

- REUNION ANNUELLE DES PEDOLOGUES ORSTOM -

Bondy - 6 et 7 Octobre 1967

LE REMANIEMENT DES SOLS ET LA MISE
EN PLACE DE LA STONE-LINE EN AFRIQUE.

- - -

P. S E G A L E N

S.S.C. de l'O.R.S.T.O.M. BONDY 93

Introduction.

Rappel de quelques caractéristiques essentielles de la "stone-line".

Présentation d'une nouvelle hypothèse concernant la mise en place de la "stone-line" en milieu tropical et son maintien en milieu équatorial.

Conclusions.

Bibliographie.

INTRODUCTION

On a remarqué depuis longtemps que la partie supérieure des sols de la zone intertropicale n'est pas "en place" et qu'elle a subi des transports que l'on qualifie le plus souvent de modestes. On a parfois pu penser qu'il s'agissait de phénomènes locaux, voire accidentels. Mais à la suite d'observations rapprochées, faites systématiquement dans l'étude de chaînes de sols, de l'examen détaillé des tranchées ouvertes dans certains pays comme le Congo, le Gabon, le Cameroun, pour la construction de nouvelles voies de chemin de fer ou de routes, on s'est rendu compte que ce phénomène se retrouvait sur plusieurs milliers de kilomètres carrés et devait intéresser des zones considérables sinon des continents entiers. Aussi, la notion de remaniement des sols a-t-elle été prise en considération dans les sols tropicaux et introduite dans la classification (AUBERT, SEGALEN, 1966).

L'élément visible qui matérialise ce remaniement est essentiellement la "stone-line" (ou "ligne de pierres", "nappe de gravats"). Celle-ci a fait l'objet, ces dernières années, de nombreuses études, tant en Amérique qu'en Afrique, par des géographes, des géomorphologues, des géologues, des pédologues. Récemment, une excellente mise au point a été faite par VOGT et VINCENT (1966). Il y est fait référence aux travaux essentiels de BRUCKNER (1955), De CRAENE (1954), De CRAENE et SOROTCHINSKY (1954), DRESCH (1963), MAIGNIEN (1966), MARCHESSEAU (1965), De HEINZELIN, De PLOFY (1964), RUHE (1959), WAEGEMANS (1953), concernant également les régions africaines et malgaches ; Ab'SABER (1962), PARISEK et WOODRUFF (1957), TRICART (1958) etc... pour l'Amérique. Le processus de remaniement a intéressé moins de pédologues qu'on aurait pu l'espérer.

../..

Cependant, BOCQUIER (1959) au Congo, BOURGEAT et RIQUIER (1964) puis BOURGEAT et PETIT (1966) à Madagascar et surtout LAPORTE (1962) au Congo se sont penchés sur le problème. C'est pourtant dans le sol que les lignes de pierres s'observent et les pédologues sont mieux placés que quiconque pour en faire l'observation. De plus, les explications qu'ils en fourniront auront des répercussions sensibles dans l'étude et l'explication des profils.

Dans les pages qui suivent on examine brièvement les caractéristiques principales de la stone-line et les explications qui ont été fournies pour rendre compte de sa mise en place. Une nouvelle hypothèse est ensuite proposée qui paraît mieux rendre compte des faits observés tant en zone tropicale qu'en zone équatoriale.

C'est au cours de l'évolution du relief en climat tropical que se produit une véritable "inversion des matériaux" qui détermine la formation de la stone-line. Le passage d'un climat de type tropical à équatorial s'accompagne d'une modification de la topographie sans que la stone-line soit bouleversée.

- Rappel de quelques caractéristiques essentielles de la "stone-line".

La stone-line qui se matérialise dans une coupe par une ligne est plutôt une surface plane ou gauche et même une couche d'épaisseur variable (quelques centimètres à plusieurs décimètres, rarement plus d'un mètre). Un certain nombre de données paraissent importantes : la nature des matériaux, la place qu'ils occupent dans un profil, l'adaptation à la topographie, la position géographique.

1°) La "stone-line" est constituée par des fragments de matériaux peu altérables (cuirasses surtout ferrugineuses et vacuolaires, quartz, etc..) ou bien rendus peu altérables (débris de roches ferruginisés). Leur taille est va-

riable, moins d'un centimètre à plus d'un mètre, avec une prédominance des éléments inférieurs à la taille du poing. Ces fragments ne présentent pratiquement jamais d'angles vifs mais sont le plus souvent subanguleux à subarrondis, en ce qui concerne les quartz. Mais il arrive parfois d'observer de véritables galets bien roulés de la grosseur du poing. Les fragments de cuirasse sont des morceaux provenant du bris de celle-ci et recouverts d'un enduit ferrugineux brun foncé à noir. Les éléments de taille centimétrique sont généralement appelés "gravillons".

2°) La répartition verticale des éléments d'un profil où une stone-line est présente fait apparaître trois niveaux qui ont été désignés parfois par les lettres A, B et C. La non-concordance presque constante de ces trois niveaux avec les éléments d'un profil de sol, désignés habituellement par ces lettres, fait que ceci doit être évité, sous peine de confusions inutiles. Il est préférable de les désigner par les chiffres romains :

- I est le plus souvent un matériau meuble mais de granulométrie quelconque (depuis le sable jusqu'à l'argile). Les fragments supérieurs à 2μ sont rares mais peuvent exister ; on note parfois des blocs isolés de forte taille.
- II est le niveau caillouteux ou graveleux. Il s'insère généralement entre B et C mais peut très souvent aussi prendre place, à un niveau quelconque, dans le B.
- III correspond le plus souvent à la base du B et à la zone d'altération C. On reconnaît de manière nette, à l'organisation de la roche originelle, que cette partie du profil n'a pas subi de déplacement, tandis que I et II sont typiquement les parties remaniées du profil.

3°) La stone-line épouse de manière assez étroite la topographie actuelle, à une profondeur variable (1 à 2 m le plus souvent, mais on connaît des cas où elle est présente à plus de 5 mètres). Elle peut avoir une disposition régulière ou bien festonnée ; mais ceci n'interrompt pas l'adaptation générale de la stone-line au relief. Il est possible d'observer des "stone-line" dédoublées, mais ceci n'a qu'une importance locale et n'est pas fréquent.

La stone-line n'est pas liée à un type de climat déterminé puisqu'on l'observe aussi bien dans des climats tropicaux à tendance sèche (Nord de la Côte d'Ivoire, Haute Volta, République Centrafricaine, etc.) où les versants sont à prédominance concave, que dans les climats équatoriaux (Congo, Gabon) très pluvieux à versants convexes. Mais, dans chaque cas, si la topographie est différente (plateaux ou massifs résiduels et glacis dans l'un, moutonnement infini de petites collines dans l'autre), la "stone-line" est toujours parfaitement adaptée au relief.

4°) La "stone-line" n'est pas signalée dans les sols de régions ayant été soumises à des orogènes récentes (Amérique Centrale ou Méridionale, Indonésie, etc..). Elle n'est pas, non plus, décrite dans des sols dérivés de roches volcaniques. Cependant, Sieffermann (I) l'a observé dans un sol sur basalte du plateau de l'Adamaoua au Cameroun. Elle apparaît, par contre, comme une caractéristique des régions ayant fait l'objet d'aplanissements importants (Brésil en Amérique du Sud : région du Piedmont en Amérique du Nord ; continent africain, etc.). Elle n'existe pas non plus dans les régions à très forte pente : certaines régions du Mayombe au Congo, certains reliefs très accidentés du Gabon (granites de Fougamou, divers affleurements du schisto-gréseux, etc.). Toutes ces observations font penser que la stone-line est une caractéristique des surfaces d'érosion et des zones ou des

(I) Communication personnelle.

pentés modérées où l'érosion superficielle n'est pas excessive.

- Divers types d'explication de la genèse de la stone-line.

Un certain nombre d'explications ont été proposées pour rendre compte de la stone-line. Elles sont de trois sortes et font intervenir :

- A) des causes biologiques ;
- B) des transports de surface ;
- C) une descente des matériaux grossiers à travers le sol.

1°) Remaniement biologique (BOYER, 1958 ; GRASSE, 1950 ; CAILLEUX et TRICART, 1957 ; de PLOEY, 1964).

Il faut admettre, au départ, une érosion modérée du sol éliminant les éléments fins et laissant en surface une accumulation relative d'éléments grossiers. De petits animaux, des insectes comme les fourmis et surtout les termites seraient ensuite responsables de la remontée d'éléments fins par dessus les matériaux grossiers.

Sans vouloir minimiser l'action biologique, elle apparaît cependant localisée dans l'espace et elle ne saurait expliquer la très grande régularité du recouvrement en forêt comme en savane, ni pourquoi le fait d'avoir remonté des matériaux de quelques décimètres se traduit par une usure non négligeable, ni comment certains matériaux assez grossiers ont pu être mélangés aux fins. Bien d'autres arguments ont été développés dans l'article de VOGT et VINCENT (1966). Ce qui apparaît très probable est un remaniement sur elle-même de la couche I, par l'intervention de petits animaux.

2°) Transports de matériaux en surface. De nombreux auteurs (dont en particulier de HEINZELIN, 1955 ; MARCHESSEAU, 1965 ; TRICART et CAILLEUX, 1965 ; RIOU, 1966) retiennent un mode d'explication voisin de celui qui est exposé ci-après.

Une première phase permet l'individualisation jusqu'à une très grande profondeur des minéraux altérables des roches. Une deuxième phase, érosive, plus sèche, permet l'enlèvement de la terre meuble, le déchaussement des cailloux et un léger transport. Certains auteurs (BRUCKNER, 1955, par exemple) admettent qu'une véritable phase désertique permet le polissage des fragments exposés. Une deuxième phase, de sédimentation cette fois, succède à la précédente, se traduisant par le dépôt de matériaux meubles.

Ce type d'explication ne permet pas cependant de rendre compte :

- a) d'où vient le matériau meuble I, tout à fait analogue au matériau III sous-jacent ;
- b) l'extraordinaire régularité (à l'échelon d'un pays ou d'un continent) de ce matériau de recouvrement ;
- c) la concordance quasi parfaite avec la topographie, même très tourmentée.

3°) Explication par descente des pierres à travers le sol, formulée par LAPORTE (1962). Cette hypothèse s'appuie sur le fait qu'il y a identité de matériaux entre I et II, que la stone-line s'appuie exactement ou presque sur la zone III ; on suppose que, au cours de la saison des pluies, le sol meuble se comporte comme une boue et que les fragments de quartz, de cuirasse, passent au travers en refoulant la masse visqueuse vers le haut.

Cette hypothèse, particulièrement séduisante, doit être acceptée ou rejetée en bloc. Il lui manque jusqu'à présent une démonstration que seule peut étayer valablement la mécanique des sols et une reconstitution au laboratoire. De plus, si on peut l'admettre, à la rigueur l'admettre pour les cailloux de quartz (elle n'explique pas toutefois l'éroussé de ceux-ci), on ne voit pas bien comment s'est produite la fragmentation des cuirasses et la patine ferrugineuse qui recouvre les débris.

On peut résumer cet ensemble de données en rappelant que la stone-line :

- a) est constituée avant tout de fragments pratiquement inaltérables : débris de cuirasse, quartz, etc. ;
- b) occupe une position très régulière dans le profil, qu'elle apparait très bien adaptée à la topographie actuelle, que les versants soient à dominance concave ou convexe ;
- c) ne correspond pas à un climat particulier de la zone intertropicale actuelle ;
- d) correspond à une topographie issue des grands aplanissements qui ont marqué la zone intertropicale aux cours des époques géologiques passées ; mais ne correspond pas à celle qui est issue des grandes orogénèses.

Les différents types d'explications qui ont été présentés pour rendre compte de la genèse et des caractéristiques de la stone-line peuvent se ramener à des remaniements biologiques, des transports successifs, des descentes de matériaux à travers le sol. Ils ne paraissent pas répondre à tous les problèmes posés par la nature, la présentation, la répartition des matériaux. Aussi une nouvelle hypothèse est-elle présentée dans les pages ci-après. Elle tient compte de ce qu'on peut observer en Afrique à l'heure actuelle et de ce qu'on connaît de l'histoire de son relief et de ses sols. On présentera deux séries d'exemples ; la première, en zone tropicale (Nord de la Côte d'Ivoire, Dahomey, République Centrafricaine), la deuxième, en zone équatoriale (Gabon et République du Congo), où grâce aux équipes pédologiques locales, il a pu être examiné de très belles séries de coupes et de fosses. Elles présentent un certain nombre de points communs ainsi que des différences qu'on essaiera d'expliquer.

- Présentation d'une nouvelle hypothèse concernant la mise en place de la stone-line.

I) Exemples de la zone tropicale. Les observations ont été effectuées au

Nord de la Côte d'Ivoire, au Dahomey, en République Centrafricaine.

Le paysage est constitué par des surfaces cuirassées anciennes, dont on peut estimer l'âge au début tertiaire en République Centrafricaine, à la fin-tertiaire-début quaternaire en Côte d'Ivoire. Ces cuirasses forment un léger surplomb au-dessus des surfaces environnantes et s'y raccordent par des versants concaves (Fig. I). Si on examine un tel versant, on peut y distinguer 4 zones différentes :

- en 1 : la cuirasse, rouge foncé à noir, généralement de type vacuolaire affleure sur le bord du plateau ;
- en 2 : des blocs épars de plus en plus fins vers l'aval ;
- en 3 et 4 : une surface plane unie dépourvue de blocs de cuirasse.

Si on fait des trous en ces différentes zones, on observe :

- sous la cuirasse 1, d'épaisseur variable, un horizon meuble, d'altération, qui n'est autre qu'un horizon C de sol ferrallitique ;
- en 2, ce même horizon d'altération recouvert de blocs ;
- en 3, on voit tout d'abord de petits fragments de cuirasse près de la surface, puis peu à peu on les observe de plus en plus profonds. La couche meuble s'épaissit ; elle peut être de granulométrie variable, sableuse à argilo-sableuse, mais ressemblant bien au matériau sous-jacent ;
- en 4, on retrouve la succession, maintes fois décrite, I, II, III où :
 - I est remanié et analogue à III,
 - II est constitué de débris de cuirasse avec blocs de quartz,
 - III est le sol en place.

L'observation de multiples chaînes de sols de cette nature, en Côte d'Ivoire et République Centrafricaine, suggère que leur mode de formation soit le suivant :

Les multiples petits plateaux hérités d'une pédogenèse antérieure sont at-

taqués par l'érosion qui est due à un abaissement du niveau de base. Cette attaque joue essentiellement sur la couronne qui ceinture le plateau.

Le versant recule parallèlement à lui-même et provoque le déchaussement de la cuirasse qui est fragmentée sur place. Les fragments descendent la pente, mais aussi, le versant recule sous eux. Lorsqu'ils se trouvent à la base de celui-ci, leur déplacement est achevé. S'il y avait un filon de quartz, dans le sol sous I, il est déchaussé et fragmenté lui aussi et mélangé aux débris de cuirasse. Les morceaux sont exposés à l'air ; pendant cette période ils subissent un déplacement modéré, ce qui explique qu'ils sont émoussés ou subarrondis.

Le matériau meuble situé sous I, va être lui aussi dégagé. Il va être déplacé le long du versant par les eaux courantes. Mais il n'ira pas très loin car ce versant est couvert de végétation à dominance arborée. Ces matériaux seront bloqués en 3, un peu plus loin, par dessus les débris de cuirasse qui, eux, ne bougent plus.

On aboutira donc, au bout de peu de temps, à une véritable inversion des matériaux. Le niveau résistant de l'ancien sol est fragmenté, déplacé obliquement sur une distance relativement courte, et recouvert par le matériau meuble qui se trouvait au-dessous de lui ou presque. C'est pourquoi, dans une coupe faite en 3 ou 4, on retrouvera les mêmes matériaux. L'évolution pédologique de ce matériau remonté en surface peut se faire alors de manière très variable (sols ferrallitiques, ferrugineux tropicaux, vertisols, hydromorphes, etc.).

Bien que les cuirasses constituent une caractéristique majeure de la zone tropicale, on peut objecter qu'il n'y a pas de cuirasse partout. C'est le cas du Centre Dahomey où les hauteurs de commandement sont constituées par des massifs de roches plutoniques ou métamorphiques qui se raccordent par un versant concave à la plaine environnante. Des observations pédologiques montrent le même type de

succession verticale que précédemment avec, en surface, un matériau meuble, généralement assez sableux, puis un lit de cailloux de quartz subarrondis, reposant sur la partie supérieure d'un sol tronqué. Ici encore, le recul des versants, parallèlement à eux-mêmes, tronçonne les sols et redistribue les matériaux meubles par dessus les débris quartzeux des anciens filons.

On peut également avoir affaire à des roches (et des sols dépourvus de filons de quartz et de débris cuirassés). On aura, dans ce cas, des superpositions de type I/III, sans **stone-line** intermédiaire. Ce cas a été également observé au Moyen Dahomey, où des roches assez basiques donnaient un produit d'altération de type vertique, recouvert par un matériau sableux. On peut difficilement dire qu'il y ait entre eux une relation par **différenciation** verticale.

Si l'évolution du paysage a été suffisamment longue pour faire disparaître les hauteurs de commandement (cuirasse ou massifs divers), on aboutit à une topographie caractérisée par des V très aplatis (Sud du Dahomey, Centre de la Côte d'Ivoire) (Fig. 2). On n'observera dans ce paysage aucune butte cuirassée et à peine quelques très rares îlots de gneiss ou granite. Et cependant les profils observés présentent la succession I/II/III, notée précédemment. Dans la région de Bouaké, on observe même que les niveaux I et II renferment des paillettes de mica, alors que III n'en contient pas. Ceci paraît indiquer que, par le recul du versant parallèlement à lui-même, une zone de roche peu altérée a été atteinte et que des minéraux encore intacts ont été redistribués en surface.

- Discussion.

L'examen de la littérature concernant des sols de cette région climatique fait apparaître des ressemblances frappantes avec les observations faites ci-dessus. FÜLSTER (1964), au Soudan méridional, MOSS (1965), au Nigeria du Sud-Ouest, font des observations analogues, ainsi que COMBEAU (1955), aux environs

de Garoua, dans le Nord Cameroun. Il s'agit toujours de zones à climat tropical à deux saisons bien tranchées, où la végétation est actuellement une forêt peu dense ou une savane. Le relief est constitué de plateaux cuirassés ou de zones subhorizontales peu accidentées, où les roches-mères sont des roches acides (plutoniques, métamorphiques ou même sédimentaires).

Dans ces régions, la pluie (800 à 1.500 mm) tombe en fortes averses pendant quelques mois. La partie du paysage la seule véritablement sensible à l'érosion est constituée par la pente forte qui raccorde les plateaux, cuirassés ou non, aux glacis environnants. C'est là que se fragmentent les filons de quartz qui arrivent à l'affleurement et les cuirasses de bordure des plateaux. C'est là que se fait l'inversion des matériaux fins et grossiers, aboutissant à un "enfouissement" des débris de quartz et de cuirasse. Le processus décrit par RUHE (1959) paraît s'appliquer très convenablement aux observations faites. De plus, une végétation arborée, d'une certaine consistance, est nécessaire pour bloquer les matériaux fins, tandis que les matériaux grossiers sont arrêtés par diminution de la pente. Plus au Nord, les cuirasses s'étendent fort loin (Niger par exemple) et se trouvent situés dans des conditions climatiques, qui ont été, ou sont encore beaucoup plus sèches que celles qui ont été envisagées. Les cuirasses se morcellent suivant un mécanisme beaucoup plus brutal en raison sans doute d'une violence plus grande des pluies et d'un couvert végétal beaucoup plus clairsemé. Par ailleurs l'avancée, très loin vers le Sud, de matériaux dunaires a certainement bloqué en beaucoup d'endroits l'érosion du pourtour des cuirasses. (Gavaud 1966, Bocquier et Gavaud 1964, Boulet 1965).

La zone géographique correspond à la description précédente s'étend depuis le Sénégal jusqu'au Soudan, à travers la Haute Guinée, le Mali méridional, le Nord du Dahomey, le Sud de la Nigeria et du Cameroun, le Sud du Tchad, la République

Centrafricaine. L'importance du phénomène envisagé est donc considérable.

2°) Exemples de la zone équatoriale. Les observations, faites surtout au Congo (Brazzaville) et au Gabon, ont été possibles sur des centaines de kilomètres, grâce à des tranchées de route ou de chemin de fer. Elles sont meilleures que celles effectuées en zone tropicale, en raison de la continuité et de la longueur des coupes.

Un certain nombre de similitudes et de différences avec la zone tropicale apparaissent rapidement.

a) Similitudes. La superposition I/II/III se retrouve avec une très grande régularité. La parenté entre les matériaux des différents niveaux est la règle. Les matériaux de la stone-line sont essentiellement des fragments de quartz et des débris de cuirasse, ces derniers étant plus fréquents, semble-t-il, au Congo qu'au Gabon.

b) Différences. L'épaisseur des différents niveaux peut s'observer beaucoup mieux. Le premier est nettement plus important que dans la zone tropicale. La "stone-line" apparaît très souvent festonnée (I), surtout dans les talwegs. La topographie est généralement tourmentée et, malgré des irrégularités locales, la "stone-line" est bien adaptée à la topographie. Par ailleurs, la couverture forestière est continue, couvre parfaitement le sol et réduit à peu de choses les manifestations de l'érosion du sol. Le festonnage apparaît lié aux talwegs. Un noyau de roche résistante se traduit par un festonnage caractéristique autour de la boucle (Fig. 3.).

L'explication proposée pour l'établissement de la stone-line en zone équatoriale est analogue à celle proposée pour la zone tropicale. Mais elle implique :

a) que toute la zone considérée a subi, par le passé, une évolution analo-

gue à celle que l'on observe à l'heure actuelle du Sénégal au Soudan ;

b) que, par suite, le relief de détail ait été modifié, pour aboutir à celui que nous lui connaissons actuellement, mais sans que l'inversion établie précédemment ait été modifiée.

a) Aplanissement et climat tropical. Le bloc République Centrafricaine, Sud Cameroun, Nord Gabon et Congo est matérialisé par un niveau d'altitude à peu près constant, que l'on retrouve dans ces différents pays, vers 600-800 m. Ce niveau est très souvent cuirassé et la cuirasse est connue sur différents plateaux du Congo de cette altitude, ainsi que dans le Mayombe. Ce relief aplani est interrompu dans une grande partie du bassin versant de l'Ogooué au Gabon, où le relief apparaît très tourmenté mais où l'altitude ne dépasse pas la hauteur précédente (SEGALEN, 1967).

Les fragments que l'on observe dans les stone-line sont des débris de cuirasse vacuolaire qui est le type de cuirasse que l'on observe sur les plateaux où se marque une hydromorphie de profondeur.

Par ailleurs, on est en droit de penser que des variations climatiques importantes ont intéressé l'Afrique Centrale au cours des âges. De nombreuses chronologies de paléoclimats ont été proposées dont une des plus récentes est celle de AUBREVILLE (1965).

Cette partie de l'Afrique Centrale a donc été fortement aplanie au cours du début tertiaire. Cet aplanissement s'est achevé par un cuirassement essentiellement vacuolaire et ferrugineux. Des résidus de cette cuirasse sont encore visibles de loin en loin. Par abaissement du niveau de base, et dans des conditions tropicales analogues à celles décrites précédemment, cette cuirasse a été morcelée et réduite en fragments, incorporée à une stone-line (celle visible le long du Comilog est constituée surtout de débris de cuirasse dont certains sont très gros).

b) Ondulation de la topographie. L'installation de la stone-line s'accompagne d'un aplanissement du relief. Le très fort morcellement en une multitude de petites collines est le résultat du climat équatorial chaud et humide. Celui-ci s'accompagne d'une couverture forestière dense qui freine au maximum l'érosion superficielle à l'exception de quelques pentes très escarpées. Cette forêt favorise la pénétration profonde de l'eau qui agit sur les minéraux des roches par hydrolyse et provoque le départ de quantités importantes de bases alcalines et alcalino-terreuses ainsi que de silice. Il y a donc une véritable érosion chimique souterraine qui est forcément irrégulière et agit beaucoup plus en certains endroits qu'en d'autres, par suite de l'hétérogénéité des roches. Ce soutirage chimique a été maintes fois évoqué, ROUGERIE (1960), TRICART et CAILLEUX (1965), etc.

Cette érosion souterraine se traduit par un enfoncement des talwegs mais non pas par une incision de ceux-ci. A leur niveau, la stone-line se festonne et la couche I s'épaissit par creep. En zone sédimentaire, on observe un léger fléchissement des couches, également noté par LAPORTE (1962). Dans la zone du schisto-calcaire (Gabon et Niari), la succession est la même. Un cuirassement ancien a couvert tout le pays à une altitude supérieure à celle des affleurements actuels. Une érosion de cette cuirasse a permis la formation d'une stone-line où s'incorporent des cherts, des jaspes issus de la roche sous-jacente. La dissolution du calcaire continu en profondeur, l'évolution du paysage se poursuit malgré l'empatement ferrallitique. Un certain nombre de résidus calcaires subsistent de loin en loin et portent, comme c'est le cas dans la vallée du Niari, les débris de cuirasse à leur sommet. Dans le Gabon, à proximité du cours de l'Ogooué, la stone-line est constituée par des galets de quartz ou quartzite, roulés, déposés autrefois par le fleuve et qui ont été repris par un remaniement postérieur à

leur dépôt, à la suite d'un abaissement du niveau de base.

- Discussion.

A l'explication exposée ci-dessus, on peut opposer un certain nombre d'objections, en particulier que la stone-line, dans cette zone équatoriale, a pu se mettre en place par descente des cailloux à travers un sol gorgé d'eau qui se comporterait comme une pâte visqueuse ; que l'aspect subanguleux des quartz serait dû aux frottements des matériaux grossiers pendant la descente.

Or on n'a jamais observé que, même au plus fort de la saison des pluies, le sol prenne l'aspect qui serait nécessaire pour acquérir l'état visqueux. En fait, le niveau I, riche en kaolinite, n'acquiert jamais la structure fondue qu'on serait en droit d'attendre. Aucune marque d'hydromorphie n'est visible, qui serait susceptible d'indiquer que le sol ne se ressuie pas rapidement. De plus, les trajets verticaux que doivent faire, dans le cas d'une descente, les matériaux grossiers, ne sont guère que de quelques décimètres à 2 ou 3 mètres. On conçoit difficilement qu'une usure notable ait pu se produire dans ce cas.

Un autre argument est l'existence de coupes mixtes à proximité des contacts de deux roches-mères de nature très différente. La nature du matériau au-dessous de la stone-line est identique à celui qui serait issu de la roche sous-jacente. Il n'y aurait pas eu de mouvement oblique et bien descente des éléments grossiers à travers les matériaux meubles. Certes, on peut toujours trouver de telles coupes, mais il en existe aussi où il y a recouvrement sur plusieurs dizaines de mètres de matériaux de nature différente, qui résulte de la mise en place du matériau de la stone-line, par recul des versants et mélange des matériaux. Par conséquent, ces objections n'apparaissent pas de nature à modifier le point de vue envisagé. (Fig. 4)

CONCLUSIONS

La stone-line est un aspect d'un phénomène très général, le ramaniement superficiel des sols.

En milieu prédésertique : l'eau est rare mais tombe en orages très violents. Elle est peu ou pas absorbée et ruisselle en surface, sans être freinée par la végétation. Elle traverse, après avoir coulée sur les pentes et s'être chargée de débris, les glacis de Piedmont sans rien déposer. Ces débris seront évacués par les oueds, et déposés dans des cônes de déjection où la distribution des matériaux est très hétérogène. Des dépôts d'origine éolienne ont pu par ailleurs protéger les bords des cuirasses.

En milieu tropical : les pluies tombent avec force de manière discontinue. Une partie est absorbée, l'autre ruisselle en surface, en provoquant l'érosion des pentes qui reculent parallèlement à elles-mêmes. C'est au cours de ce recul qu'à lieu le ramaniement des sols. Les débris sont triés au bas de la pente et une partie est bloquée par la végétation déjà fort dense et suffisante pour empêcher les débris solides de partir aux rivières.

En milieu équatorial : les pluies sont quasi-continues et beaucoup moins violentes. Le couvert végétal, très dense, empêche toute érosion spectaculaire. L'eau qui tombe est absorbée par le sol, évacuée par les nappes et par la végétation. Le ramaniement des sols n'aura guère l'occasion de se produire dans ces conditions. Il aura dû être effectué auparavant. Les puissantes dissolutions qui se produisent ont pour résultat de provoquer une véritable ondulation de la surface du sol, sans déranger celui-ci. Tout au plus, y aura-t-il épaissement local de la couche I, sous l'effet du creep.

Par conséquent, le ramaniement des sols est un phénomène très général, il

s'est produit à la faveur des grands aplanissements qui ont affecté les masses continentales dans la zone intertropicale (au Cameroun, on en compte 4 depuis le Jurassique). C'est essentiellement un processus de climat tropical. Mais les climats ont suffisamment varié à travers l'Afrique, surtout depuis la fin du Tertiaire, pour qu'on puisse considérer que partout un climat de type tropical ait pu passer au moins une fois, sinon plusieurs.

L'importance de ce phénomène pour la pédologie n'est pas moins grande. Il montre que, assez paradoxalement, c'est dans les zones à très fortes pentes, dans celles qui sont affectées par des orogènes récentes, dans certaines régions volcaniques, que la différenciation verticale des profils a le plus de chance de s'observer. Par contre, dans les autres régions d'Afrique intéressées depuis des millions d'années par la mise en place de surfaces d'érosion et leur destruction ultérieure, les matériaux superficiels, dans lesquels se produisent certains processus de formation du sol, ont été remaniés et ceci plusieurs fois.

REMERCIEMENTS.

L'auteur est particulièrement reconnaissant aux équipes pédologiques du Sénégal, de Côte d'Ivoire, du Dahomey, du Cameroun, du Gabon, du Congo, de République Centrafricaine grâce auxquels de très nombreux profils judicieusement disposés ont pu être examinés et servir de support à l'hypothèse présentée ci-dessus ;

Tout spécialement à MM. AUBERT, BOCQUIER, BOULET, CHATELIN, GAVAUD, LEPRUN LEVÉQUE, D. MARTIN, SIEFFERMAN, qui ont bien voulu consacrer de nombreuses heures à discuter avec lui sur le terrain, ou au bureau, à lui écrire souvent longuement, et enfin à MM. VOGT et VINCENT dont la mise au point particulièrement précise et détaillée a considérablement facilité la recherche bibliographique.

BIBLIOGRAPHIE

- AB'SABER (A.N.) - 1962 - Revisao des contecimentos sobre o horizonte subsuperficial de cascalhos in humados do Brazil Oriental. Bol. Univ. Panama. Inst. Geol. Geogr. fis. n° 2, 32 p.
- AUBERT (G.), SEGALEN (P.) - 1966 - Projet de classification des sols ferrallitiques. Cah. ORSTOM. sér. Pédol., IV, 4, 97-112.
- AUBREVILLE (A.) - 1962 - Savanisation tropicale et glaciations quaternaires. Adamsonia, II, 1, 17-84.
- BOCQUIER (G.) - 1959 - Première note relative à l'étude des formations superficielles du Sud du Congo. ORSTOM. IEC, Brazzaville, 5 p. multigr.
- BOCQUIER (G.), GAVAUD (M.) - 1964 - Etude pédologique du Niger Oriental. Rapport ORSTOM Multigr. 27, 347p
- BOULET (R.) - 1966 - Etude pédologique du Niger Central. Rapport ORSTOM multigr. 211p.
- BOURGEAT (F.), PETIT (M.) - 1966 - Les "stone-lines" et les terrasses alluviales des hautes terres malgaches. Cah. ORSTOM. sér. Pédol., IV, 2, 3-19.
- BOYER (Ph.) - 1958 - Influence des remaniements par le termite et de l'érosion sur l'évolution pédogénétique de la termitière épigée de "Bellicositermes Rex". C. R. Acad. Sci. Paris., 247, 749-751.
- BRUCKNER (W.) - 1955 - The mantle rock (laterite of Gold Coast). Géol. Rundschau
- BRUCKNER (W.) - 1957 - Laterite and bauxite profiles of West Africa as an index of rythmical climatic variations in the tropical belt. Ecl. Geol. Helv. 50, 8, 239-256
- CAILLEUX (A.), TRICART (J.) - 1957 - Termites et stone-line. CR. Som. Soc. Biogeogr. XXXIV, p 12.

- COMBEAU (A.) - 1955 - Les sols du reboisement de Garoua. Rapport IRCAM. multigr.
8 p.
- DE CRAENE (A.) - 1954 - Les sols de pédimentation ou les sols à "stone-line" du Nord-Est du Congo Belge. C.R. 5 Cong. intern. Sci. Sol IV, 451-460.
- DE CRAENE (A.), SOROTCHINSKY (C.) - 1954 - Essai d'interprétation nouvelle de la genèse de certains types de "stone-line". Conf. interafr. sols., 2. 1954. Léopoldville, vol. I, pp. 453-456.
- DE HEINZELIN (J.) - 1952 - Sols, paleosols, et désertifications anciennes dans le secteur Nord-Oriental du bassin du Congo. INEAC, Bruxelles, 165 p.
- DE HEINZELIN (J.) - 1965 - Observations sur la genèse des nappes de gravats dans les sols tropicaux. Publ. INEAC. sér. Sci., n°64, Bruxelles, 37 p.
- DE PLOEY (J.) - 1964 - Nappes de gravats et couvertures argilo-sableuses au Bas-Congo ; leur genèse et l'action des termites. in "A. Bouillon. Etudes sur les termites africains". Léopoldville. Lovanium. Fac. Sc. 3I, 399-414.
- DIXEY (F.) - 1955 - Erosion surfaces in Africa. Transac. Geol. Soc South Africa. 58, 265-280.
- DRESCH (J.) - 1963 - Sur quelques aspects régionaux du relief à Madagascar. Bull. Assoc. Geol., Fr. n° 309-310, 236-251.
- FÖLSTER (H.) - 1964 - Die Pedimente der Südsudanischen peneplane. Herkunft und Bodenbildung. Pedologie (Gaurd). XIV, 1, 64-84.
- FÖLSTER (F.) - 1964 - Morphogenese des Südsudanischen Peneplane. Zeits. Geomorphologie 8, 393-423.
- GAVAUD (M.) - 1966 - Etude pédologique du Niger occidental. Rapport ORSTOM multigr. 512 p.
- GRASSE (P.P.) - 1950 - Termites et sols tropicaux. Rev. int. Bot. Appl., n° 337 - 338, 549 - 554.

- IRELAND (H.A.), SHARPE (C.F.S.), EARGLE (D.H.) - 1939 - Principles of gully érosion in the Piedmont of South Carolina. U.S. Dept. Agric. Techn. Bull. 633.
- LAPORTE (G.) - 1962 - Reconnaissance pédologique le long de la voie ferrée COMILOG IRSC : MC II9. Brazzaville, 149 p. multigr.
- MAIGNIEN (R.) - 1966 - Compte-rendu de recherches sur les latérites. UNESCO. Paris. 155 p.
- MARCHESSEAU (J.) - 1965 - Etude minéralogique et morphologique de la stone-line au Gabon. Rapport BRGM. Libreville 65 A 9.
- MOSS (R.P.) - 1965 - Slope development and soil morphology in a part of South West Nigeria. J. Soil. Sci. 16, 2, 192 - 209.
- PARIZEK (E.J.), WOODRUFF (J.F.) - 1957 - Description and origin of stone-line layers in soils of the south eastern states. J. Geol., 65, 24-34.
- RIOU (G.) - 1965 - Notes sur les sols complexes des savanes préforestières en Côte d'Ivoire. Ann. Univ. Abidjan. I, 17, 36.
- RIQUIER (J.), BOURGEAT (F.) - 1964 - Histoire des sols ferrallitiques à Madagascar Communication au colloque sur les latérites de Tananarive.
- ROUGERIE (M.) - 1960 - Le façonnement actuel des modelés en Côte d'Ivoire forestière. Mem IFAN 58. Dakar. 542 p.
- RUHE (R.V.) - 1959 - Stone-line in soils. Soil. Sci., 87, 4, 223-231.
- RUHE (R.V.) - 1956 - Geomorphic surfaces and the nature of soils. Soil. Sci., 82, 441-455.
- SEGALEN (P.) - 1967 - Les sols et la géomorphologie du Cameroun. Cahiers ORSTOM. sér. Pédol. V, 2, (sous presse).
- TRICART (J.) - 1958 - Division morphoclimatique du Brésil atlantique central. Rev. Geomor. Dynam. IX, 1-22.

- TRICART (J.), CAILLEUX (A.) - 1965 - Traité de géomorphologie. V. Le modelé des régions chaudes, forêts et savanes. SEDES, Paris, 322p.
- VOGT (J.), VINCENT (P.L.) - 1966 - Terrains d'altération et de recouvrement en zone intertropicale. Bull. B.R.G.M., 4, I-III.
- WAEGEMANS (G.) - 1953 - Signification pédologique de la stone-line. Bull. apic Congo Belge, XLIV, 3, 521-532.

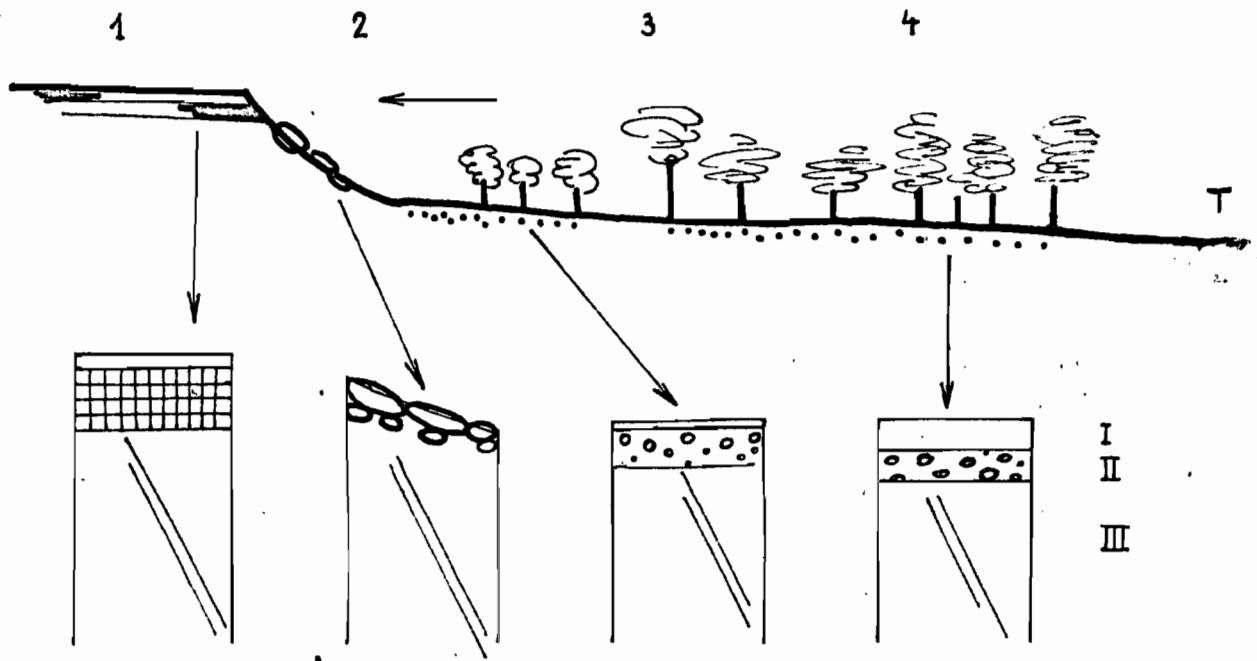
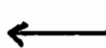


Fig. 1 - Disposition des profils en région tropicale. Cas d'une butte cuirassée.

1. Cuirasse ferrugineuse reposant avec ou sans discontinuité sur un sol en place.
2. Versant "d'attaque par l'érosion". Blocs résultant de la fragmentation de la cuirasse.
3. Gravillons et fragments de quartz provenant du "fauchage" des filons. Recouvrement très faible par des matériaux meubles.
4. Enfouissement des gravillons et quartz. La "stone-line" est en place.



Sens du recul du versant

T : talweg

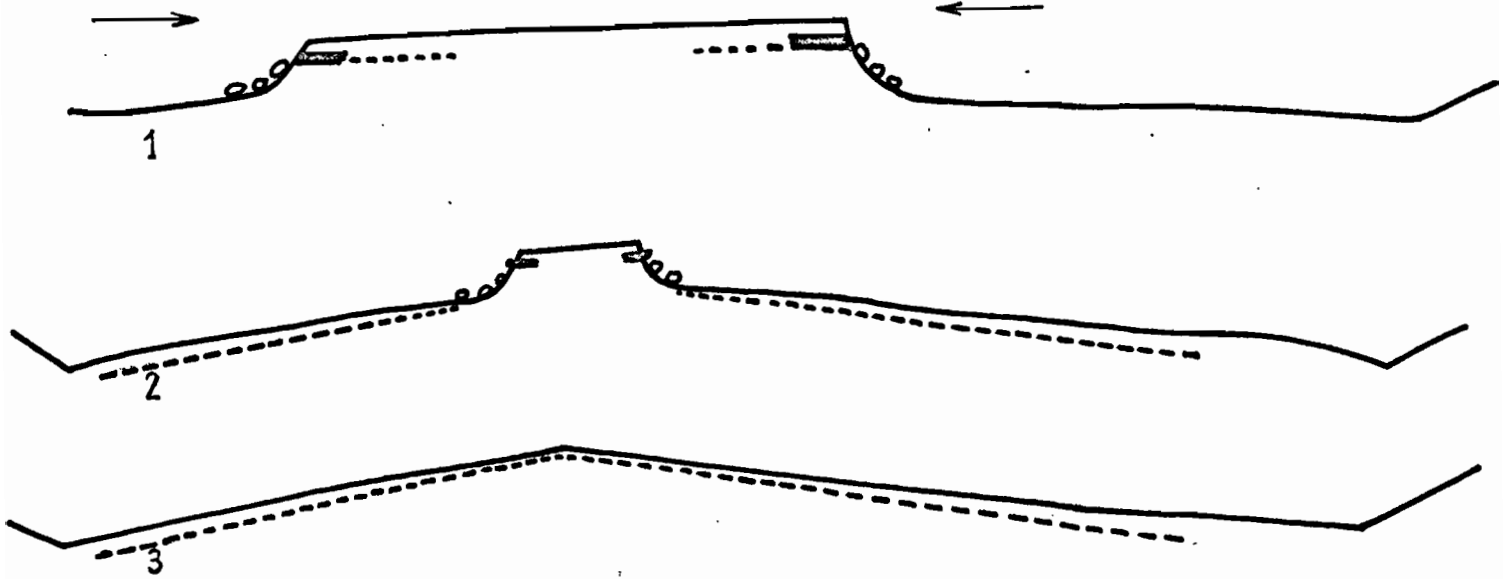


Fig. 2 - Evolution du relief en région tropicale, par destruction d'une zone cuirassée.

1. Par recul des versants parallèlement à eux-mêmes, des flots cuirassés, ou ceinturés de cuirasses, sont isolés.
2. La cuirasse est réduite à une butte-témoin.
3. La disparition de la cuirasse est complète. Relief en V aplati. A moins de changement du niveau de base, la ligne d'interfluve s'abaisse lentement.

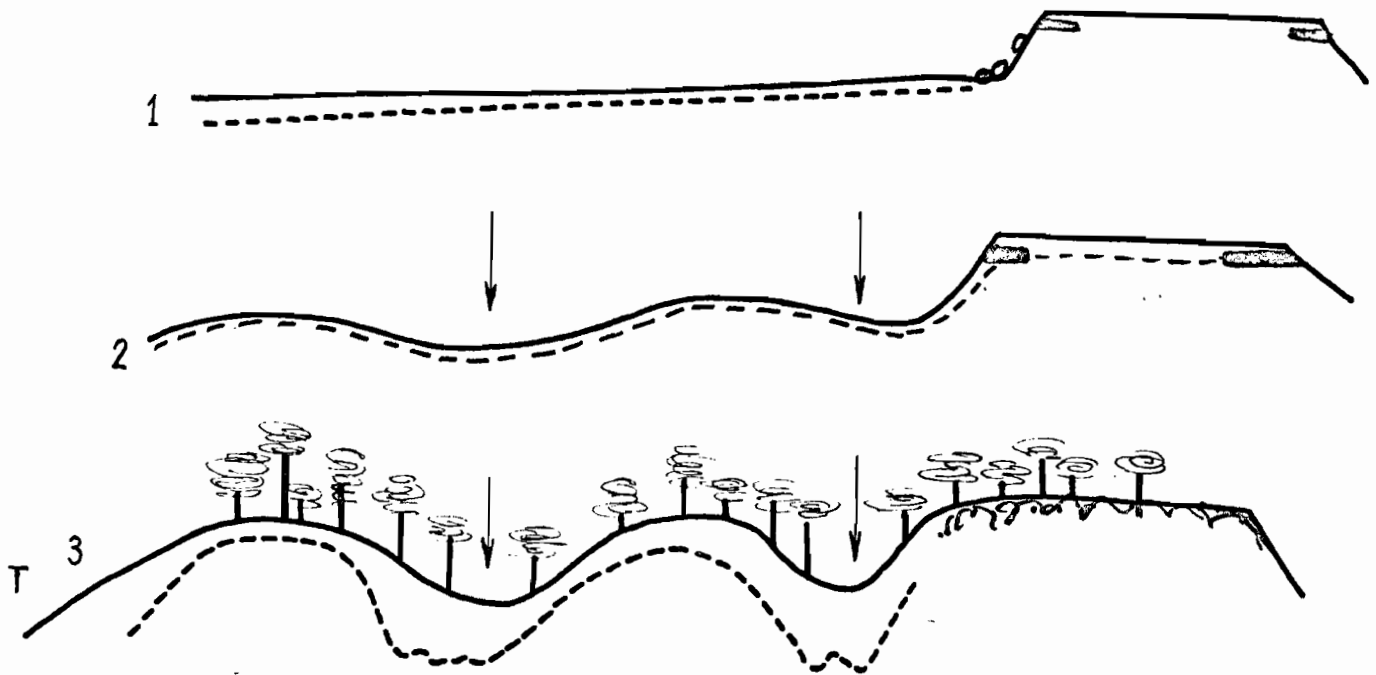


Fig. 3 - Evolution du relief et de la morphologie des sols lors du passage du climat tropical à équatorial (les flèches indiquent des points où l'altération chimique profonde s'effectue plus rapidement).

1. Relief issu de l'évolution sous climat tropical.

2. Début de différenciation par érosion chimique.

3. Accentuation des talwegs avec festonnement de la ligne de pierres.

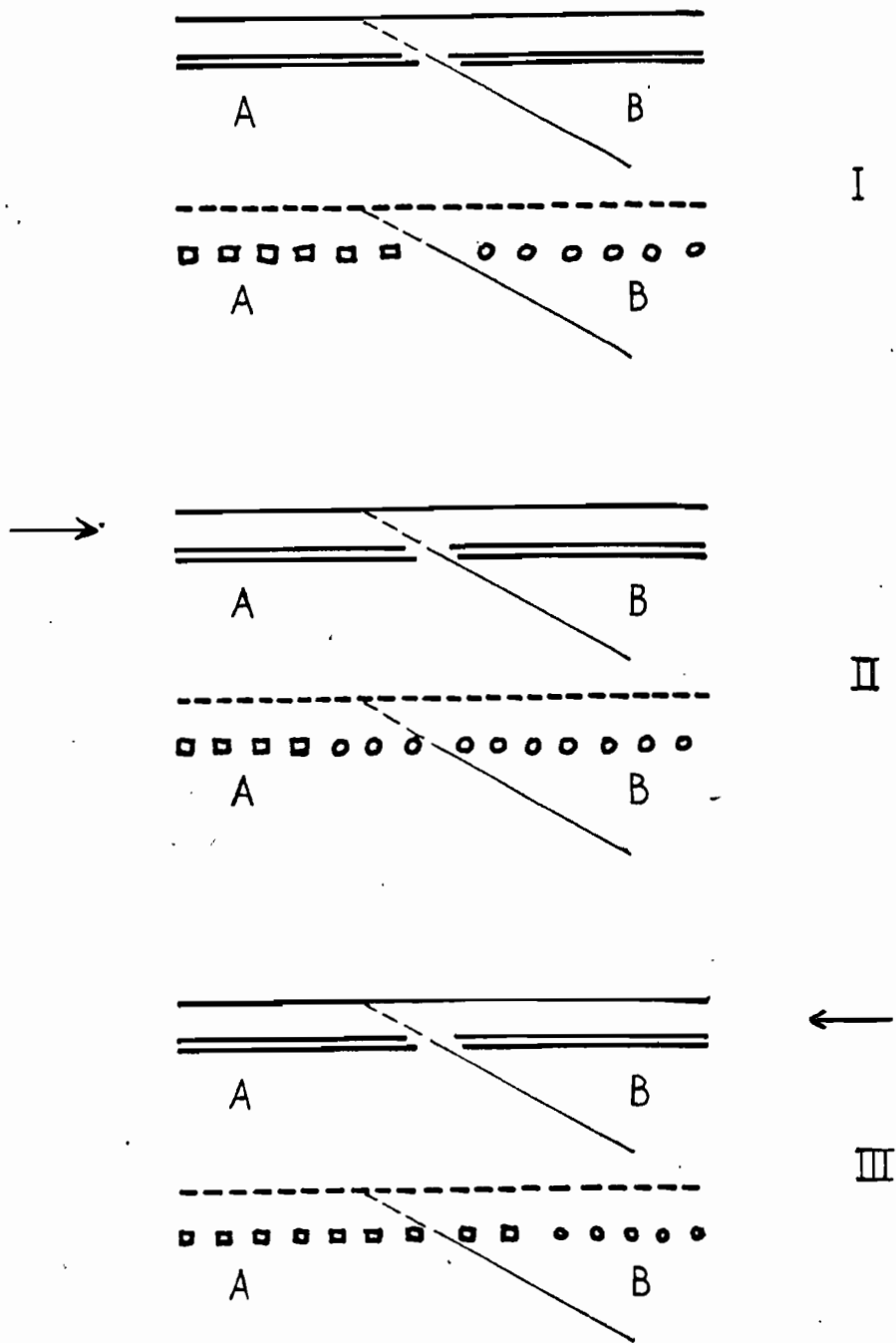


Fig. 4 - Evolution d'une coupe mixte.

- I. L'attaque du relief se fait perpendiculairement au plan de la coupe. Les éléments provenant de la destruction de la cuirasse se retrouvent disposés de part et d'autre du contact.
- II - III. Suivant le sens du déplacement du front d'attaque de l'érosion. Les éléments provenant des matériaux A et B débordent d'un côté ou de l'autre du contact.