

V. LES OBSERVATIONS DE TERRAIN

E. LE FLOC'H et R. PONTANIER

1 - Introduction

Les observations effectuées sur le terrain doivent être bien entendu *compatibles avec les objectifs assignés* (cf. chapitre II) à l'expérience ARZOTU et, en particulier, avec les *thèmes et les variables* (cf. chapitre III) que l'on souhaitait appréhender. D'autre part, elles doivent permettre une approche relationnelle des variables observées, ce qui constitue le fondement même de la conception écologique de l'expérience ARZOTU. Cela signifie, par exemple, de se préoccuper des critères qui permettent d'établir les systèmes de relations entre "végétation/sol/climat/action de l'homme" et de se poser la question de la nature exacte des variables qui, par leurs états, sont des indices apparents sur le terrain et détectables par LANDSAT de telles relations.

En raison même du fait que les réponses spectrales au niveau des éléments d'enregistrement du système MSS-LANDSAT (cf. chapitre IV) ne peuvent être considérées, dans l'hypothèse la plus générale, que comme seulement représentatives des *interactions entre les éléments physiques et biologiques de la surface du sol*, il nous avait paru fondamental de proposer, au niveau de la "vérité-terrain", une *approche multi-critères* aussi écologique que possible.

La lecture des rubriques des *formulaires d'enquête sur le terrain* (cf. section 7) fournit un aperçu des questions qu'il avait paru souhaitable d'aborder grâce au concours temporaire d'une équipe de généralistes compétents dans plusieurs domaines (climatologie, géologie, géomorphologie, pédologie, phyto-écologie, agronomie, utilisation des ressources...) et ayant, par ailleurs, plusieurs années d'expérience sur le terrain en Tunisie aride.

Etant donné qu'il ne paraissait pas souhaitable de baser toute la "vérité-terrain" sur la seule existence de cartes thématiques - par ailleurs fort diverses, nombreuses et à diverses échelles en Tunisie aride - il a été proposé, dès le début de l'expérience ARZOTU, de mettre en place un *réseau* d'observations constitué :

- . *d'itinéraires accessibles en toutes saisons*
- . *de stations relativement homogènes* (appelées "écotopes ^{*}" dans la suite du texte) et suffisamment étendues pour correspondre au moins à une dizaine d'éléments de résolution, soit à des surfaces-échantillons de 4 à 5 hectares ; ce minimum correspond au seuil de détectabilité du système LANDSAT, mais il est souhaitable que la superficie des écotopes dépasse largement ce seuil (cf. chapitre VII).

Nous décrirons succinctement les itinéraires jugés discriminants et les ensembles (territoires) qu'ils traversent ; puis, nous exposerons la méthodologie suivie pour le relevé de données sur les écotopes ^{*}. Nous conduirons cette présentation avec le souci d'en faire au fur et à mesure une analyse critique, de telle manière que notre expérience puisse servir ultérieurement à d'autres équipes.

2 - Les itinéraires de reconnaissance

On présente sur la *figure V. 1* les principaux itinéraires qui ont fait l'objet de 1975 à 1977 de 19 visites saisonnières. On constate que les cheminements choisis -compte tenu du critère d'accessibilité en toutes saisons- permettaient de visiter les principales *régions naturelles* (cf. chapitre III. 2.1) du Sud et Centre tunisiens : "Basses Plaines Méridionales" (et, en particulier, la zone-test de Zougrata), "Hautes Steppes", "Basses Steppes" et "Sahel de Sfax".

Les itinéraires et les régions naturelles constituent 4 systèmes distincts :

Système 1

itinéraire : Gabès-Gafsa-Fériana-Kasserine-Sbeitla-Bir el Hafey-(Gafsa-Gabès).

Cet itinéraire de 560 km de longueur était généralement réalisé en 2 jours avec un véhicule et 2 observateurs.

régions naturelles concernées : "Basses Plaines Méridionales", "Hautes Steppes", "Basses Steppes".

intérêt : il permet de discriminer éventuellement :

- . les recouvrements (%) des différentes nappes de *Stipa tenacissima* (Alfa) ;
- . les grandes unités d'utilisation des terres et la phénologie des principales espèces végétales des systèmes spontanés ou cultivés d'un vaste espace ;
- . les comportements saisonniers des divers sols (surface).

Système 2

itinéraire : Gabès-La Skhirra-Mezzouna-Regueb-Bir Ali Ben Khalifa-Chahal-Gabès.

Cet itinéraire de 280 km de longueur était généralement réalisé en 1 jour.

régions naturelles concernées : "Basses Plaines Méridionales", "Basses Steppes" et "Sahel de Sfax".

intérêt : il permet de discriminer éventuellement :

- . les grands types de substrats et d'utilisation des terres ;
- . les terrains de parcours sur sols sableux ou gypseux ;
- . la culture céréalière très marginale ;
- . l'oléiculture ;
- . les milieux salés.

Système 3

itinéraire : (Gabès-La Skhirra-Mezzouna)-Maknassy-Sened-Gafsa-(Gabès).

Cet itinéraire de 340 km de longueur était généralement réalisé en 1 jour.

région naturelle concernée : "Basses Steppes" surtout.

intérêt : substrats de la partie méridionale cultivable (Oliviers, céréales) ; plantations de *Opuntia* mises en défens, etc.

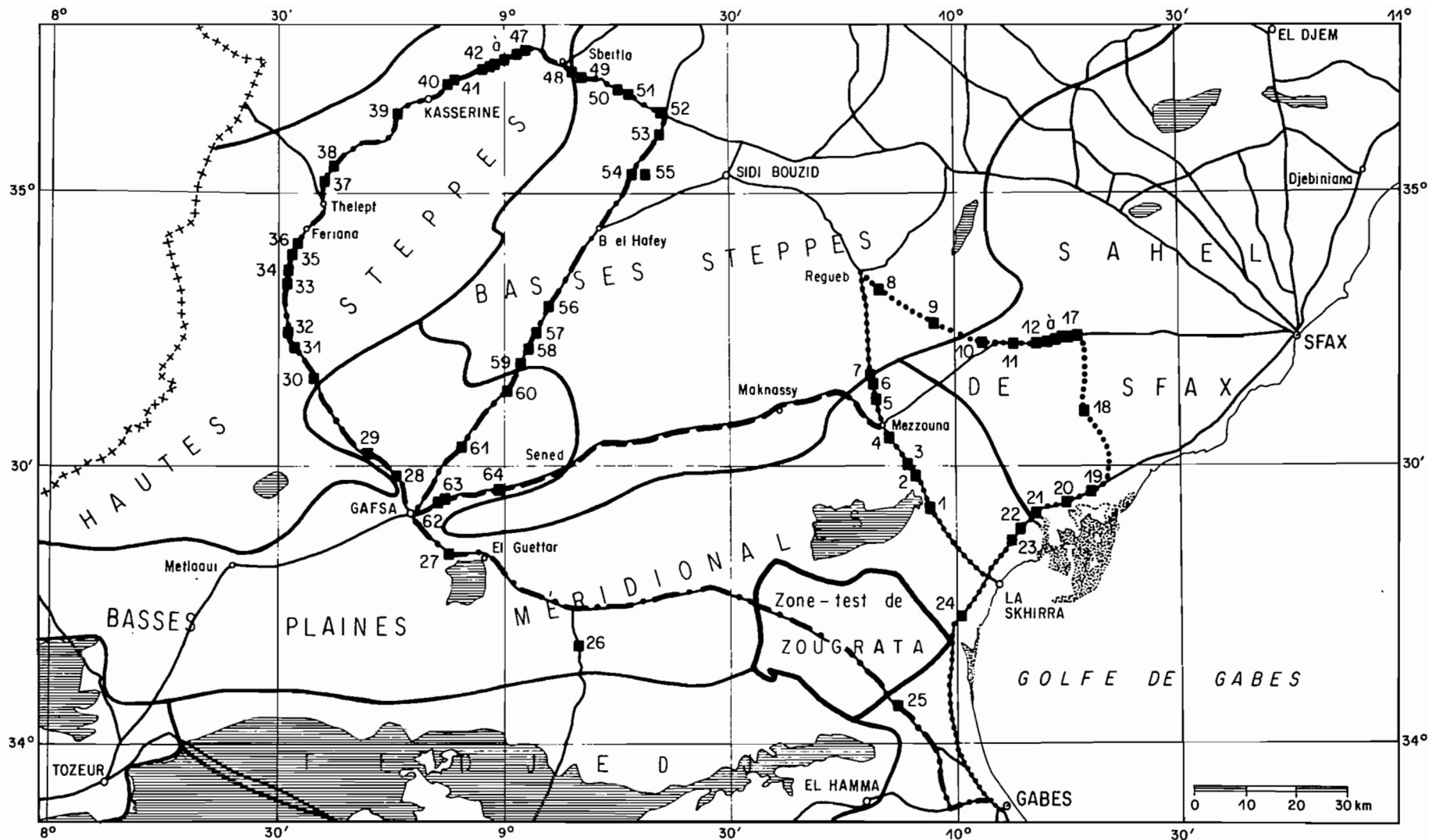
Système 4

itinéraire : Gabès-Zougrata (zone-test)-Gabès.

150 km, réalisés très fréquemment.

région naturelle concernée : "Basses Plaines Méridionales".

intérêt : La zone-test de Zougrata ayant fait l'objet de très nombreuses études (phyto-écologiques, ressources pastorales, pédologiques...), elle se prêtait à la mise en



— système 1 système 2 - - - système 3 ■ 30 emplacement et numéro des écotopes des systèmes 1 et 2

Figure V.1

Principaux itinéraires de reconnaissance
pour les observations de terrain de l'expérience ARZOTU

oeuvre d'une étude plus fine dans un espace (80 000 ha) parfaitement connu, mais où le couvert végétal est généralement inférieur à 30 %.

Etant donné l'importance du système 4 nous présentons dans le *tableau V.1* l'ensemble des écotopes de la zone-test de Zougrata, en même temps qu'une présentation générale des caractères des systèmes écologiques en présence.

3 - Le réseau d'écotopes* (1)

A proximité des itinéraires décrits ci-dessus nous avons localisé des stations d'observation permanente. Au total 120 écotopes ont fait l'objet d'observations répétées, dont 46 pour la seule zone-test de Zougrata (cf. système 4 et *tableau V.1*).

Les *tableaux V.2* et *V.3* donnent la liste et la présentation succincte des écotopes relevant des systèmes 1 et 2.

4 - Les dates d'observation : calendriers phénologiques appropriés

La détermination des dates efficaces, pour discriminer, *sur le terrain d'abord*, les variations inter-régionales et inter-stationnelles des cibles de la surface, en mode synchronique aussi bien qu'en mode diachronique, n'est pas une question banale dans les zones arides de la Tunisie (cf. argumentation avancée aux chapitres II et III). En effet, l'extrême variabilité du régime des précipitations (cf. chapitre III, section 2.2), liée à la variabilité des modes d'intervention de l'homme dans l'espace rural considéré, rend assez illusoire toute décision, à moyen (2 ou 3 mois) et long (5-6 mois) terme, relative à l'organisation des visites sur le terrain. Toutefois, il existe bien des *tendances fortes* qu'il faut avoir présentes à l'esprit pour la mise en oeuvre d'un programme de télédétection des ressources terrestres dans la zone aride tunisienne :

- 1) Les pluies précoces d'automne (si elles existent) peuvent conditionner un *démarrage automnal de la végétation herbacée des terrains de parcours*, notamment sur les substrats sableux et, par ailleurs, favoriser le déclenchement du *processus d'emblavement* (labour et semis liés) des espaces réservés à la céréaliculture ;
- 2) *Pendant les mois d'hiver*, à cause des températures relativement basses (moyenne des minimums du mois le plus froid située entre + 5°C et + 1°C, *la croissance des végétaux peut être totalement arrêtée* ;
- 3) Il y a *généralement un pic de végétation photosynthétiquement active au printemps* ;
- 4) *La période estivale est trop sèche pour favoriser le développement des végétaux* ; mais il peut y avoir des exceptions notables : végétation à base de Chénopodiacées, de chaméphytes, plantations d'Oliviers, cultures irriguées, plantations de Cactus,...

Sur la base des calendriers agricoles et de la phénologie des cultures (céréaliculture et arboriculture) et des terrains de parcours, dont quelques exemples sont illustrés sur les *figures V.2* et *V.3*, on peut envisager de proposer une planification générale des "visites saisonnières" qui, de toute évidence, devront être assez nombreuses, *entre 6 et 10 par an*, afin de s'assurer d'une bonne compatibilité avec certaines dates d'acquisition des données LANDSAT. La périodicité de 18 jours (voire de 9 jours avec LANDSAT 1 et LANDSAT 2) du passage du satellite n'autorise pas un optimisme

(1) pour la définition de ce terme voir chapitre VII.

| unité géomorphologique | types de substrats (classes) | types de sols | types de terrains de parcours | | | céréaliculture et arboriculture |
|---------------------------|---|--|--|--|----------------------|--|
| | | | steppes à chaméphytes | steppes graminéennes | steppes à halophytes | |
| montagnes | squelettiques (calcaire dur et cailloux) | lithosols des djebels | GD ₂ GD ₁ | GD SD ₂ (111) SD ₁ | | |
| glacis | sableux | lithosols des glacis à croûte calcaire | GD ₂ GD ₁ | | | |
| nebkas, dunes | | sols bruts d'apport éolien | AR ₂ (56,57,58,59) AR ₁ | | | |
| plaines, zones d'épandage | | sols isohumiques ± tronqués type sierozem | RK ₃ (11,12,13) RK ₂ (29) RK ₁ (31,32,33) | LK ₃ (41,42) | | rk ₂ (181,182,184,185) rk ₁ (191,192) |
| vallées, zones d'épandage | | sols peu évolués d'apport alluvial | ZR | | | zr (211,212,218,219) |
| montagnes | limoneux sableux à argileux | régosols sur marnes | AA ₂ AA ₁ | | | |
| glacis et plaines érodées | | régosols sur limons et nodules calcaires | AA ₂ AA ₁ (81,82) RK ₁ | | | aa (201,202) rk ₁ |
| glacis d'accumulation | | sols peu évolués d'apport limoneux | AA ₂ AA ₁ (83,89) | | | aa (203,204,209) |
| glacis d'érosion | gypseux | sols calcomagnésimorphes gypseux | AZ ₂ AZ ₁ (141,142,143,148,149) | | | |
| fonds alluviaux salés | salés-gypseux et salés | sols salins | | | NS (991,992,993) | |
| garaas, non à peu salées | innondables temporairement, limono-argileux | sols hydromorphes minéraux (encroûtement gypseux de nappe) | PV | | | pv (221,222,223) |

Remarques : 1) Les sigles (lettres) des terrains de parcours et des zones cultivées sont ceux utilisés pour caractériser les unités décrites dans le document technique N° 2 de l'Institut des Régions Arides de Tunisie (cf. FLORET et al., 1979).

2) Les nombres entre parenthèses associés aux sigles (lettres) correspondent aux écotopes retenus pour l'étude des différents thèmes.

Tableau V.1

Écotopes de la zone-test de Zougrata

| numéro écotope | forme de terrain (type morphologique) | utilisation des terres | espèces végétales dominantes |
|-------------------|--|---|--|
| 1 | plateau à croûte gypseuse | parcours (90 %) céréaliculture (10 %) | <i>Helianthemum kahiricum</i> , <i>Lygeum spartum</i> , <i>Atractylis serratuloïdes</i> |
| 2 | " | parcours | <i>Anarrhinum brevifolium</i> , <i>Helianthemum kahiricum</i> , <i>Lygeum spartum</i> |
| 3 | bas de glacis d'accumulation | céréaliculture | Blé dur, Blé tendre, Orge |
| 4 | glacis d'accumulation (limoneux) | céréaliculture + jachère | Blé dur, Orge |
| 5 | plaine sableuse | arboriculture | Olivier |
| 6 | " | céréaliculture + arboriculture | Olivier, Amandier, Blé dur, Orge |
| 7 | plaine, zone d'épandage | céréaliculture | Blé dur, <i>Ziziphus lotus</i> |
| 8 | zone d'épandage | céréaliculture | Blé dur |
| 9 | zone d'accumulation éolienne | arboriculture | Amandier, <i>Aristida pungens</i> |
| 10 | glacis couvert (croûte calcaire) | céréaliculture + arboriculture | Orge, Blé dur, Amandier |
| 11 | " | arboriculture | Olivier |
| 12 | plateau entaillé (croûte calcaire) | parcours (90 %) + culture (10 %) | <i>Artemisia herba-alba</i> , <i>Arthrophytum scoparium</i> , <i>Globularia alypum</i> |
| 13 | glacis couvert (croûte calcaire) | arboriculture | Olivier |
| 14 | " | céréaliculture + arboriculture en bandes parallèles | Olivier, Orge |
| 15 | plateau entaillé (croûte calcaire) | parcours | <i>Artemisia herba-alba</i> , <i>Arthrophytum scoparium</i> , <i>Globularia alypum</i> |
| 16 | glacis couvert | arboriculture | Abricotier |
| 17 | colline encroûtée | arboriculture | Olivier |
| 18 | plaine sableuse | arboriculture | Olivier |
| 19 | zone dépressionnaire (garaâ) | céréaliculture (à la décroue) | Blé dur, Orge, <i>Atriplex halimus</i> |
| 20 | zone d'épandage | céréaliculture + parcours | Orge, <i>Atriplex halimus</i> , <i>Arthrocnemum indicum</i> <i>Halocnemum strobilaceum</i> |
| 21 | zone d'épandage | parcours | <i>Tamarix</i> sp.pl., <i>Aristida pungens</i> , <i>Limoniastrum</i> <i>guyonianum</i> |
| 22 | " | parcours | <i>Arthrocnemum indicum</i> , <i>Halocnemum strobilaceum</i> , <i>Salicornia arabica</i> |
| 23 | plateau | parcours | <i>Rhantherium suaveolens</i> , <i>Teucrium polium</i> , <i>Stipa</i> <i>lagascae</i> |
| 24 | zone d'épandage | parcours | <i>Arthrocnemum indicum</i> , <i>Limoniastrum guyonianum</i> , <i>Frankenia thymifolia</i> |

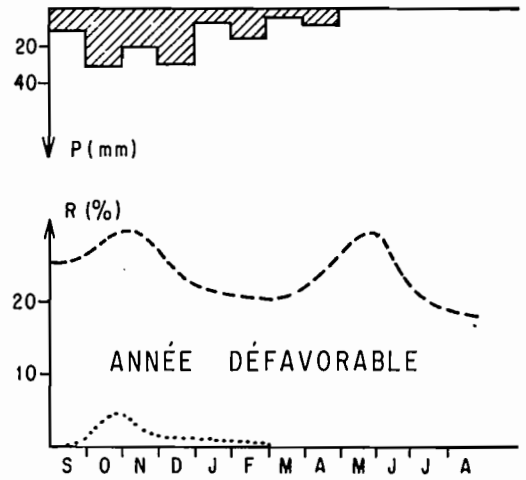
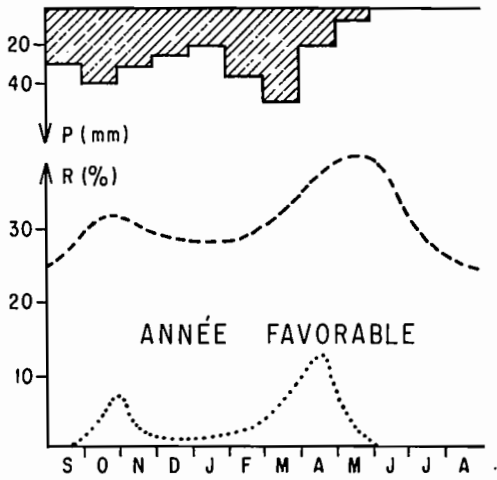
Tableau V. 2

Description succincte des écotopes du système 2

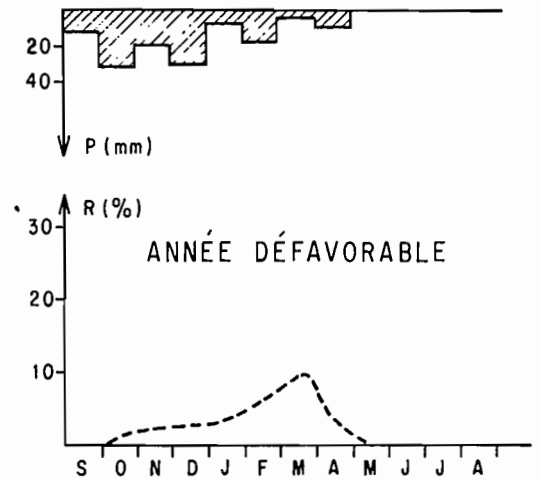
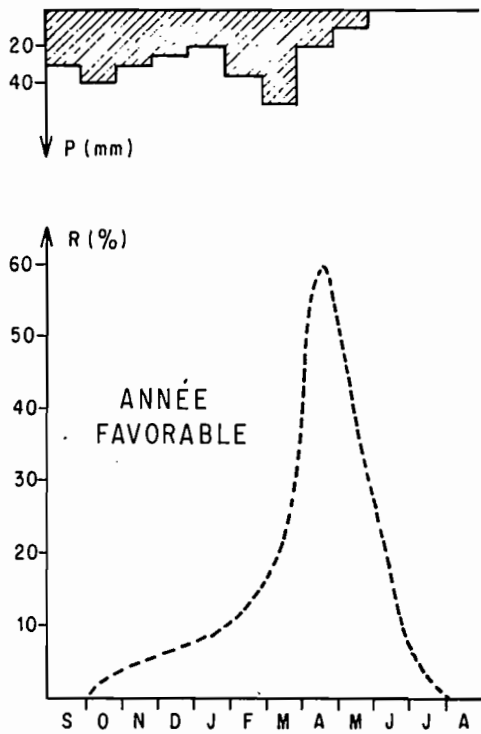
| numéro écotope | forme de terrain (type morphologique) | utilisation des terres | espèces végétales dominantes |
|----------------|--|---|--|
| 25 | glacis | parcours (90 %) + céréaliculture (10 %) | <i>Artemisia herba-alba</i> , <i>Arthrophytum scoparium</i> |
| 29 | glacis et cône de déjection | parcours (50 %) + céréaliculture (50 %) | " " |
| 30 | plateau | parcours (60 %) + céréaliculture (40 %) | <i>Stipa tenacissima</i> |
| 31 | plateau | parcours (80 %) + céréaliculture (20 %) | <i>Stipa tenacissima</i> |
| 32 | dépression semi-endoréique | céréaliculture | Blé dur |
| 33 | plateau entaillé | parcours + cueillette | <i>Stipa tenacissima</i> |
| 34 | plaine alluviale | céréaliculture | Blé dur, Orge |
| 35 | glacis couvert | céréaliculture + arboriculture | Amandier, Olivier, Blé dur |
| 36 | | plantation de cactus et parcours | Cactus, <i>Aristida pungens</i> , <i>Echiochilon fruticosum</i> |
| 37 | plaine alluviale + croûtes calcaires | céréaliculture (50 %) + parcours (50 %) | Blé dur, <i>Artemisia herba-alba</i> , <i>Stipa tenacissima</i> |
| 38 | colline (croûte calcaire) | parcours | <i>Stipa tenacissima</i> , <i>Artemisia herba-alba</i> |
| 39 | plaine alluviale-colluviale | céréaliculture | Blé dur |
| 40 | plaine alluviale | céréaliculture + arboriculture (irriguée) | Olivier, Pommier, Blé dur |
| 41 | bas de glacis | plantation de cactus + arboriculture + céréaliculture | Cactus, Olivier, Amandier, Abricotier |
| 42 | plaine en bas de glacis | arboriculture | Olivier |
| 43 | bas de glacis | arboriculture | Amandier |
| 44 | bas de glacis | parcours + cueillette | <i>Stipa tenacissima</i> |
| 45 | glacis | zone en défens | " |
| 46 | plaine alluviale + lambeaux de glacis | céréaliculture (90 %) + arboriculture (10 %) | Olivier |
| 47 | plaine alluviale | arboriculture + céréaliculture | Olivier, Abricotier, Blé dur |
| 48 | " | arboriculture | Olivier |
| 49 | " | céréaliculture + arboriculture (jeune plantation) | Blé dur, Orge, Olivier |
| 50 | plaine sableuse | " | " |
| 51 | butte sableuse | plantation de cactus + céréaliculture + arboriculture (jeune plantation) | Cactus, Olivier |
| 52 | plaine alluviale inondable | céréaliculture | Orge |
| 53 | butte sableuse | plantation de cactus + parcours | Cactus, <i>Cynodon dactylon</i> |
| 54 | zone d'inondation (lit majeur d'oued) | parcours | <i>Beta macrocarpa</i> , <i>Plantago lagopus</i> , <i>Medicago</i> sp. pl. |
| 55 | plaine alluviale inondable | céréaliculture | Blé dur, <i>Ziziphus lotus</i> |
| 56 | glacis couvert entaillé | céréaliculture + arboriculture (jeune plantation) | Blé dur, Olivier |
| 57 | plaine sableuse en bas de glacis | céréaliculture | Blé dur |
| 58 | " | " | " |
| 59 | versant (croûte calcaire) | parcours + cueillette | <i>Stipa tenacissima</i> |
| 60 | glacis | parcours (90 %) et céréaliculture (10%) | <i>Artemisia herba-alba</i> , <i>Arthrophytum scoparium</i> |
| 61 | plaine sableuse | arboriculture (jeune plantation) + céréaliculture | Olivier, Blé dur |
| 62 | plaine à accumulation de sable | parcours | <i>Thymelea microphylla</i> , <i>Rhantherium suaveolens</i> , <i>Rumex bucephalophorus</i> |
| 63 | " | plantation de cactus (zone en défens) | Cactus, <i>Rhantherium suaveolens</i> , <i>Thymelea microphylla</i> |
| 64 | glacis | céréaliculture | Blé dur |
| 65 | plaine alluviale | céréaliculture | Orge, Blé dur |

Tableau V. 3

Description succincte des écotopes du système 1



2 a_ Terrains de parcours en bon état, sur sol sableux



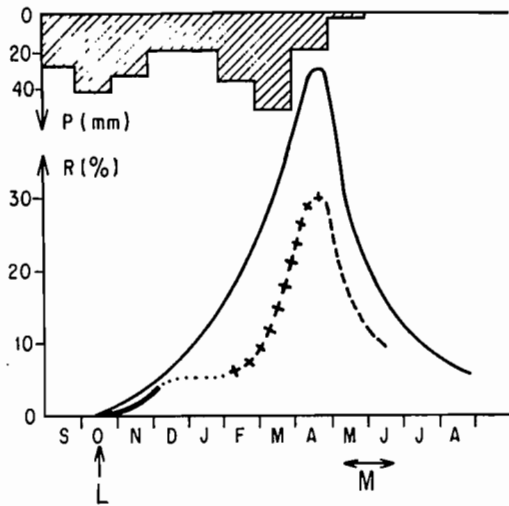
2 b_ Terrains de parcours sur jachère type "séguis"

LÉGENDE

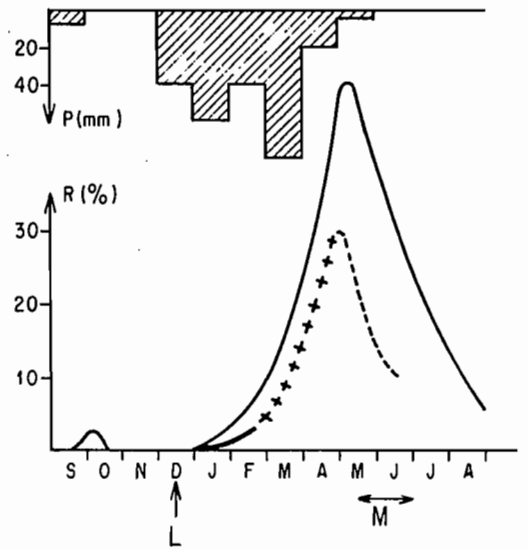
- P précipitations en mm
- R % recouvrement total de la végétation
- - - - - végétation spontanée totale (pérennes+ annuelles)
- végétation spontanée annuelle

Figure V.2 (a,b)

Exemples d'évolution saisonnière du recouvrement de la végétation spontanée en fonction de la pluviométrie annuelle dans les zones arides de Tunisie



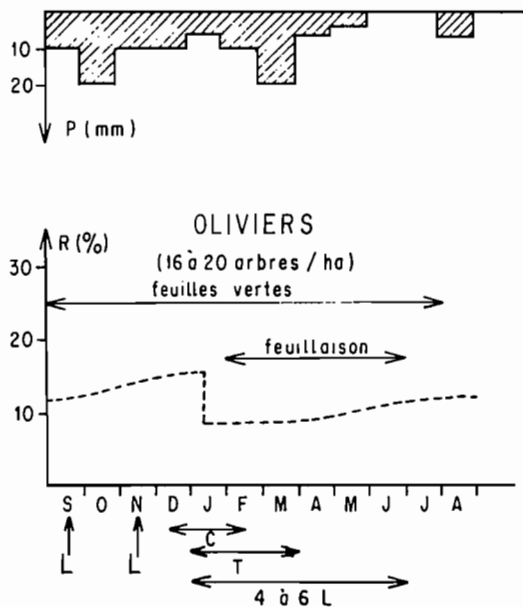
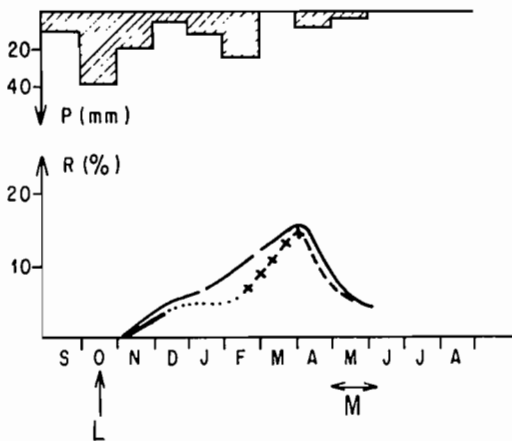
A



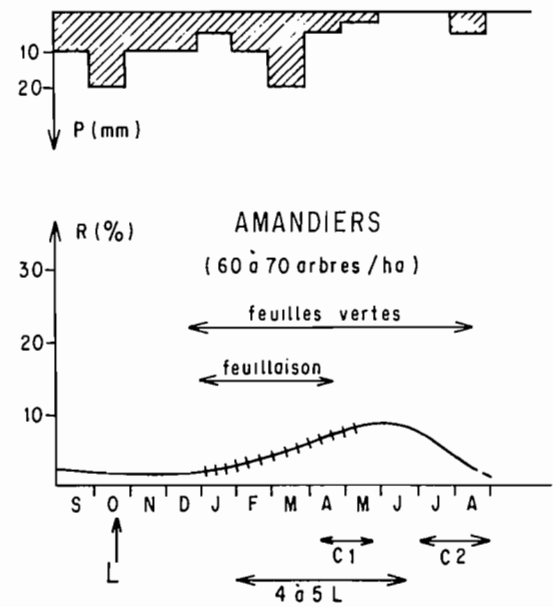
P précipitations en mm
R % recouvrement total de la végétation
— végétation totale (céréales+adventices)

céréales { — germination
..... tallage
+++ montaison, épiaison
--- maturation

L labour
M récolte



B



---- recouvrement des arbres, L labours, C cueillette (pour les amandiers C1 = cueillette d'amandes fraîches, C2 = cueillette d'amandes sèches), T taille

Figure V.3

Exemples de phénologie et de calendrier agricole :

- A : céréaliculture suivant la pluviosité annuelle dans les zones arides de Tunisie
- B : arboriculture dans le Sahel de Sfax en année à pluviosité moyenne

exagéré en ce qui concerne la coïncidence parfaite entre les "bonnes dates de vérité-terrain" et les "bonnes dates d'acquisition de données LANDSAT". Il en résulte des limitations sérieuses pour garantir *a priori*, avec des moyens limités, une parfaite compatibilité entre les observations de l'équipe de terrain et le travail de l'équipe d'analystes... Et cependant, il s'agit là d'une question essentielle dans la perspective des objectifs assignés à l'expérience ARZOTU, car il pourrait s'agir de proposer un système de surveillance (*monitoring*) de vastes espaces où les causes de détérioration écologique des milieux sont graves et justifient une telle surveillance (cf. chapitre IX).

5 - Présentation du formulaire d'enquête et nature des observations effectuées sur le terrain

Le but de ces observations est d'identifier et d'évaluer les caractères de la couverture végétale en place et les états des éléments de la surface du sol susceptibles d'influencer la nature des réponses spectrales, et ceci dans le cadre de situations considérées comme homogènes. *Il est important que la connaissance du terrain par les thématiciens s'exerce à deux niveaux : l'un régional, l'autre plus stationnel.* Certains éléments, ou certains paramètres, peuvent être jugés de nature ou de valeur suffisamment constante pour toute la durée de l'expérience, ces *caractères permanents* seront évalués au début du programme et considérés comme fixes tout au cours de son déroulement. Les *caractères temporaires* sont ceux dont les variations au cours de l'année sont susceptibles d'entraîner des modifications perceptibles du degré de luminance ; ceux-ci seront mesurés, ou évalués, régulièrement aux dates retenues pour l'acquisition des données LANDSAT.

Dès le début de l'expérience ARZOTU il a été proposé des formulaires (LE FLOC'H et PONTANIER, 1976) relatifs aux observations sur le terrain ; nous en décrivons ci-après l'essentiel du contenu, que nous nous efforcerons de critiquer afin d'aboutir à des propositions nouvelles.

5.1 - Connaissance du terrain au niveau régional

Une bonne connaissance de tout le territoire étudié permet d'identifier aisément les "structures" les plus contrastées et permanentes des données-images. L'analyse des données numériques selon la technique de l'apprentissage dirigé s'effectue au travers d'une approche visant à définir d'abord les régions naturelles, puis les zones paysagères ou les zones écographiques et enfin, à distribuer les échantillons selon des structures que le thématicien (ou le photo-interprète de l'imagerie) propose à l'analyste des données numériques pour discriminer les objets soumis à l'inventaire. Cette procédure nécessite donc de passer, au cours d'une première étape, par un zonage (régions, ou secteurs écologiques) définissant ainsi les grandes entités à l'intérieur desquelles seront implantés les écotopes sur la base d'un plan d'échantillonnage stratifié, tenant compte, en particulier, des documents cartographiques déjà existants. Les observations au niveau régional sont donc nécessaires pour décrire les caractères permanents et les grandes variations saisonnières des facteurs physiques (répartition des pluies par exemple) ou biotiques (labours-semis).

5.1.1 - Caractères permanents

Il s'agit des caractéristiques fixes, pour l'année au moins, telles que : la localisation, la situation topographique, le bioclimat, les caractères généraux du substrat (géologie), du type de végétation et d'utilisation des terres. En plus de ces critères il s'avère intéressant de noter le degré d'homogénéité observé de la zone.

5.1.2 - Caractères temporaires

Il s'agit principalement de donner une estimation des conditions climatiques et hydriques du moment ainsi qu'une appréciation des divers types d'utilisation des terres et de l'état général de la végétation.

5.2 - Connaissance du terrain au niveau stationnel

L'inventaire localisé des caractères, et la mesure sur le terrain de paramètres caractérisant chaque écotope, ou unité de milieu, permet d'en connaître la structure et d'étudier les causes de ressemblance ou de dissemblance dans les réponses spectrales enregistrées.

Les formulaires "vérité-terrain" utilisés durant l'expérience ARZOTU comportent les caractères suivants :

5.2.1 - Caractères permanents

Il s'agit de la localisation, de la situation topographique, du bioclimat, du type de sol, des caractères constants du substrats, de l'aspect de la surface du sol, de la végétation et de l'utilisation des terres.

5.2.2 - Caractères temporaires

Il s'agit des conditions climatiques du moment, des caractères variables de la végétation et de l'état des cultures.

6 - Analyse critique concernant le réseau d'observation utilisé pour l'expérience ARZOTU

La mise en place et le suivi d'un réseau exigeant, du fait même de la nature des observations à effectuer, la collaboration, au niveau de la vérité terrain, de thématiciens expérimentés en ce qui concerne le relevé de critères et de paramètres se rapportant à plusieurs disciplines scientifiques de l'étude du milieu.

La critique du réseau tel qu'il a été constitué dès la fin 1975 concerne les différents niveaux de l'approche.

6.1 - Les thèmes

Certains thèmes envisagés lors de la formulation de l'expérience, apparaissent peu réalistes, non pas à cause des problèmes de conception du programme, mais en raison des performances du système LANDSAT. Ainsi certains aspects du suivi des cultures se sont révélés d'interprétation délicate ; il en est de même pour la détection de certains substrats.

6.2 - Les dates

L'analyse thématique des données LANDSAT nécessite de pouvoir disposer de données enregistrées de bonne qualité. Ceci entraîne *a priori* l'obligation d'effectuer, au sol, les observations lors d'un plus grand nombre de passages que ce qui sera retenu en définitive ; en effet, à la date jugée optimale, les conditions de nébulosité peuvent localement, ou sur tout le territoire, rendre inexploitable les données.

A partir d'un calendrier des observations de terrain, établi *a priori*, des modifications non prévisibles, telles que celles dues au climat, peuvent amener à changer le choix des dates

d'acquisition des données. Ainsi la période optimale pour déceler les labours en année de pluviosité normale se situe aux alentours du 15 novembre ; cependant, si la période automnale a été peu arrosée il n'est pas impossible que de nouvelles pluies entraînent par exemple des labours importants durant la première quinzaine de décembre. La détection de ces nouveaux labours oblige à effectuer une nouvelle visite de terrain et à se procurer les données LANDSAT prises lors du passage du satellite à cette date.

Les thèmes déterminent donc des exigences de dates parfois différentes quant aux données nécessaires à leur étude. Ainsi, un thème axé sur le "contrôle des effets de la désertification" pourrait se satisfaire des données procurées par un seul passage dans l'année, le thème "suivi des cultures" nécessite, par contre, le recours à 3 à 4 passages dans l'année.

6.3 - L'itinéraire

Les 1 370 km d'itinéraire sont révélés, de fait, une charge trop lourde pour une équipe de deux thématiciens. Il est ainsi évident que le thème consistant à étudier les nappes alfatières et l'utilisation des terres dans les "Hautes Steppes" doublait quasiment à lui seul le temps du trajet à effectuer. Un long itinéraire, où les observations durent plusieurs jours, entraîne l'impossibilité d'effectuer les évaluations et mesures définies dans les formulaires d'enquête à l'heure, ou même le jour, du passage du satellite. Cette impossibilité entraîne l'éventualité d'un déphasage entre les données relevées et l'état des caractères temporaires, au moment du passage du satellite.

6.4 - Les observations

6.4.1 - Niveau régional (zone écographique)

Le fait de n'avoir effectué les observations que le long de transects constitués par les grands axes routiers a été assurément une restriction pour pouvoir juger de la situation sur toute l'étendue d'une région ou d'une zone écographique.

Certains caractères à relever à ce niveau étaient très difficiles à observer car pouvant ne présenter à ce niveau de perception aucune homogénéité ; ainsi, l'aspect général de la surface du sol ne doit pas être indiqué dans ce formulaire ; en revanche, à ce niveau de perception il est opportun de ne pas omettre des caractères aussi importants que l'hydrographie (morphologie du réseau) ou l'état des eaux de surface.

6.4.2 - Niveau stationnel (écotope)

Le premier écueil est celui de la localisation des sites-tests au sol. Quand leur nombre s'accroît il devient nécessaire, même pour l'observateur de terrain, de s'assurer d'un repérage précis sur cartes topographiques. Sur les visualisations des données numériques le repérage des données s'effectue en lignes et colonnes ; en l'absence de corrections géométriques ceci rend parfois impossible la délimitation sur ces documents de "stations" dont la situation est insuffisamment caractérisée, ou qui sont placées dans des unités trop imbriquées. Ainsi, au départ du programme il nous a été impossible de repérer avec certitude une partie des sites au sol ; ces données, quoique récoltées n'ont donc pas été utilisées.

Pour pouvoir interpréter les données des écotopes il est nécessaire de leur fixer une taille minimale afin que leur corresponde un nombre de signaux enregistrés assez élevé pour permettre une interprétation, tant au point de vue de leur structure que du point de vue de leur réponse spectrale. Une superficie de l'ordre de 10 à 15 hectares semble être acceptable comme taille minimale d'un

écotope, étant donné le pouvoir de résolution avec lequel ont été obtenues les données LANDSAT (MSS).

Il est toujours tentant pour le thématicien d'inclure comme site-test des zones restreintes, mais caractéristiques de situations écologiques particulières. De même, il n'est pas toujours possible de réduire à l'état d'unité simple l'imbrication d'une succession "talwegs-interfluves" ou "steppes-cultures" par exemple. De telles unités risquent donc d'apparaître comme très hétérogènes au niveau de leur structure et être ainsi inutilisables dans la phase d'apprentissage dirigée. On se heurte donc ici à l'obligation d'effectuer l'identification sur des écotopes bien localisés et homogènes alors que le résultat devrait conduire à la cartographie assistée par ordinateur de territoires aux unités très entremêlées. Cette nécessité doit donc conduire à éliminer des caractères à observer au niveau de l'utilisation des terres, tels que la "surface de chaque élément", puisque, par définition, il ne peut y avoir qu'un élément par écotope.

L'assurance d'une identification fiable des unités ne peut être obtenue que si l'on dispose pour chaque thème étudié et pour chaque situation écologique majeure d'observations saisonnières répétées en nombre suffisant (4 ou 5). Etant donné les contraintes déjà exprimées dans ce paragraphe et devant l'abondance des thèmes abordés, il n'a pas été possible pour chaque cas de se conformer à cette exigence. Certaines observations comportent donc de ce fait une grande marge d'incertitude.

En plus de ces critiques décelables surtout au moment de la validation des résultats, il est possible de faire quelques critiques concernant les caractères relevés. Ainsi, certains caractères jugés comme étant "permanents" sont, de fait, "temporaires". Il est ainsi important d'évaluer à chaque étape de la "vérité-terrain" les divers aspects de la surface du sol puisque des caractères tels que les proportions de dunes mobiles, de pellicule de battance ou de pellicule saline, peuvent varier assez rapidement au cours de l'année. En revanche, d'autres paramètres, tels ceux du climat doivent s'apprécier au niveau régional.

La conduite des observations au sol a été faite à l'aide des caractères généralement recensés lors d'une étude de milieu. Ces caractères sont parfois différents de ceux qui interviennent dans la modification des réponses spectrales. Ainsi, à titre d'exemple nous n'avions pas retenu, lors de l'établissement de nos formulaires d'enquête, de relever le caractère "couleur du sol" qui, par la suite pourtant, s'est révélé être essentiel à l'identification de certaines unités où la végétation était très clairsemée. Cette lacune est particulièrement grave dans des cas comme celui de l'expérience ARZOTU à propos de laquelle il était souhaité que les thèmes étudiés soient liés à la possibilité d'aboutir à un inventaire quasi automatique des ressources terrestres.

L'ensemble de ces critiques nous autorise à formuler de nouvelles propositions.

7 - Propositions pour l'établissement d'un réseau efficace

La "vérité-terrain", si lourde soit-elle, est conçue comme ne devant intervenir que dans la phase expérimentale, ou initiale, servant au décodage des données ; par la suite, lors de la validation des interprétations, elle doit être allégée. De la qualité du réseau dépendront donc la qualité et la fiabilité des résultats.

L'un des postulats à adopter est qu'un écotope doit toujours être considéré comme représentatif du système écologique où il est situé et sa taille doit donc être inférieure, ou au maximum égale, à celle de ce système écologique.

Il est nécessaire d'inventorier le milieu à deux niveaux de perception et donc toutes les données concernant le climat, les proportions des différents types d'utilisation ou d'occupation des

terres, la géomorphologie, la géologie et l'hydrographie régionale, ne seront décrites (et mesurées) qu'au niveau de la zone écographique ; on fera référence à cette zone pour tous les écotopes qui la composent.

L'établissement d'un réseau d'observation ne peut naître que de la confrontation régulière entre les équipes d'analystes et de thématiciens ; c'est, en effet, à l'apparition des difficultés nées d'une première interprétation qu'il est possible d'améliorer les qualités du réseau. En particulier le zonage à effectuer, en concertation entre l'analyste des images et les thématiciens dès la première interprétation des images, doit servir base à une évaluation de la qualité du réseau mis en place (représentativité, répétitivité, etc...). Malheureusement, les délais réels de livraison des données enregistrées ne permettent que rarement la confrontation des équipes à un moment où des modifications du réseau et du calendrier d'opérations sont encore possibles.

Nous pouvons aborder maintenant les propositions concrètes concernant le réseau.

7.1 - Les thèmes et l'itinéraire doivent être adaptés au personnel dont on dispose pour la "vérité-terrain" et tenir compte du fait qu'il faut, pour chaque situation, 4 à 5 visites saisonnières pour avoir une interprétation fiable des données.

7.2 - Le choix judicieux des dates exige une connaissance suffisamment bonne des conditions climatiques moyennes, du calendrier agricole des zones concernées ainsi que de la phénologie des principales espèces, afin de pouvoir effectuer l'acquisition des données LANDSAT susceptibles de fournir la meilleure discrimination pour les thèmes retenus.

7.3 - Les observations

Nous examinerons ici le contenu des *formulaires d'enquête* que nous proposons (cf. ci-après), en notant les modifications capitales, par rapport aux formulaires utilisés au cours de l'expérience ARZOTU.

7.3.1 - Zone écographique

a) Caractères permanents

Les seules modifications portent sur des anomalies relatives au niveau de perception. Ainsi avons-nous ajouté une rubrique "hydrographie", la morphologie du réseau hydrographique intervenant dans la définition des zonages écographiques. Par ailleurs, les aspects de la surface du sol ne sont pas pris en compte à ce niveau.

b) Caractères temporaires

Pour la même raison que précédemment nous avons éliminé la rubrique "caractères du substrat" et rajoutons celle intitulée "état des eaux de surface".

Au niveau de "l'utilisation des terres", il est important d'ajouter une ligne relative aux "labours".

7.3.2 - Ecotope

a) Caractères permanents

Nous éliminons de ce formulaire certains caractères (aspects de la surface du sol, recouvrement des espèces pérennes) qui, sujets à variation, sont à relever à chaque étape de la vérité-terrain.

Nous éliminons aussi, et en vertu du postulat d'homogénéité de l'écotopé concernant "l'utilisation des terres", la rubrique concernant "surface occupée par les différents éléments".

Nous ajoutons :

- la désignation de la zone écographique à laquelle appartient l'écotopé,
- la surface couverte par l'écotopé,
- l'extension possible de l'écotopé dans le système écologique où il est situé ; les limites d'un écotopé ne coïncident que rarement avec les limites du système écologique qu'il représente ; il est alors utile d'indiquer les directions éventuelles d'extension possible des limites de l'écotopé. Ainsi, pour un écotopé donné, telle limite sera nette et fixe, car indiquant un changement net du type d'utilisation des terres par exemple ; telle autre, en revanche, ne sera pas stricte, l'écotopé n'étant dans cette direction qu'une fraction d'un système écologique plus grand. De fait, s'il est nécessaire de noter sur la fiche d'enquête si cette extension est possible, il est bien entendu que c'est sur les fonds topographiques que les directions d'extension éventuelles seront indiquées.

b) Caractères temporaires

Les caractéristiques climatiques relevées comme caractères temporaires de la zone écographique que étant valable pour l'ensemble des écotopes de la zone, nous avons éliminé ici cette rubrique. Pour la nature de l'utilisation des terres il suffira de cocher le type présent, le postulat d'homogénéité empêchant la coexistence, dans un écotopé, de plusieurs types.

Certaines additions ont été faites ; ainsi :

- la désignation de la zone écographique de référence ;
- les "aspects de la surface du sol" en y incluant la "couleur dominante de la surface du sol" qui avait été omise dans les formulaires initiaux ;
- les labours susceptibles d'influencer énormément le niveau de luminance, par la rugosité de la surface qu'ils entraînent lorsqu'ils sont récents, et par le fait qu'ils favorisent l'infiltration des eaux.

*

* *

Les propositions de formulaire d'enquête aux deux niveaux de perception envisagés, pour les caractères permanents d'une part, les caractères temporaires d'autre part, sont présentées dans les pages suivantes.

ZONE ECOGRAPHIQUE

Expérience ARZOTU

ZE

PROPOSITION D'UN FORMULAIRE D'ENQUETE
AU NIVEAU DE LA ZONE ECOGRAPHIQUE

page 1

A

CARACTERES PERMANENTS

Date de contrôle sur le terrain :

Observateur :

LOCALISATION, Désignation de la zone :

Numéro d'identification :

Carte :

Région naturelle :

Unité de paysage rural :

Superficie de la zone (ha) :

SITUATION TOPOGRAPHIQUE

Pente moy.dom. % :

Exposition dom. :

Formes de terrain :

HYDROGRAPHIE (morphologie du réseau) :

BIOCLIMAT Station météorologique de référence la plus proche :

Pluviosité moy. annuelle estimée (mm) :

Q₂Emberger :

Type de bioclimat :

SUBSTRATS

Types de roches et de matériaux meubles :

Types de sols dominants :

VEGETATION Formations végétales dominantes, espèces pérennes dominantes :

UTILISATION DES TERRES (% par rapport à la superficie de la zone)

Céréales % ; Cultures arboricoles %

Terrains de parcours % ; Jachères et terrains nus %

DEGRE D'HOMOGENEITE DE LA ZONE ECOGRAPHIQUE :

Autres observations à caractère permanent :

ZONE ECOGRAPHIQUE

Expérience ARZOTU

PROPOSITION D'UN FORMULAIRE D'ENQUETE
AU NIVEAU DE LA ZONE ECOGRAPHIQUE

ZE

page 2

B CARACTERES TEMPORAIRES

Date/heure de l'enquête :

Observateur :

Désignation de la zone écographique concernée

CARACTERES CLIMATIQUES

- . Date et hauteur de la dernière précipitation journalière :
- . Antécédents pluviométriques depuis le 1er septembre :

| Caractéristiques | à l'heure de l'enquête | présumés à l'heure du passage du satellite |
|------------------------------|------------------------|--|
| . nébulosité | | |
| . vent (direction, force) | | |
| . sirocco | | |
| . vent de sable | | |
| . brume | | |
| . température | | |
| . pluie | | |
| . humidité relative de l'air | | |

ETAT DES EAUX DE SURFACE

VEGETATION - UTILISATION DES TERRES - Labours récents (%) : Arboriculture (%) :
 - Céréales (%) : Terrains de
 - Jachères (%) : parcours (%) :

Céréaliculture nature : degré d'intensification :
 état phénologique : couvert total (%) :
 couvert de la céréale seule (%) : couvert des adventices (%) :

Arboriculture nature : façons culturales :
 état phénologique : couvert total (%) :
 couvert des arbres seuls (%) : couvert des herbacés (%) :

Jachères - couvert de la végétation (%)
 - état phénologique

Terrains de parcours nature :
 - phénologie des pérennes : couvert des pérennes (%) :
 - phénologie des herbacées : couvert des herbacés (%) :

Labours - anciens ou récents

Autres observations à caractère temporaire

ECOTOPE

Expérience ARZOTU

EC

PROPOSITION D'UN FORMULAIRE D'ENQUETE
AU NIVEAU DE L'ECOTOPE

page 1

A

CARACTERES PERMANENTS

Date de l'enquête sur le terrain :

Observateur :

Désignation de la zone écographique concernée :

LOCALISATION

Numéro de l'écotope :

Sigle sur la carte des
syst. écol. :

lieu-dit :

surface de l'écotope :

carte 1/100 000

1/50 000

Lat. :

Long. :

SITUATION TOPOGRAPHIQUE

Pente (%) :

Alt. (%) :

Exposition :

Forme de terrain et type morphologique :

CARACTERES DU SUBSTRAT

Roche affleurante (nature) :

Croûte affleurante (nature) :

Type de sol :

Type d'obstacle avant 40cm (croûte ou affleurement
géologique) :

Texture de l'horizon de surface :

Profondeur d'enracinement :

Drainage interne :

Drainage externe :

Erosion hydrique :

Erosion éolienne :

VEGETATION

Formation végétale :

Association :

Liste des principales espèces pérennes présentes :

UTILISATION DES TERRES

Nature :

CARACTERES DES LIMITES

diffuses

nettes

très nettes

Extension possible de l'écotope en surface

en direction (sur carte)

DEGRE D'HOMOGENEITE DE L'ECOTOPE

PHOTOGRAPHIES

Film

N°

Autres observations à caractères permanents

ECOTOPE

Expérience ARZOTU

EC

PROPOSITION D'UN FORMULAIRE D'ENQUETE
AU NIVEAU DE L'ECOTOPE

page 2

B CARACTERES TEMPORAIRES Date/heure de l'enquête : Observateur
Zone écographique concernée : Numéro de l'écotope :

CARACTERES DU SUBSTRAT

Humidité de la surface : Rosée Profondeur de la nappe
Etat des réserves en eau du sol : phréatique :
Aspects de la surface du sol :
. voile éolien (%) : . pellicule de battance (%) :
. micro-nebkas (%) : . éléments grossiers (%) :
. dunes mobiles (%) : . pellicule saline (%) :
. couleur dominante du sol :

VEGETATION-UTILISATION DES TERRES céréale : arboriculture :
jachère : terrains de parcours :
labours :

Céréaliculture - nature -- degré d'intensification
- état phénologique - couvert total (%)
- couvert céréale seule (%) - couvert des adventices (%)

Arboriculture - nature - façons culturales
- état phénologique - recouvrement total (%)
- couvert des arbres seuls (%) -- couvert des herbacés (%)

Jachères - couvert de la végétation :
- état phénologique :

Terrains de parcours - nature couvert des pérennes (%)
- phénologie des pérennes : couvert des herbacées (%)
- phénologie des herbacés :
- liste des herbacées dominantes et co-dominantes :

Labours - ancien ou récent
- rugosité de la surface :

DEGRE D'HOMOGENEITE

PHOTOGRAPHIES Film N°

Autres observations et phénomènes accidentels

contribution

à

l'analyse écologique

**des zones arides de Tunisie avec l'aide
des données de la télédétection spatiale**

Investigateur principal :

Centre d'Etudes Phytosociologiques et Ecologiques Louis Emberger
Département d'Ecologie Générale

Co-investigateurs :

Institut National de la Recherche Agronomique de Tunisie
Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer

Programme aidé par le Centre National d'Etudes Spatiales (Conventions
CNES-CNRS 1975-1978/221)

Programme réalisé en partie dans le cadre de la convention de coopé-
ration entre le CNRS et le Ministère de l'Agriculture de Tunisie

EXPÉRIENCE ARZOTU

RAPPORT FINAL 1975-1978

CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
Centre d'études Phytosociologiques et
Écologiques Louis Emberger, Montpellier
CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES SPATIALES

Montpellier
décembre 1978