1-2 cm d'épaisseur, épousant l'irrégularité de la limite supérieure. Au-dessous, encroûtement dense à tendance feuilletée, constitué d'éléments calcaires pouvant atteindre 5-10 cm d'épaisseur, mais devenant plus fins vers le bas. Ils sont blanchâtres, généralement craquelés, mais certains apparaissent assez compacts vers le sommet de l'horizon. Entre les éléments calcaires, réseau de terre fine bien travaillée par la faune, peu important d'un côté du profil. Limite irrégulière, progressive.
- 80 à 145 cm : Encroûtement en éléments irréguliers de taille variable : 1 à 5 cm, parfois jusqu'à 15 cm. Ces éléments indurés, mais encore poreux, sont blanchâtres, parfois plus brunâtres et compacts. La terre fine, brun clair (7,5 YR 6/4), limono-sablo-argileuse, représente environ 20 à 30%, et constitue un réseau anastomosé en galeries de 2-3 cm de large ; elle est bien travaillée par la faune. Vers le bas, des lits ou lentilles horizontaux et obliques, sableux, contenant de nombreux petits fragments de schistes, sont cimentés par une accumulation calcaire compacte indurée. On passe ainsi plus ou moins brutalement au matériau alluvial grossier sous-jacent ; il existe d'un côté une véritable dalle soudant un niveau gravelo-sableux.
- 145 à 190 cm : Alluvions grossières irrégulièrement constituées de galets dépassant rarement 15 cm et de lits plus sableux ou graveleux. Le matériau est irrégulièrement cimenté par des lits calcaires en dalles massives, alternant avec des zones friables.

COUPE TRANSVERSALE I

Elle est située au niveau de la butte B, en avant du profil E49. Trois profils retiennent l'attention : E14, E48 et E22.

Profil E 14 - Sol brun subtropical, sur encroûtement calcaire à remaniement superficiel.

Bas de pente sur le flanc est de la butte. A une cinquantaine de mètres vers l'est, les schistes affleurent. Surface recouverte à 90% de fragments schisteux et de débris calcaires, la plupart de ces éléments sont inférieurs à 2 cm, mais quelques cailloux de quartz sont plus grossiers. Très faible végétation herbacée.

- 0 à 20 cm : Horizon de remaniement constitué des mêmes éléments que ceux observés en surface, avec terre fine brun-rougeâtre clair (5 YR 6/3), sablo-argileuse. Surface battue et tassée ; au-dessous, structure parfois motteuse mais le plus souvent polyédrique irrégulière (1-5 cm), assez bien développée. Cohésion moyenne. Porosité et activité biotique assez bonnes, favorisant l'enracinement. Limite très nette et ondulée.
- 20 à 75 cm : Encroûtement calcaire nodulaire, en éléments de taille et de forme variables : granules et éléments plus grossiers jusqu'à 5-10 cm. Les concentrations sont blanchâtres, souvent craquelées, faiblement et irrégulièrement indurées, et elles soudent des graviers de schiste fin vert sombre. L'ensemble constitue un encroûtement peu dense, séparé par des zones terreuses qui peuvent être aussi assez larges : 5-10 cm. Terre fine brun-rougeâtre clair

Profil D99 - Sol brun encroûté subtropical, sur matériau alluvial gravelo-caillouteux à matrice limono-argilo-sableuse.

Milieu de pente à 2%, sur le versant ouest de la butte A. Surface recouverte de galets atlasiques à 60 %, accompagnés de terre rougeâtre, avec quelques débris calcaires. Cette zone de teinte rougeâtre est très localisée sur la surface blanchâtre à galets et éléments calcaires résiduels, qui caractérise la terrasse d'alluvions grossières encroûtées. Chaume d'orge.

0-25 cm : Horizon contenant de nombreux éléments grossiers, galets généralement inférieurs à 3 cm mais certains atteignant 10 cm : grès, roches vertes, granite (les granites sont irrégulièrement arenisés et portent un revêtement ferrugineux dans les fissures), avec quelques débris calcaires. Terre fine brun-rougeâtre (5 YR 4/4), très faiblement calcaire, limono-argilo-sableuse. Structure polyédrique irrégulière (1 cm), assez bien développée sur 10 cm dans l'horizon de culture ; plus irrégulière (1-3 cm) au-dessous, prenant une tendance prismatique dans les zones les moins caillouteuses. Cohésion faible avec une bonne porosité lacunaire dans l'horizon de travail ; plus cohérent et plus compact au-dessous. Activité biotique moyenne et irrégulière. Enracinement moyen, assez bien réparti dans les zones terreuses. Limite régulière, peu tranchée.

25-45 cm : Matériau identique, mais avec accumulation calcaire sous forme de concentrations irrégulières blanchâtres à inclusions rougeâtres, bien développées sous les galets, où l'épaisseur peut atteindre 0,5 cm ; on observe également certains éléments indépendants qui soulignent les graviers. Les graviers et petits cailloux sont revêtus d'un dépôt blanchâtre. La terre fine est comparable à celle de l'horizon précédent, mais avec un réseau de pseudomycéliums occupant les pores et qui devient plus dense vers le bas. Structure bien développée, polyédrique souvent à tendance prismatique (0, 5-2 cm) selon la proportion de cailloux. Cohésion d'ensemble faible, moyenne des éléments structuraux. Porosité et activité biotique moyennes à médiocres. Enracinement médiocre, faible à la base. Limite ondulée, nette, souvent soulignée par une pellicule rubanée de 4-5 cm.

Au-dessous de 45 cm : Alluvions grossières, encroûtées en lits compacts irréguliers alternant avec des zones friables.

Ce profil est développé dans un matériau constitué, pour une part, d'un apport rougeâtre et non calcaire originaire des Djebilet, et pour l'autre part, des galets remaniés des alluvions encroûtées. Ce matériau est comparable à celui du profil D88 (t.s. 6), mais il est ici de plus faible épaisseur.

CONCLUSIONS

Les buttes A et B sont des témoins correspondant à l'extrême aval d'un ancien glacis encroûté G3 qui raccorderait la vallée du Tensift aux zones d'érosion à topographie différenciée dans les Djebilet. Selon le cas, le façonnement de ce glacis s'est réalisé par ablation ou par accumulation.

La butte A est constituée d'alluvions fines, dont la partie supérieure au moins correspond à des matériaux originaires des Djebilet. Ces alluvions reposent sur des galets d'origine atlasique, qui constituent la terrasse supérieure (T3) de l'oued Tensift. Le passage des galets aux dépôts fins s'est réalisé rapidement, mais sans discontinuité apparente. On retrouve ici une séquence d'alluvionnement comparable à celles qui ont été observées ailleurs, sur d'autres toposéquences.

L'accumulation calcaire présente des faciès différents en fonction de la profondeur. La séquence calcaire s'est différenciée en fonction des conditions du milieu et de la nature du matériau, suivant la profondeur. Bien que le modèle ait été considérablement modifié par l'érosion, on retrouve, avec la coupe transversale II, des faciès semblables à des niveaux qui étaient comparables au moment de l'accumulation du calcaire : profils E12, E13, E17. L'accumulation du calcaire sous des formes différentes s'est réalisée au cours d'une même période d'évolution. La présence fréquente de fins dépôts noirs, probablement manganifères, dans les encroûtements, indique qu'il s'agit d'un milieu alluvial ayant connu des phénomènes d'hydromorphie.

Cette butte A correspond à la zone de confluence d'un ancien oued affluent venu du nord et situé à l'est de la butte schisteuse encroûtée B. Les caractères morphologiques du profil E14 confirment l'existence d'un thalweg à cet emplacement avant la formation du glacis G3. La granulométrie et l'origine des matériaux aux niveaux supérieurs de la butte A indique que l'oued Tensift n'apportait plus d'alluvions grossières, et que les conditions d'alluvionnement s'étaient profondément modifiées. Mal reprises par l'oued Tensift, les alluvions de l'affluent se sont avancées en s'étalant sur la haute terrasse caillouteuse pour constituer l'extrême aval de l'ancien glacis encroûté (G3).

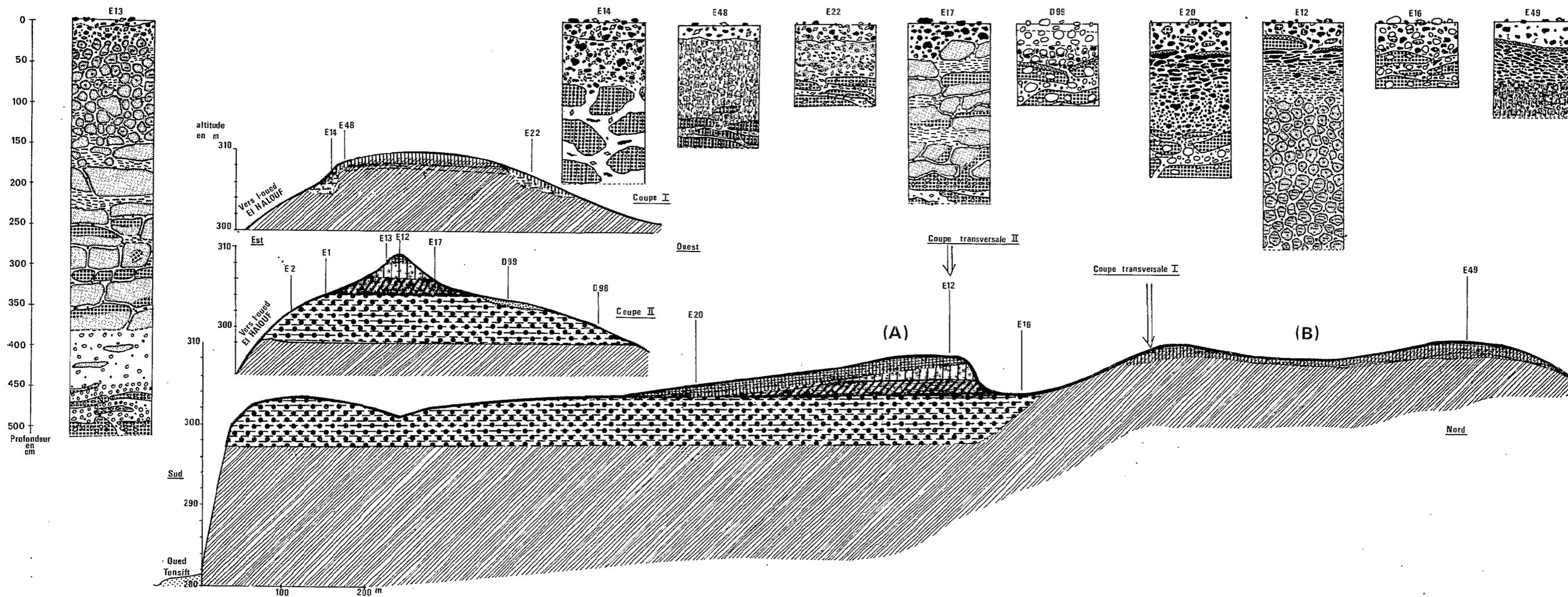
Le profil E14 indique que des sols rouges méditerranéens existaient avant la formation du glacis G3. Par ailleurs, dans cette région les schistes sont très fréquemment marqués par des traces de rubéfaction, même au-dessous du niveau des formations encroûtées. L'oued El Halouf, fortement encaissé à l'est et qui est encore temporairement actif, est à l'origine du creusement qui a éliminé les alluvions encroûtées accumulées dans l'ancien thalweg affluent, sur le flanc est de la butte B.

L'enfoncement du réseau hydrographique a été très important dans cette région. Mais le profil longitudinal des thalwegs affluents actuels n'apparaît pas régularisé par rapport au niveau de base local : l'oued Tensift. L'érosion vive s'est généralisée, et les *sols régosoliques* caractérisent l'ensemble des formations encroûtées (T3 et G3) ou schisteuses.

Les *épandages alluviaux rougeâtres* du profil D99 présentent une grande analogie avec ceux des profils D79, D75 et D88 de la toposéquence 6. Ils résultent de l'étalement d'alluvions fines, avec reprise des alluvions grossières anciennes encroûtées, par des oueds affluents des Djebilet, à un stade intermédiaire du façonnement des thalwegs actuels : *ce sont des dépôts de deuxième génération*. Le matériau a ultérieurement subi une pédogénèse favorisant la différenciation du profil calcaire pour aboutir à des *sols bruns encroûtés*.

On ne trouve pas ici de *moyenne terrasse* (T2) ; elle existe sur cette même rive droite de l'oued Tensift à 1 km vers l'aval. Mais il s'agit là d'une terrasse d'abrasion sur schistes. La roche apparaît fortement altérée et de couleur rougeâtre ; elle est entaillée par l'érosion ravinante qui tend à faire disparaître la terrasse.

La *haute terrasse* (T3) s'étend environ sur 1 km de large, sur cette rive droite. On comprend, qu'à une certaine époque, l'apport massif d'alluvions par les oueds affluents atlasiques, venus du sud, ait repoussé l'oued Tensift, en favorisant son étalement, vers le nord. L'épaisseur de la couverture alluviale demeure relativement faible : 5-6 m. Les alluvions ont raboté le substratum schisteux dont la surface paraît être assez régulière. Elle se situe à une altitude comparable à celle où apparaissent les schistes en rive gauche, sous les profils E46, E45 et E43 de la toposéquence 7.



TOPOSEQUENCE : 8

BIBLIOGRAPHIE

- ALIMEN (H.) -1976- Alternances "Pluvial-Aride" et "érosion-sédimentation" au Sahara Nord-Occidental. Rev. Géogr. phy. et Géol. dynam., vol. XVIII, fasc. 4, pp. 301-312.
- AMBROGGI et al. -1952- Hydrogéologie du Maroc (zone française). 19e Congr. Géol. Intern., 3e série (Maroc) n° 4, 359p., 45 fig., 22 pl. h.t.
- ANDRE (A.), EL GHARBAOUI (A.) -1973- Aspects de la morphologie littorale de la Péninsule de Tanger. Rev. Géogr. Maroc, n° 23-24, pp. 125-149.
- ARAMBOURG (C.) -1952- Eustatisme et isostasie. C.R. Acad. Sci., Paris, t. 234, n° 2, pp. 226-227.
- AUBERT (G.) -1965- Classification des sols. Tableaux des classes, sous-classes, groupes et sous-groupes utilisés par la section de Pédologie de l'ORSTOM. Cah. ORSTOM Pédol., vol. III, 3, pp. 269-288.
- BAGNOLS (F.), GAUSSEN (H.) -1953- Saison sèche et indice xerothermique. Bull. Soc. His. nat. Toulouse, pp. 193-239.
- BARATHON (J.J.) -1974- La vallée de l'oued Kert de Driouch à la mer (Rif Oriental-Maroc). Formations détritiques et néotectoniques. Méditerranée, n° 2, pp. 21-41.
- BARATHON (J.J.) -1976- Les niveaux quaternaires du littoral des Beni Saïd, Rif oriental, Maroc ; leur rôle géomorphologique. C.R. Acad. Sci., Paris, t. 282 D, pp. 1473-1476.
- BEAUDET (G.), DESTOMBES (J.), JEANNETTE (A.), MAURER (G.) -1960- Recherches géologiques et morphologiques sur le Quaternaire de la Meseta côtière atlantique marocaine entre Fédala, Bouznika et Boulhaut. Notes marocaines, n° 13, pp. 5-33.
- BEAUDET (G.), MAURER (G.) -1961- Dépôts et morphogénèse quaternaires dans la vallée inférieure de l'oued Lao. Notes marocaines, n° 1, pp. 13-25.
- BEAUDET (G.), JEANNETTE (A.), MAZEAS (J.P.) -1964- Les dépôts quaternaires du bas oued Tensift (Maroc Occidental). Etude géologique et morphologique. Rev. Géogr. Maroc, n° 5, pp. 35-60.
- BEAUDET (G.) -1967- Le cadre géomorphologique du Maroc. Cah. Rech. Agr. INRA Rabat, 24.
- BEAUDET (G.), MAURER (G.), RUELLAN (A.) -1967- Le Quaternaire marocain. Observations et hypothèses nouvelles. Rev. Géogr. phys. et Géol. dynam., vol. IX, fasc. 4, pp. 269-309.
- BEAUDET (G.) -1971- Le Quaternaire marocain : état des études. Rev. Géogr. Maroc, n° 20, pp. 3-55.
- BEAUDET (G.) -1972- Le Plateau Central Marocain. Rev. Géogr. phys. et Géol. dynam., vol. XIV, fasc. 2, pp. 107-132.
- BEAUDET (G.), MICHEL (P.), NAHON (D.), OLIVA (P.), RISER (J.), RUELLAN (A.) -1976- Formes, formations superficielles et variations climatiques récentes du Sahara occidental. Rev. Géogr. phys. et Géol. dynam., vol. XVIII, fasc. 2-3, pp. 157-174.
- BEAUDET (G.) -1977- Etudes récentes sur le Quaternaire du Maghreb.: Stratigraphie, Géomorphologie, Paléontologie, Paléoclimatologie. Bull. de l'A.F.E.Q., n° 50, pp. 47-51.
- BERNERT (G.), PROST (J.P.) -1972- Bilan de la nappe du Haouz. Etude dynamique en régime permanent. D.R.E. Marrakech, 2 vol., 13 + 18 pp., 2 + 2 fig., 2 cartes h.t. 1/100.000, multigr.
- BIBERSON (P.) -1958- Essai de classification du Quaternaire marin du Maroc atlantique. C.R. somm. Soc. géol. Fr., 4, pp. 67-70.
- BIBERSON (P.) -1971- Essai de redéfinition des cycles climatiques du Quaternaire continental du Maroc. Bull. de l'A.F.E.Q., n° 1, pp. 3-13.
- BOCQUIER (G.) -1973- Génèse et évolution de 2 toposéquences des sols tropicaux du Tchad. Interprétation biogéodynamique. Mém. ORSTOM n° 62, Paris, 350p., 102 fig., 4 pl. h.t.

- BRYSON (R.A.) -1974- A perspective on climatic change. Science, vol. 184, 17 My, pp. 753-760.
- CALLOT (G.), CHAMAYOU (H.), DELMAS (B.) -1980- Mise en évidence expérimentale des phénomènes de dissolution et de réprécipitation simultanées de la calcite ; conséquences pédologiques. Bull. A.F.E.S. Science du Sol, n° 1, pp. 5-16.
- Carte Géologique à 1/500.000 : feuille Marrakech, 1955-56, feuille Ouarzazate, 1959. Sous-Secrétariat d'Etat à la production industrielle et aux mines, Rabat.
- CHI-TRACH HOANG, ORTLICH (L.), WEISROCK (A.) -1978- Nouvelles datations $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ de terrasses marines "ouljiennes" du sud-ouest du Maroc et leurs significations stratigraphique et tectonique. C.R. Acad. Sci., Paris, t. 286 D, pp. 1759-1762.
- CONCARET (J.), MAHLER (Ph.) -1958-59- Note sur les paléosols du Haouz de Marrakech et leur importance agronomique. C.R. Soc. Sci. nat. et phys. Maroc, t. 13-14, pp. 197-202.
- CONCARET (J.) -1960 a - Etude pédologique d'une zone du Haouz de Marrakech (Soueilah Mrabtine). Génie Rural-ORSTOM, 30 p., 18 ill., 2 cartes h.t. 1/50.000, multigr.
- CONCARET (J.) -1960 b - Etude des sols du périmètre de l'oued N'fis. Génie Rural-ORSTOM, 44 p., 33 ill., 1 carte h.t. 1/50.000, multigr.
- CONRAD (G.) -1963- Synchronisme du dernier Pluvial dans le Sahara septentrional et le Sahara méridional. C.R. Acad. Sci., Paris, T. 257, pp. 2506-2508.
- CHOUBERT (G.) -1948 a - Au sujet des croûtes calcaires quaternaires. C.R. Acad. Sci., Paris, t. 226, n° 26, pp. 1630-1631.
- CHOUBERT (G.) -1948 b - Sur l'âge des limons rouges superficiels du Maroc. C.R. Acad. Sci., Paris, t. 227, n° 11, pp. 358-560.
- CHOUBERT (G.) -1948 c - Sur la nature des limons rouges superficiels du Maroc. C.R. Acad. Sci., Paris, t. 227, n° 13, pp. 639-641.
- CHOUBERT (G.) -1953- Sur les rapports entre les formations marines et continentales quaternaires. C.R. Acad. Sci., Paris, t. 237, n° 15, pp. 826-828.
- CHOUBERT (G.), JOLY (F.), GIGOUT (M.), MARÇAIS (J.), MARGNAT (J.), RAYNAL (R.) -1956- Essai de classification du Quaternaire Continental du Maroc. C.R. Acad. Sci., Paris, t. 243, n° 5, pp. 504-506.
- CHOUBERT (G.) -1957- Essai de corrélation entre les cycles marins et continentaux du Pléistocène au Maroc. C.R. Acad. Sci., Paris, t. 245, n° 13, pp. 1066-1069.
- CHOUBERT (G.) -1965 a - Essai de corrélation des formations continentales et marines du Pléistocène au Maroc ; 5e Congr. I.N.Q.U.A., Madrid-Barcelone, 1957. Notes Serv. Géol. Maroc, t. 25, n° 185, pp. 35-45.
- CHOUBERT (G.) -1965 b - Evolution de la Connaissance du Quaternaire au Maroc ; 5e Congr. I.N.Q.U.A., Madrid-Barcelone, 1957. Notes Serv. Géol. Maroc, t. 25, n° 185, pp. 9-27.
- CHOUBERT (G.), FAURE-MURET (A.), MAARLEVED (G.C.) -1967- Nouvelles dates isotopiques du Quaternaire marocain et leur signification. C.R. Acad. Sci., Paris, t. 264 D, n° 3, pp. 434-437.
- COUVREUR (G.) -1973- Quelques aspects des hauts sommets du Haut-Atlas Central (Maroc). In Etude de certains milieux du Maroc et de leur évolution récente, n° 1, C.N.R.S. Trav. R.C.P. 249, multigr., pp. 19-24.
- DELBRIAS (G.), ROGNON (P.), WEISROCK (A.) -1976- Datation de plusieurs épisodes à "limons roses" dans le Quaternaire récent de l'Atlas Atlantique Marocain. C.R. Acad. Sci., Paris, t. 282 D, pp. 593-596.
- DELONNOY (H.) -1971- Aspects du climat de Marrakech et de sa région. Rev. Géogr. Maroc, n° 20, pp. 69-105.

- DIVOUX (P.), PUJOS (A.) -1958-59- Sur l'importance fondamentale des lois tirées de l'étude du Rharb en ce qui concerne les pédogénèses récentes. Soc. Sci. nat. et phys. Maroc, t. 13-14, pp. 97-100.
- DRESCH (J.) -1941- Recherches sur l'évolution du relief dans le massif central du Grand Atlas, le Haouz et le Sous. Imprim. Arrault. Tours, 708 p., 206 fig., 40 pl. photo, atlas de 10 pl. et 3 cartes coul.
- EMBERGER (L.) -1955- Une classification biogéographique des climats. Rec. Trav. Lab. Bot. Géol. Cool. Fac. Sci., Montpellier, sér. Bot., 7, pp. 3-43.
- ENNOUCHI (E.) -1966- Essai de datation du gisement du Jebel Irhoud (Maroc). C.R. Soc. géol. France, n° 10, pp. 405-406.
- FAIRBRIDGE -1970- World paleoclimatology of the Quaternary. Rev. Geogr. phys. et Geol. dynam., vol. XII, fasc. 2, pp. 97-104.
- GIGOUT (M.) -1957- Chronologie du Quaternaire récent marocain. Principes de la corrélation fluvio-marine. C.R. Acad. Sci., Paris, t. 244, n° 19, pp. 2404-2407.
- GIGOUT (M.), RAYNAL (R.) -1957- Corrélation des phénomènes marins et continentaux dans le Quaternaire marocain. C.R. Acad. Sci., Paris, t. 244, n° 20, pp. 2528-2531.
- GIGOUT (M.) -1958- Sur le Pliocène et le Quaternaire de Rabat et de Salé. C.R. Acad. Sci., Paris, t. 247, n° 17, pp. 1363-1366.
- GIGOUT (M.) -1959- Ages, par radiocarbone, de deux formations des environs de Rabat (Maroc). C.R. Acad. Sci., Paris, t. 249, n° 25, pp. 2802-2803.
- GIGOUT (M.), RAYNAL (R.) -1959- Retouche à la corrélation des phénomènes marins et continentaux dans le Quaternaire marocain. C.R. Acad. Sci., Paris, t. 248, n° 15, pp. 2223-2225.
- GILBERT (J.P.) -1959- Station expérimentale d'écologie. Les sols de la station expérimentale de Marrakech. Sous-Direction de la Recherche Agronomique et de l'Enseignement Agricole, Rabat. 3 p., 6 tabl., multigr.
- GOUDIE (A.) -1973- Duricrusts in Tropical and Subtropical Landscapes. Clarendon Press, Oxford, 148p., 46 fig., 42 tabl.
- HERVIEU (J.) -1975- Evolution du milieu naturel en Afrique et à Madagascar. L'interprétation paléoclimatique du Quaternaire. Essai de synthèse. Init. Doc. techn. ORSTOM, n° 26, 170p., 16 tabl.
- HUBSCHMAN (J.) -1967- Sols, pédogénèses et climats quaternaires dans la plaine des Triffa (Maroc). Thèse doct. ing., Fac. Sci., Toulouse, multigr., 152p.
- HUBSCHMAN (J.) -1971- Limons rouges et gris quaternaires récents et érosion sélective au Maroc Oriental. Bull. E.N.S.A. Toulouse, 4e trim., pp. 7-12.
- JOLY (F.) -1965- Remarques sur l'emboîtement des formes quaternaires continentales dans le Sud-Est Marocain. Notes Serv. géol. Maroc, t. 25, n° 185, pp. 71-77.
- LAMB (H.H.), WOODROFFE (A.) -1970- Sur la circulation atmosphérique pendant la dernière période glaciaire. Rev. Géogr. phy. et Géol. dynam., vol. XII, fasc. 2, pp. 105-108.
- LAQUINA (A.) -1973- Observations géomorphologiques dans la région du Moyen Sebou, en amont de Fès. Rev. Géogr. Maroc, n° 23-24, pp. 95-123.
- LAQUINA (A.) -1974- Observations géomorphologiques sur les deux vallées du Zegzel et du Bou Ghriba (flanc nord des Béni-Snassen centraux). In Etude de certains milieux du Maroc et de leur évolution récente, n° 2, C.N.R.S. Trav. R.C.P. 249, multigr., pp. 35-46.
- LAMOUREUX (M.) -1972- Etude des sols formés sur roches carbonatées. Pédogénèse fersiallitique au Liban. Mém. ORSTOM, n° 56, 266p., 49 fig., 61 tabl., 8 pl. photo.
- LAMOUREUX (M.) -1967- Contribution à l'étude de la pédogénèse en sols rouges méditerranéens. Science du sol, 2, pp. 55-86.

- LE COZ (J.) -1960- Banasa : Contribution à l'étude des alluvions "rharbiennes".
Bull. archéol. Maroc, t. 4, pp. 469-470.
- MAHLER (P.) - Etude pédologique de la zone de l'oued R'Dat (partie sud). Génie Rural-ORSTOM,
1/50.000, multigr.
- MARCAT (J.) -1958- Rôle des eaux souterraines dans le génèse actuelle des dépôts salins en zone
aride (Maroc pré-saharien). C.R. Acad. Sci., Paris, t. 247, pp. 1368-1370.
- MARTIN (J.) -1973- Esquisse de l'évolution géomorphologique quaternaire de la région du Jbel
Tichoukt (Moyen Atlas Central). In Etude de certains milieux du Maroc et de leur évolution
récente, n° 1, C.N.R.S., Trav. R.C.P. 249, multigr., pp. 25-29.
- MASSON (J.M.) -1974- L'érosion des sols dans les régions méditerranéennes. Agriculture n° 377,
pp. 172-175.
- MATHIEU (L.), THOREZ (J.), EK (C.) -1975- Contribution à l'étude des encroûtements calcaires dans le
cadre de la morphogenèse et de la pédogenèse en climat méditerranéen semi-aride et aride :
application à la région de Taza (Maroc). Coll. "Types de croûtes calcaires et leur réparti-
tion régionale". Univ. L. Pasteur, Strasbourg, multigr., p. 114-120.
- MILLOT (G.) -1964- Géologie des argiles. Masson et Cie éd., Paris, 499p.
- MILLOT (G.), NAHON (D.), PAQUET (H.), RUELLAN (A.), TARDY (Y.) -1977- L'épigénie calcaire des roches
silicatées dans les encroûtements carbonatés en pays subaride, Anti-Atlas, Maroc.
Sci. Géol. Bull., 30, 3, pp. 129-152.
- MISSET (M.), MOREAU (R.) -1971- Etude pédologique de la région de Marrakech au 1/50.000. Marrakech
Ouest- oued N'fis - Sidi Zouine. ORMVAH Marrakech - DRA Rabat - ORSTOM, Paris, 232 p.,
4 fig., 2 tabl., 1 carte 1/100.000, 1 carte h.t. 1/100.000, 2 cartes h.t. 1/50.000, multigr.
- MISSET (M.), MOREAU (R.) -1972- Etude pédologique de la région de Marrakech au 1/50.000. Marrakech
Est-Tameleit - oued R'dat. ORMVAH Marrakech - DRA Rabat - ORSTOM Paris, 201 p., 5 fig.,
2 tabl., 2 cartes 1/100.000, 2 cartes h.t. 1/50.000, multigr.
- MISSET (M.) -1974- Etude pédologique de la région de Marrakech Est-Tahnaout. Prospection réalisée
dans le cadre de la cartographie pédologique régulière à 1/100.000. Documents présentés à
1/50.000. ORSTOM Paris - DRA Rabat, 146 p., 6 fig., 1 tabl., 1 carte 1/600.000, 2 cartes h.t.
1/50.000, multigr.
- MOREAU (R.) -1973 a- Etude pédologique de la région Marrakech Ouest- oued Tensift. Prospection
réalisée dans le cadre de la cartographie pédologique régulière à 1/100.000. Documents pré-
sentés à 1/50.000. ORSTOM Paris - DRA Rabat, 182p., 6 fig., 1 tabl., 1 carte 1/600.000, 1
carte 1/100.000, 2 cartes h.t. 1/50.000, multigr.
- MOREAU (R.) -1973 b- Evolution du profil hydrique dans un sol à profil complexe sous culture irri-
guée de coton à la station expérimentale de Souihla. ORSTOM Paris - DRA Rabat, 16p., 9 fig.,
3 tabl., multigr.
- MOREAU (R.) -1974- Etude pédologique de la région Marrakech Ouest- oued Tensift ; annexe : I. Phos-
phore assimilable, II. Erratum. Evolution du profil hydrique dans un sol à profil complexe
sous culture irriguée de coton à la station expérimentale de Souihla : erratum. ORSTOM
Paris - DRA Rabat, 7p., multigr.
- NAHON (D.), RUELLAN (A.), MILLOT (G.) -1973- Accumulations calcaires et ferrugineuses dans la marge
occidentale du Sénégal, de la Mauritanie et du Maroc. Rapport sur la mission multidiscipli-
naire de janvier 1973. Bull. A.S.E.Q.U.A., n° 39, pp. 43-55.
- OLIVA (P.) -1973- Problèmes géomorphologiques dans l'Anti-Atlas occidental. In Etude de certains
milieux du Maroc et de leur évolution récente, n° 1, C.N.R.S., Trav. R.C.P. 249, multigr.,
pp. 31-35.
- OLIVA (P.) -1974- La distribution des croûtes et encroûtements dans l'Anti-Atlas occidental. In
Etude de certains milieux du Maroc et de leur évolution récente n° 2, C.N.R.S., Trav. R.C.P.
249, multigr., pp. 47-77.

- O.R.M.V.A.H. -1970- Les ressources naturelles et la mise en valeur actuelle de la plaine du Haouz. Rev. Géogr. Maroc, n° 17, pp. 3-42.
- PELTIER (J.°.) -1971- Etude phyto-écologique du périmètre irrigable de la Tessaoute-amont. ORMVAH Marrakech, 129pp., 15 fig., 50 tabl., multigr.
- PLET-LAJOUX (C.), MONNIER (G.), PEDRO (G.) -1971- Etude expérimentale sur la génèse et la mise en place des encroûtements gypseux. C.R. Acad. Sci., Paris, t. 272 D, pp. 3017-3020.
- PUJOS (A.) -1957- Terres rouges, noires, grises. C.R. Soc. Sci. nat. et phys. Maroc, t. 23, n° 8, pp. 146-148.
- RAYNAL (R.) -1955- Oscillations climatiques et évolution du relief au cours du Quaternaire. Notes maroc., Rabat, n° 5, pp. 10-14.
- RAYNAL (R.) -1962- Pédologie et géomorphologie au Maroc. Rev. Géogr. Maroc, n°s 1 et 2, pp. 19-21.
- REVEL (J.C.) -1972- Recherche sur l'origine de la rubéfaction des terres rouges méditerranéennes. Thèse doct. ing., Université P. Sabatier Toulouse, 104 p., 7 graph., 12 tabl.
- ROCH (E.) -1950- Histoire stratigraphique du Maroc. Direction de la Production Industrielle et des Mines. Rabat. Notes et Mém., n° 80.
- ROCHE (J.) -1958- Chronologie absolue de l'Epipaléolithique marocain. C.R. Acad. Sci., Paris t. 246, n° 25, pp. 3486-3487.
- ROCHE (J.) -1959- Nouvelle datation de l'Epipaléolithique marocain par la méthode du carbone 14. C.R. Acad. Sci., Paris, t. 249, n° 5, pp. 729-730.
- ROGNON (P.) -1976- Les oscillations du climat saharien depuis 40 millénaires. Introduction à un vieux débat. Rev. Géogr. phys. et Géol. dynam., vol. XVIII, fasc. 2-3, pp. 147-156.
- ROOSE (E.) -1973- Dix sept années de mesures expérimentales de l'érosion et du ruissellement sur un sol ferrallitique sableux de basse Côte d'Ivoire. Contribution à l'étude de l'érosion hydrique en milieu intertropical. Thèse doct. ing. Université Abidjan, 124p., 52 fig., 53 tabl., multigr.
- RUELLAN (A.) -1965- Le rôle des climats et des roches sur la répartition des sols dans les plaines de la basse Moulouya. C.R. Acad. Sci., Paris, t. 261, pp. 2379-2382.
- RUELLAN (A.) -1968- Les horizons d'individualisations et d'accumulation du calcaire dans les sols du Maroc. 9e Congr. Int. Sci. Sol. Adelaïde, IV, pp. 501-510.
- RUELLAN (A.) -1969- Quelques réflexions sur le rôle des sols dans l'interprétation des variations bioclimatiques du Pléistocène marocain. 6e Congr. Panafr. Préh. et Et. Quat., Dakar, 1967. Rev. Géogr. Maroc, n° 15, pp. 129-140.
- RUELLAN (A.) -1970- Contribution à la connaissance des sols des régions méditerranéennes : les sols à profil calcaire différencié des plaines de la Basse Moulouya (Maroc oriental). Mém. O.R.S.T.O.M. n° 54, 302p., 41 fig., 19 tabl., 8 pl. photo.
- RUELLAN (A.), NAHON (D.), PAQUET (H.), MILLOT (G.) -1977- Géochimie de la surface et formes du relief. Rôle des encroûtements et épigénies calcaires dans le façonnement du modelé en pays aride. Sci. Géol. Bull., 30, 4, pp. 283-288.
- SERGENT (J.P.) -1976- Le temps change : cycle ou accident ? Sci. et Vie, n° 708, pp. 14-20, 138-139 et 144.
- TARDY (Y.) -1969- Géochimie des altérations. Etude des arènes et des eaux de quelques massifs cristallins d'Europe et d'Afrique. Mém. Serv. Carte Géol. d'Alsace et Lorraine, n° 31, 192p.

- WEISROCK (A.), ROGNON (P.) -1977- Evolution morphologique des basses vallées de l'Atlas atlantique Marocain. *Géologie Méditerranéenne*, t. IV, n° 4, pp. 313-334.
- WEISROCK (A.) - 1973 a - Introduction à l'étude du Pléistocène dans la région du Moyen Tensift (SW du Maroc). *Rev. Géogr. Maroc*, n° 23-24, pp. 151-166.
- WEISROCK (A.) - 1973 b - Note sur les glacis et terrasses d'Argana (Haut-Atlas Occidental). *In* Etude de certains milieux du Maroc et de leur évolution récente, n° 1, C.N.R.S., Trav. R.C.P. 249, multigr., pp. 41-57.
- WEISROCK (A.) -1975- Les glacis d'érosion étagés en roche tendre des bordures de l'Atlas atlantique marocain et leurs enseignements. *In* Géomorphologie des glacis. Coll. Univ. Tours, multigr., pp. 85-103.
- WILBERT (J.) -1962- Croûtes et encroûtements calcaires au Maroc. *Al Awania*, n° 3, pp. 175-193.
- WISCHMEIER (W.H.), SMITH (D.D.) -1960- A universal soil-loss estimating equation to guide conservation form planning. 7th Intern. Congr. Soil Science. Vol. I, pp. 418-425.

PLANCHES - PHOTOS

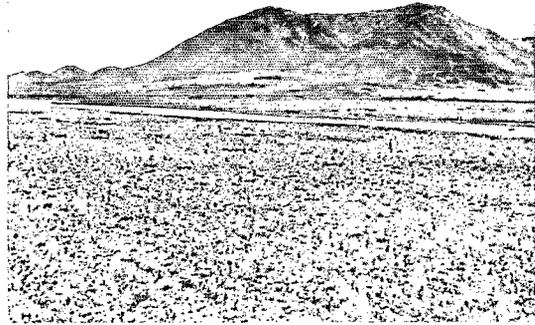
PLANCHE 1

- Photo 1* - Paysage des Djebilet dans la région du Djebel Ramram. Dépression en zone granitique avec épan-dages G2, entourée des reliefs schisto-quartziti-ques. A l'arrière plan, en teinte plus claire, les micaschistes du Djebel Ramram.
- Photo 2* - Face ouest de la colline Tabouchennt s'ouvrant vers le glacis d'ablation et d'épandage de la toposéquence 2, vue de l'ancien glacis encroûté G3.
- Photo 3* - Le flanc sud-ouest de la butte témoin encroûtée G3 de la toposéquence 4. A l'arrière plan, à droite, la colline Tabouchennt.
- Photo 4* - Sol peu évolué d'érosion (remaniement à matrice rubéfiée), sur roche schisto-quartzitique dans les Djebilet. En profondeur, accumulation cal-caire en poche dans une zone à fine schistosité sensible à l'altération.
- Photo 5* - Base de la couverture alluviale T3 au contact du socle schisteux (vallée du Tensift dans la région de la toposéquence 8). Les niveaux sableux ont été entièrement cimentés en grès calcaire offrant une meilleure résistance à l'érosion.
- Photo 6* - Alluvions grossières encroûtées de la terrasse T3 (berges escarpées à l'aval du Seheb el Hmer, to-poséquence 7). Lits et lentilles sableux cimentés en grès calcaires.

PLANCHE 1



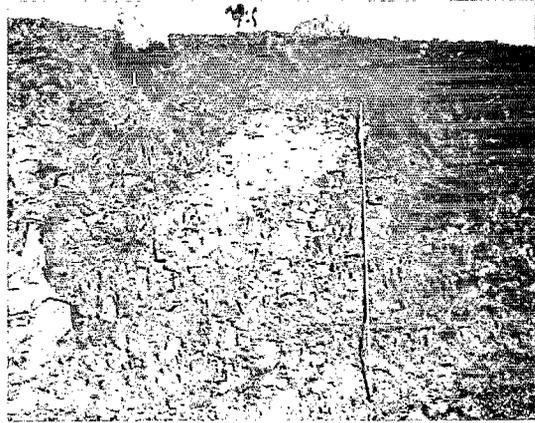
1



2



3



4



5



6

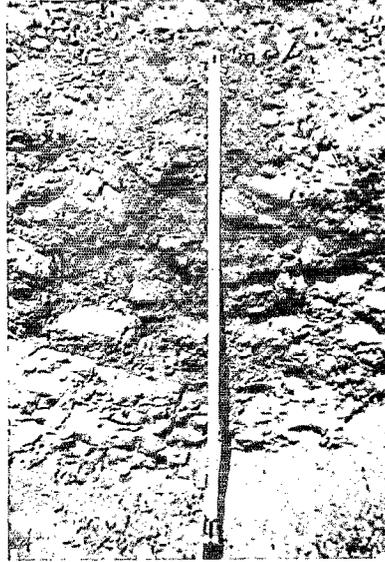
PLANCHE 2

- Photo 7* - Contact des alluvions grossières encroûtées T3 du Tensift (grès, laves) et des alluvions de recouvrement plus fines (schistes, dolérites) d'un ancien oued affluent, observé sur la berge du Seheb el Hmer (toposéquence 7). Les alluvions de l'ancien affluent constituent en exclusivité la couverture alluviale vers le sud.
- Photo 8* - Sur un versant d'interfluve dégagé sur l'ancienne terrasse T3 au nord du Tensift : matériau hétérogène (galets issus du remaniement des alluvions T3 et matrice gravelo-argileuse rougeâtre originaire des Djebilet), assimilé aux épanchages G2, recouvrant les alluvions encroûtées T3. Formation d'un sol brun subtropical à profil calcaire moyennement différencié sur le matériau de recouvrement.
- Photo 9* - Partie aval de la toposéquence 1, vue de l'épais filon de quartz. Glacis encroûté G3, puis zone de végétation irriguée de l'oued Tensift en teinte sombre. A l'arrière plan, à gauche, le Djebel Guéliz.
- Photo 10* - Partie aval du glacis G3 au sud du Tensift (région du douar El Guern). Croûte feuilletée épaisse passant progressivement à un encroûtement nodulaire à rognons calcaires.
- Photo 11* - Sous un remaniement à éléments calcaires résiduels. Croûte calcaire massive à pellicule rubanée superficielle, sur encroûtement granulo-nodulaire (structure à tendance finement feuilletée à la partie supérieure). Excavation observée au douar Kouara bel Lahsene (toposéquence 7).
- Photo 12* - Sol rouge méditerranéen sur arène granitique, observé sur un flanc de colline à sommet quartzitique (région du Djebel Ramran). Sous le sol rouge, concentration du calcaire en accumulation de diaclases et en poches dans l'arène. Noter la limite inférieure brutale du sol rouge au-dessus des concentrations calcaires et plus progressive ailleurs. L'accumulation calcaire souligne l'orientation générale horizontale du système de diaclases.

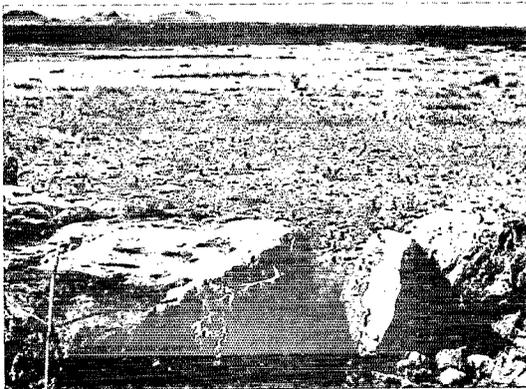
PLANCHE 2



7



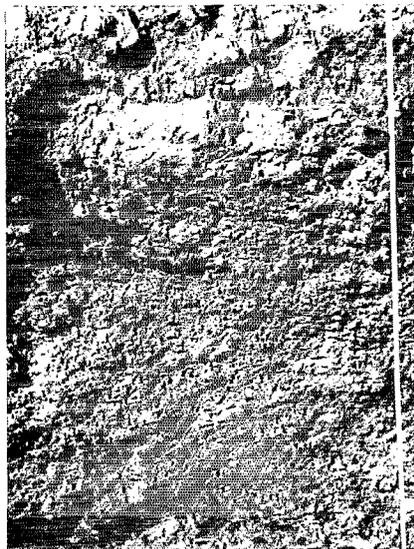
8



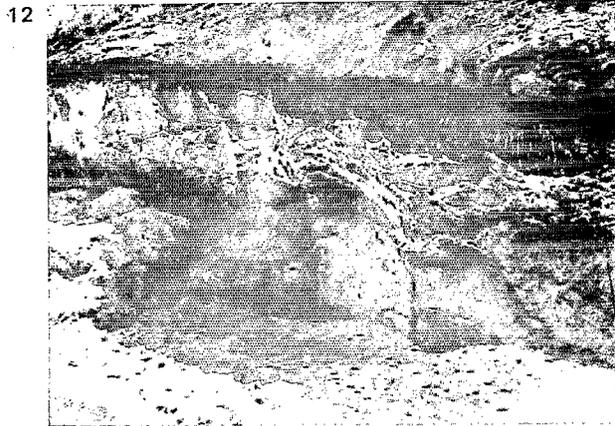
9



10



11

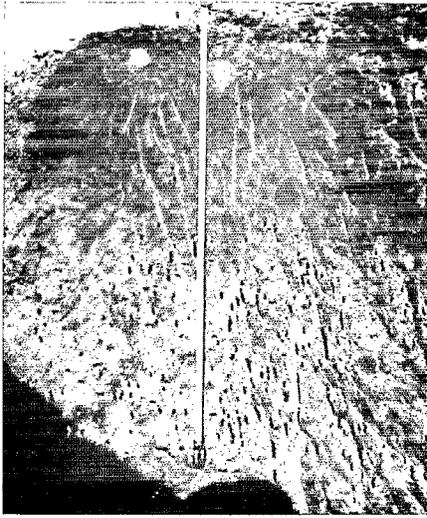


12

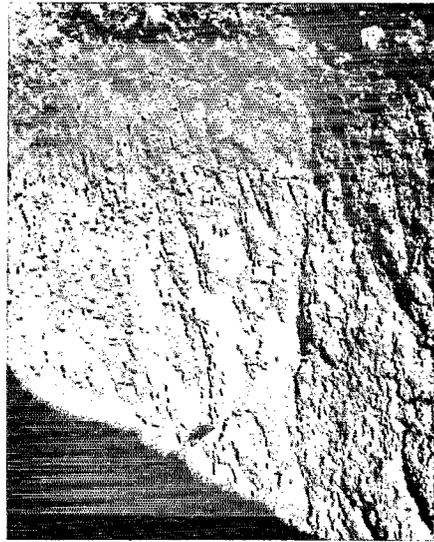
PLANCHE 3

- Photo 13* - Partie amont de la tranchée D38 sur la toposé-
quence 1, dans la zone de passage sol rouge -
carapace calcaire. Sous le remaniement caillou-
teux, sol rouge méditerranéen sur granite avec,
à la base, un horizon à amas calcaires reposant
sur la roche granitique non désagrégée.
- Photo 14* - Partie médiane de la tranchée D38 sur la topo-
séquence 1. Sous le remaniement caillouteux supé-
rieur, le sol rouge diminue d'épaisseur et se
biseaute par remontée de l'horizon d'accumula-
tion calcaire vers l'aval. A droite de la photo-
graphie, l'accumulation calcaire emprisonnant
des îlots d'arène se trouve en contact direct
avec l'horizon de remaniement.
- Photo 15* - Encroûtement nodulaire érodé sur granite, à
l'aval du glacis G3. Passage discontinu de
l'arène à l'encroûtement, par détachement
d'îlots granitiques diminuant de taille vers le
sommet où ils disparaissent du profil. Ces îlots
sont séparés par des zones associant des nodules
calcaires à la terre brune et qui diminuent
d'importance du haut vers le bas. A partir de
ces zones, des veines terreuses pénètrent irrég-
ulièrement dans les îlots d'arène et paraissent
en assurer la digestion.
- Photo 16* - Glacis G3 dans la région du douar Kouara bel
Lahsene (toposéquence 7). Encroûtement lamellai-
re superficiel recouvrant en continuité trois
niveaux d'encroûtement étagés de la carapace
calcaire : dalle, croûte et encroûtement nodu-
laire.
- Photo 17* - Glacis G3 au nord du Tensift dans la région de
la toposéquence 8. Limite ondulée brutale entre
un horizon de remaniement et un encroûtement
nodulaire (à tendance massive) sur schiste fin.
La limite est soulignée par un encroûtement
lamellaire, avec faciès à pellicule rubanée au
creux de la dépression centrale.
- Photo 18* - Encroûtement lamellaire sur encroûtement nodu-
laire à l'amont du glacis G3, sur la bordure
méridionale des Djebilet. En haut : faciès croû-
te lamellaire, poreuse et de teinte claire. En
bas : faciès pellicule rubanée, compacte et plus
sombre, avec au sommet une mince croûte lamel-
laire claire. Dans les deux cas, l'encroûtement
lamellaire repose sur les nodules de l'encroûte-
ment sous-jacent, qui ont été réunis en accumu-
lation continue pour former une petite croûte
calcaire très irrégulière.

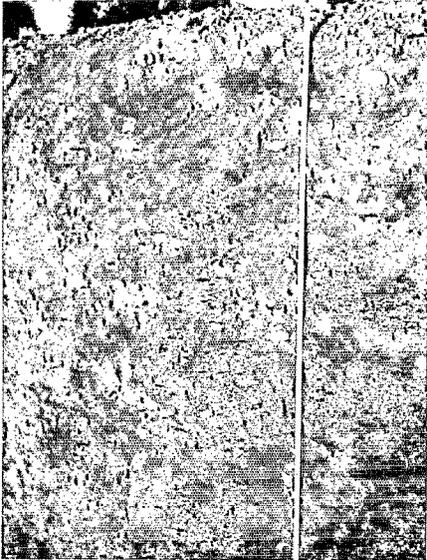
PLANCHE 3



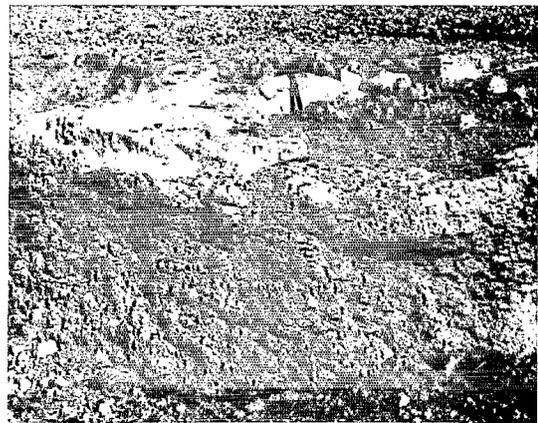
13



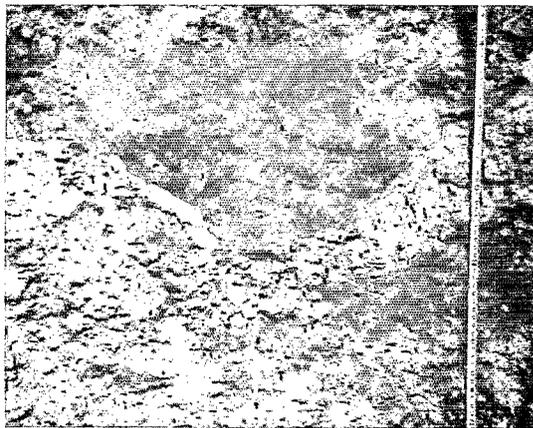
14



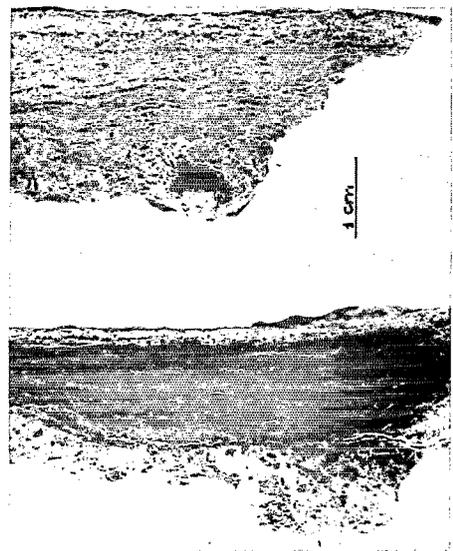
15



16



17



18

LISTE DES TABLEAUX

pages

<p>Tableau 1 : Les principaux caractères de différenciation géomorphologique, lithologique et pédologique des matériaux superficiels dans la région de l'oued Tensift au nord du Haouz de Marrakech</p>	80
<p>2 : Résultats analytiques obtenus sur quelques échantillons de concentrations calcaires</p>	97
<p>3 : Répartition des différentes formes de concentration calcaire dans les profils d'accumulation, en fonction de la situation géomorphologique, de la profondeur et de la nature des matériaux..</p>	112
<p>4 : La paléogénèse et la différenciation des matériaux superficiels dans la région de l'oued Tensift, au nord du Haouz de Marrakech</p>	165

TABLE DES MATIERES

Pages

RESUME III	
ABSTRACT IV	
SOMMAIRE V	
AVANT-PROPOS I	
INTRODUCTION	3
CHAPITRE I	
LES FACTEURS DU MILIEU	13
SITUATION GEOGRAPHIQUE.	13
LE CADRE GEOLOGIQUE ET GEOMORPHOLOGIQUE.....	15
LES DJEBILETS.	15
LE HAUT ATLAS.	18
LA PLAINES DU HAOUZ.	19
<i>Les couvertures secondaire et éocène</i>	19
<i>Les sédiments néogènes et quaternaires</i>	21
<i>Les dépôts superficiels</i>	21
L'OUED TENSIFT ET LE SYSTEME HYDROGRAPHIQUE.....	22
LE CLIMAT.	26
LES PRECIPITATIONS.	26
LES TEMPERATURES.....	30
LES AUTRES FACTEURS DU CLIMAT.	31
CARACTERISATION DU CLIMAT.	32
LES FACTEURS BIOLOGIQUES.	33
L'INTERVENTION HUMAINE AU NIVEAU DU SOL.	34
LA VEGETATION.....	36
CHAPITRE II	
CARACTERISATION DES MATERIAUX SUPERFICIELS	39
LES ZONES D'EROSION A TOPOGRAPHIE DIFFERENCIEE.....	41
<i>Le modelé</i>	41
Les zones à reliefs accusés.	41
Les zones vallonnées.....	42
<i>Les caractères lithologiques et pédologiques</i>	44
LES ZONES DE GLACIS.....	48
L'ANCIEN GLACIS G3.	48
<i>Les matériaux</i>	51
<i>L'évolution supergène</i>	52
LES EPANDAGES PLUS RECENTS G2 et G1.	56
LES EPANDAGES GROSSIERS G2.	60
<i>Les matériaux</i>	60
<i>L'évolution supergène</i>	62
LES EPANDAGES FINS G1.	65
<i>Les matériaux</i>	65
<i>L'évolution supergène</i>	67
LES TERRASSES DE L'OUED TENSIFT.....	71
LES VESTIGES D'UNE ANCIENNE TERRASSE SUPERIEURE.	72
LA HAUTE TERRASSE T3.	73
LA MOYENNE TERRASSE T2.	75
LA BASSE TERRASSE T1.	77
CONCLUSIONS.	81

CHAPITRE III

LES ACCUMULATIONS CALCAIRES	89
LES FORMES D'INDIVIDUALISATION DU CALCAIRE.	89
LES DISTRIBUTIONS DIFFUSES.	90
LES CONCENTRATIONS DISCONTINUES.....	91
<i>Les pseudomycéliums</i>	91
<i>Les amas friables</i>	92
<i>Les nodules</i>	94
LES CONCENTRATIONS CONTINUES.....	95
LES ENCRÔTEMENTS NON FEUILLETES.....	96
<i>Les encroûtements massifs</i>	96
<i>Les encroûtements en larges amas</i>	98
<i>Les encroûtements nodulaires</i>	99
LES ENCRÔTEMENTS FEUILLETES.....	101
<i>Les croûtes feuilletées</i>	101
<i>Les dalles et les lits compacts</i>	103
Les dalles compactes.....	104
Les lits compacts.....	105
<i>Les encroûtements lamellaires</i>	107
LES FORMES DETRITIQUES.....	109
L'ASSOCIATION DES DIFFERENTES FORMES DE CONCENTRATION DANS LES PROFILS D'ACCUMULATION CALCAIRE.	
LES ZONES D'EROSION A TOPOGRAPHIE DIFFERENCIEE.....	111
LES MATERIAUX DE TROISIEME GENERATION (G3 et T3).....	113
LE GLACIS ENCRÔTE G3.....	113
<i>Les zones d'amont</i>	114
Sur matériaux allochtones.....	114
Sur matériaux autochtones.....	116
<i>Les zones d'aval</i>	117
Sur matériaux allochtones.....	118
Sur matériaux autochtones.....	119
LA HAUTE TERRASSE T3.....	120
LES MATERIAUX DE DEUXIEME ET PREMIERE GENERATIONS.....	120
LES EPANDAGES G2 et G1.....	121
LES TERRASSES T2 et T1.....	122
LES PRINCIPAUX FACTEURS DE DIFFERENCIATION DES CONCENTRATIONS CALCAIRES.....	123
LA TOPOGRAPHIE.....	124
LA PROFONDEUR.....	126
LA TEXTURE INITIALE.....	128
QUELQUES CARACTERISTIQUES ANALYTIQUES DES CONCENTRATIONS CALCAIRES.....	131
CALCAIRE ET RESIDU DE DECARBONATATION.....	131
HUMIDITE.....	131
FER ET MANGANESE.....	132
LE pH.....	132
GYPSE ET CONDUCTIVITE ELECTRIQUE.....	132
BILAN IONIQUE.....	133
CONCLUSIONS.....	133

CHAPITRE IV	
ESSAI D'INTERPRETATION A L'EVOLUTION REGIONALE	
	137
L'ENSEIGNEMENT DES FAITS ET L'EVOLUTION CHRONOLOGIQUE.....	138
AVANT LA MISE EN PLACE DU GLACIS G3.....	138
UN EPISODE DE MORPHOGENESE : MG3 (dépôts G3 et T3).....	140
UN EPISODE DE PEDOGENESE : PG3.....	142
<i>La rubéfaction à l'amont.</i>	142
<i>Les encroûtements calcaires à l'aval.</i>	143
UN EPISODE DE MORPHOGENESE : MG2 (dépôts G2 et T2).....	144
UN EPISODE DE PEDOGENESE : PG2.....	146
UN EPISODE DE MORPHOGENESE : MG1 (dépôts G1 et T1).....	147
LA PERIODE QUI SUIT L'EPISODE MG1 JUSQU'AU PRESENT.....	149
L'EVOLUTION REGIONALE DANS LE CADRE DU QUATERNAIRE MAROCAIN.....	156
LA STRATIGRAPHIE QUATERNAIRE DANS LA REGION DE L'OUED TENSIFT.....	156
LA PALEOGENESE DANS LA REGION DE L'OUED TENSIFT.....	157
CONSIDERATIONS SUR LES FACTEURS D'EVOLUTION.....	157
<i>L'érosion.</i>	157
<i>L'équilibre climacique.</i>	158
<i>Les ruptures climaciques.</i>	158
<i>L'évolution du niveau de base local.</i>	158
LES CONDITIONS DE L'EVOLUTION REGIONALE.	159
<i>L'exemple actuel de bordure méridionale des Djebilet.</i>	159
<i>Climat plus sec.</i>	160
<i>Climat plus humide.</i>	160
<i>Les incidences paléoclimatiques.</i>	161
SCHEMA DE L'EVOLUTION REGIONALE DEPUIS LE TENSIFTIEN.....	164
CONCLUSIONS GENERALES	
	169
LA PALEOGENESE.	169
LA DIFFERENCIATION MORPHO-PEDOGENETIQUE.....	170
L'ACCUMULATION DU CALCAIRE.....	173

A N N E X E

ETUDE DESCRIPTIVE DES TOPOSEQUENCES DE REFERENCE	
	175
TOPOSEQUENCE 1.	179
ETUDE DES PROFILS.....	179
LES PROFILS DE LA ZONE RUBEFIEE.	179
<i>Profil D 22.</i>	179
<i>Profil D 69.</i>	180
<i>Profil D 23.</i>	180
LE PASSAGE LATERAL RUBEFACIION-ENCROÛTEMENT.....	181
<i>Profil D 38 a.</i>	181
<i>Profil D 38 b.</i>	182
<i>Profil D 38 c.</i>	182

LES PROFILS DE LA ZONE ENCRÔTÉE.....	182
<i>Profil D 24.</i>	182
<i>Profil D 25.</i>	183
<i>Profil D 26.</i>	184
<i>Profil D 41.</i>	184
<i>Profil D 27.</i>	185
<i>Profil D 28.</i>	186
<i>Profil D 29.</i>	186
LA BASSE TERRASSE ALLUVIALE.....	187
<i>Profil D 35.</i>	187
CONCLUSIONS.	187
TOPOSEQUENCE 2.	193
ETUDE DES PROFILS.	193
<i>Profil D 32.</i>	193
<i>Profil C 92.</i>	193
<i>Profil C 93.</i>	194
<i>Profil C 94.</i>	194
<i>Profil C 96.</i>	194
<i>Profil C 95.</i>	195
<i>Profil C 97.</i>	195
<i>Profil C 98.</i>	195
<i>Profil C 99.</i>	195
<i>Profil D 0.</i>	196
CONCLUSIONS.	196
TOPOSEQUENCE 3.	201
ETUDE DES PROFILS.	201
<i>Profil D 60.</i>	201
<i>Profil D 17.</i>	201
<i>Profil D 42.</i>	202
<i>Profil D 43.</i>	203
<i>Profil D 44.</i>	203
CONCLUSIONS.	204
TOPOSEQUENCE 4.	209
ETUDE DES PROFILS.	209
<i>Profil D 10.</i>	209
<i>Profil D 11.</i>	209
<i>Profil D 12.</i>	210
<i>Profil D 13.</i>	210
<i>Profil F 1.</i>	212
CONCLUSIONS.	212
TOPOSEQUENCE 5.	217
ETUDE DES PROFILS.	217
<i>Profil D 85.</i>	217
<i>Profil D 95.</i>	218
<i>Profil D 96.</i>	218
<i>Profil D 86.</i>	220
<i>Profil D 87.</i>	220
<i>Profil D 90.</i>	220
CONCLUSIONS.	221

TOPOSEQUENCE 6.	225
ETUDE DES PROFILS.	225
<i>Profil D 80.</i>	225
<i>Profil D 81.</i>	225
<i>Profil D 82.</i>	226
<i>Profil D 88.</i>	227
<i>Profil D 76.</i>	228
CONCLUSIONS.	228
TOPOSEQUENCE 7.	233
ETUDE DES PROFILS.	233
<i>Profil E 42.</i>	233
<i>Profil E 43.</i>	234
<i>Profil E 45.</i>	234
<i>Profil E 46.</i>	235
<i>Profil E 47.</i>	235
<i>Profil E 52.</i>	236
<i>Profil E 54.</i>	236
<i>Profil E 53.</i>	236
OBSERVATION DES BERGES DU THALWEG SEHEB EL HMER.	236
CONCLUSIONS.	237
TOPOSEQUENCE 8.	241
ETUDE DES PROFILS.	241
<i>Profil E 49.</i>	241
<i>Profil E 16.</i>	241
<i>Profil E 12.</i>	241
<i>Profil E 20.</i>	242
<u>COUPE TRANSVERSALE I</u>	242
<i>Profil E 14.</i>	242
<i>Profil E 48.</i>	243
<i>Profil E 22.</i>	243
<u>COUPE TRANSVERSALE II</u>	244
<i>Profil E 13.</i>	244
<i>Profil E 17.</i>	244
<i>Profil D 99.</i>	245
CONCLUSIONS.	245
BIBLIOGRAPHIE	249
PLANCHES-PHOTOS	257
LISTE DES FIGURES	265
LISTE DES TABLEAUX	267
TABLE DES MATIERES	269

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
ET TECHNIQUE OUTRE-MER

Direction générale :

24, rue Bayard - 75008 PARIS

Service des Publications :

70-74, route d'Aulnay - 93140 BONDY

O.R.S.T.O.M. Éditeur
Dépôt légal : 4e trim. 1981
I.S.B.N. : 2-7099-0621-X
Imp. S.S.C.