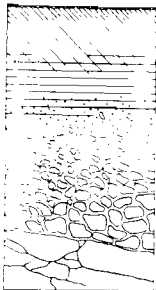


B. MOUGENOT

CARACTÉRISATION ET ÉVOLUTION
DES ÉTATS DE SURFACE
DES SOLS EN RELATION AVEC
LA DYNAMIQUE SAISONNIÈRE
DES SELS DANS LE DELTA
DU SÉNÉGAL

MÉTHODOLOGIE ET RÉSULTATS PARTIELS
DE LA CAMPAGNE 1982/83



Diffusion Restreinte

JUILLET 1983

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

CENTRE DE DAKAR - HANN



CARACTERISATION ET EVOLUTION DES ETATS DE SURFACE DES SOLS,
EN RELATION AVEC LA DYNAMIQUE SAISONNIERE DES SELS
DANS LE DELTA DU SENEGAL

MÉTHODOLOGIE ET RÉSULTATS PARTIELS
DE LA CAMPAGNE 1982/1983

Par

B. MOUGENOT

CENTRE ORSTOM / DAKAR

Diffusion Restreinte
JUILLET 1983

TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIERES.....	P. 2
PRESENTATION	P. 4
1 - CADRE DE L'ETUDE	
2 - PRINCIPAUX FACTEURS DE DIFFERENCIATIONS AGISSANT SUR LA SURFACE DES SOLS	P. 4
3 - QUELQUES DEFINITIONS	P. 6
4 - METHODOLOGIE UTILISEE POUR LE SUIVI DES ETATS DE SURFACE	P. 7
4.1. Examen des couvertures aériennes régulières	P. 7
4.2. Prises de vues aériennes périodiques à faible altitude	P. 8
4.3. Suivis au sol	P. 9
4.3.1. Périodicité des observations et prélèvements	P. 9
4.3.2. Inventaire et description fine des états de surface ..	P. 9
4.3.3. Mise en place de témoins	P. 9
4.4. Analyses au laboratoire	P. 9
4.5. Simulations des processus de formation observés	P. 10
5 - CHOIX DES SITES	P. 10
6 - PREMIERS RESULTATS	P. 11
6.1. Secteur de NTHIAGAR-RONQ	P. 11
6.1.1. Alternance décimétrique à métrique de zones à structure de surface micro-agrégée et à structure prismatique (à polyédrique anguleuse grossière) - Texture homogène : SITE NT 206	P. 11
6.1.2. Alternance métrique de zones à structure de surface micro-agrégée et à structure polyédrique anguleuse moyenne - Texture homogène - SITE NT 35	P. 19
6.1.3. Alternance métrique à décimétrique de zones à structure polyédrique anguleuse moyenne ou litée (et localement micro-agrégée) - Texture variable. SITES NT 250 - NT 293	P. 25
6.1.4. Structure de surface en plaquettes : SITE NT 207	P. 32
6.1.5. Zone d'accumulation éolienne (NEBKAS) SITE NT 37	P. 33
6.2. Secteur de SAVOIGNE Site de MBAROU-BOF (M.B.) : Cuvette salée	P. 37
6.3. Secteur de SAINT-LOUIS Site de GANDIOLE 1 (GD1) : Cuvette très salée	P. 41
PREMIERES CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES	P. 45
1 - L'utilisation des photographies aériennes	P. 45
2 - Evolution générale des structures observées à la surface des sols nus ou très peu couverts	P. 45
3 - Les premiers résultats analytiques	P. 46
4 - La Dynamique des sels et les effets du climat sur l'évolution des structures de surface	P. 46

5 - Conséquences sur l'écosystème du Delta	P. 47
6 - Perspectives d'études	P. 48
BIBLIOGRAPHIE	P. 49

PRESENTATION -

Les études cartographiques entreprises sur le Delta du Fleuve Sénégal ont montré la diversité des états de la surface des sols nus ou très peu couverts par la végétation et leurs variabilités saisonnières (B. MOUGENOT - 1982). Un suivi a débuté en Avril 1982 sur plusieurs sites représentatifs. Après avoir évoqué les conditions dans lesquelles évoluent les états de surface des sols, nous présenterons les méthodes utilisées et les premiers résultats obtenus.

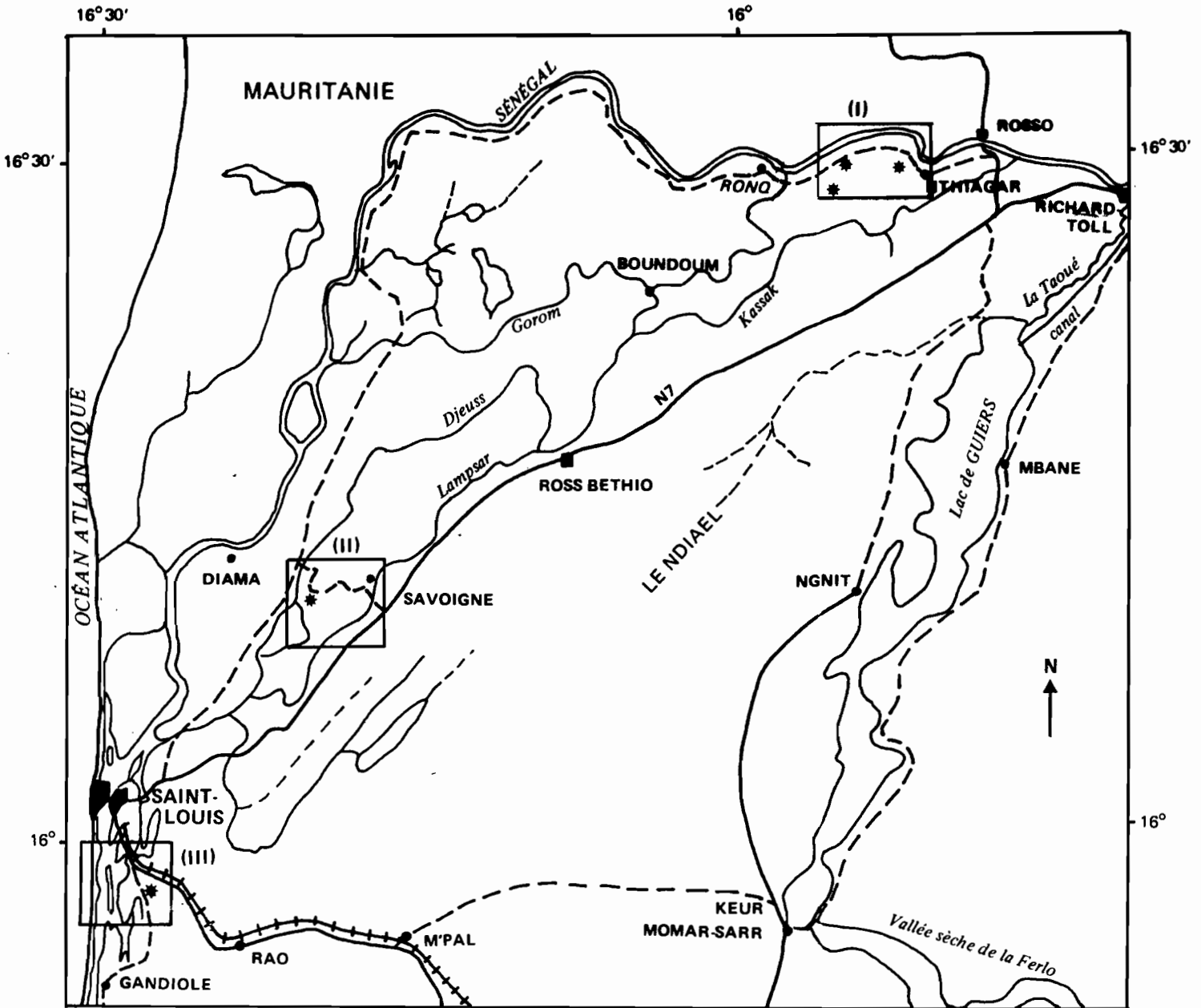
1 - CADRE DE L'ETUDE -

- Le "Delta" du Sénégal (Fig. 1) occupe l'emplacement d'un ancien golfe marin (Nouakchottien : -7000 BP à -4200 BP), comblé par des dépôts fluvio-deltaïques et façonné en un système de levées alluviales et de cuvettes de décantation (P. MICHEL - 1973). La nature du sédiment rencontré actuellement, comprend du sable ancien (transgression Nouakchottienne) auquel se superpose une couche plus ou moins argileuse superficielle, d'épaisseur très variable. On rencontre partout en profondeur, une nappe phréatique salée (conductivité électrique parfois supérieure à celle de l'eau de mer) chloruro-sulfatée à chlorurée sodique, témoin de l'invasion marine ancienne.
- Cadre climatique : Le climat de type sahélien est caractérisé par une longue saison sèche de 9 à 10 mois pendant laquelle des vents chauds, parfois violents soufflent irrégulièrement. Des pluies sporadiques peuvent se produire. Pendant la courte saison d'hivernage (2 à 3 mois), les précipitations faibles et irrégulières en quantité (300 à 350 mm en moyenne ; de l'ordre de 300 mm en 1981 et seulement 160 mm en 1982 : Source CSS/Richard-Toll) tombent sous forme d'averses parfois violentes. L'évapotranspiration potentielle (ETP) est estimée à 2,5 m par an.
- Les aménagements hydro-agricoles effectués dans le "Delta", après les premiers barrages installés sur les défluent du fleuve, ont pris une grande ampleur vers 1965 avec l'endiguement de la rive gauche empêchant la crue annuelle de submerger les terres basses. L'exploitation des ressources de cette région s'est accentuée : cultures irriguées, mais aussi déforestation et sur-pâturage.

2 - PRINCIPAUX FACTEURS DE DIFFERENCIATIONS AGISSANT SUR LA SURFACE DES SOLS -

La présence d'une nappe salée peu profonde, le climat et les conséquences des divers aménagements, influencent l'état de la structure de surface de certains sols.

- Pendant la longue saison sèche et sous l'effet de l'évaporation intense, les eaux de nappes salées remontent par capillarité, provoquant la salinisation des sols. Quand les sels précipitent en surface, les alternances humidité-dessiccation (pluie, rosée) peuvent modifier la structure du matériau (structure micro-agrégée ou "poudreuse") et le rendre sensible à l'érosion éolienne.
- En saison des pluies, l'intensité des averses provoque l'apparition de structures de battance favorisant le ruissellement et l'érosion hydrique vers les zones basses, et peuvent dessaler la surface des sols (structures en plaquettes...).



Secteur de NTHIAGAR-RONQ (I)
Secteur de SAVOIGNE (II)
Secteur de SAINT-LOUIS (III)

* : emplacement des sites d'observation
0 5 10 15 20 km
Échelle 1 : 500 000

Fig. 1 - Carte de situation

Les conditions écologiques dans "Delta", se sont modifiées au cours des dernières ~~décennies~~ sous l'influence de l'homme et d'une sécheresse climatique prononcée. Ces modifications ont affecté plus ou moins profondément l'évolution des sols qui, en outre, ne sont plus soumis à la submersion provoquée par l'inondation annuelle due à la crue.

3 - QUELQUES DEFINITIONS -

Le suivi des sols nus ou très peu couverts par la végétation, les plus sensibles aux phénomènes de dégradations (les sols cultivés étant eux, soumis à un régime hydrique totalement différent) a permis de différencier deux grands types de structures observés en surface :

- 1 - Structure micro-agrégée ou "poudreuse" formée de micro-agrégats millimétriques, polyédriques anguleux, séparés par des efflorescences salines en aiguilles ou en amas, plus ou moins abondantes, sur 1 à 10 cm d'épaisseur.
- 2 - Structures non micro-agrégées :
 - Polyédrique anguleuse à sub-anguleuse moyenne à grossière
 - Prismatique
 - En plaquettes
 - Litée (feuilletés détachables ou non)
 - Massive (souvent le cas des textures moyenne ou grossière).

Les phénomènes de battance

Les structures de surface sont modifiées sur quelques millimètres rarement plus, sous l'effet des pluies. Des réarrangements de particules s'opèrent sous l'impact des gouttes d'eau, pouvant être combinés à des apports latéraux par le ruissellement et par décantation ou dûs à des apports éoliens. On distinguera des "croûtes de battance" et des "pellicules" :

- Croûtes de battance : Elles sont constituées d'agrégats plus ou moins soudés entre eux, définissant généralement une porosité de type planaire, et surmontée d'une fine "pellicule" argilo-saline et de sables en relief (cas d'une texture fine à moyenne).
- Les pellicules sont formées d'une succession de feuilletés (0,5 à quelques millimètres), généralement à texture fine, très peu poreux, souvent isolés entre eux par des ségrégations de sables fins et de limons grossiers à structure pulvérulente ou "bulleuse" (phénomènes de dégazage).

Si l'impact des gouttes de pluie semble à l'origine de la formation des croûtes de battance et de la pellicule de surface, l'origine des empilements de pellicules est plus complexe (impact des gouttes, apports latéraux par ruissellement et décantation, ou éoliens...) et pourra être expliqué au cours des expériences de simulation sous pluie artificielle.

Les phénomènes d'apports

En conséquence aux phénomènes d'ablation (érosion éolienne et hydrique) évoqués précédemment (§2), s'ajoutent des effets d'accumulation :

- Nebkas ou petites dunes fixées par des plantes halophytes. On observe également de petites accumulations piégées dans des micro-dépressions de la surface du sol.
- Structures litées de décantation à pellicules soudées, ou non soudées (évoquées plus haut). Les fines pellicules de décantation argileuses, fréquentes dans les zones basses, sont assez rapidement dégradées par l'érosion éolienne après leur rétraction. Parfois, au contraire, elles s'accumulent d'une année sur l'autre.

4 - METHODOLOGIE UTILISEE POUR LE SUIVI DES ETATS DE SURFACE

La caractérisation et le suivi des états de surface sont réalisés suivant cinq niveaux d'observations :

- Examen des couvertures aériennes régulières
- Prises de vues aériennes périodiques à faible altitude
- Suivis au sol
- Analyses au laboratoire
- Simulation des processus de formation observés.

4.1 - Examen des couvertures aériennes régulières

- Nous possédons 2 couvertures aériennes anciennes

. 1960 : à 1/15 000° (N et B - Mission IGN A.O.)

. 1964 : à 1/25 000° (N et B - Mission IGN A.O.), couvrant la partie

Est du "Delta". Elles ont été effectuées avant (1960), et pendant (1964), les aménagements le long du fleuve (digue anti-crue), et représentent ainsi l'état initial. Cependant, elles sont surtout valables pour l'état de la végétation car ne nous possédons que très peu de données de terrain sur l'état de surface des sols nus à l'époque. Nous ne pourrons effectuer que des hypothèses en nous référant aux résultats actuels. De plus, la mission de 1964 a été effectuée en fin de saison des pluies .

- D'autre part, une excellente couverture à 1/50 000°, réalisée en Janvier 1980, en Infra-Rouge fausses couleurs (Mission TELEDYNE), couvre l'ensemble du delta et de la vallée. Cette série servira de référence aux observations suivantes.

4.2. Prises de vues aériennes périodiques à faible altitude

Nous avons utilisé des photographies aériennes prises périodiquement avec un avion de tourisme, à faible altitude, à la verticale ou en oblique, à l'aide d'un appareil 24x36 mm muni d'un objectif de 50 mm, sur des sites choisis au sol pendant la saison sèche 1982/1983 (parcelles de 5x10 m et plus. Echelle d'un tirage en 9x13 cm, environ 1/1 000°).

Une altitude de 150 à 300 m semble la plus favorable pour l'étude de l'évolution des états de surface. Les prises de vues verticales, délicates à faible altitude (précision de la trajectoire, couverture complète...) peuvent cependant être effectuées soit avec un objectif grand angle de 28 ou 35 mm, soit à des altitudes un peu plus élevées que les photographies en obliques. Celles-ci suffisent dans le cas d'une simple identification des phénomènes, mais sont plus difficilement répétitives quand on veut suivre l'évolution d'un système : angle et distance de prise de vue variables, flou dû au plexiglass de la verrière, visibilité horizontale réduite par les vents de sables fréquents dans cette région.

Les films couleurs d'une sensibilité de 64 ASA ont donné les meilleurs résultats. Les essais en Noir et Blanc n'ont pas toujours été satisfaisants mais peuvent cependant suffire. Les films sensibles à l'Infra-Rouge, présentent l'inconvénient de l'être aussi à la chaleur. Nous avons consulté pour les problèmes techniques, les ouvrages : Remote Sensing, 1970 et Manuel of Remote Sensing 1975.

Remarques sur l'utilisation des photographies aériennes -

- . Des auteurs ont effectué des études concernant les relations Sols-Végétation-Salinité (E.I. PANKOVA, 1976 - M.C. GIRARD, 1977) avec utilisation fréquente de l'Infra-Rouge (J. DUCHESNE 1977 - A. PEYRONEL, 1979 - EMEL'VANOV et Al. 1980). Dans notre cas, il n'a pas été utilisé dans un premier temps de densitomètre. Nous nous sommes limités aux sols nus ou peu couverts ; les formations principales ont été identifiées visuellement.
- . L'image fixée sur la pellicule, est une résultante de nombreux facteurs qui affectent la lumière réfléchiée par la surface du sol : couleurs, rugosité (micro-relief) humidité, sels, heure et angle de prise de vues... Dans le cas des vues à faible altitude, le développement des pellicules a donné des résultats inégaux, en particulier à propos des critères de couleurs. Cependant, l'identification des états de surface a pu se faire de façon assez satisfaisante après les premiers essais indispensables.

4.3. Suivis au sol

4.3.1. Périodicité des observations et prélèvements

Des modifications rapides pouvant s'opérer sur certaines structures de surface, il serait nécessaire de faire coïncider le mieux possible les dates de prises de vues aériennes, et les observations et prélèvements. Ce n'est pas toujours réalisable dans les conditions qui règnent parfois sur le "Delta".

4.3.2. Inventaire et Description fine des états de surface

Cette opération s'effectue sur le terrain, complétée par des observations à la loupe le plus souvent directement sur place quand les échantillons sont encore humides, sous peine de voir, en domaine salé, la formation d'efflorescences salines déformant les structures en dehors des conditions naturelles de dessèchement. La photographie est un support complémentaire (inventaire et suivi de l'évolution de parcelles témoins de quelques mètres carrés). Les différenciations s'expriment au maximum dans une tranche superficielle de 25 à 30 centimètres d'épaisseur. Les observations seront réalisées jusqu'à 40 centimètres de profondeur environ.

4.3.3. Mise en place de témoins constitués de tiges métalliques enfoncées dans le sol et permettant de suivre la dynamique des états de surface : phénomènes d'érosion, de compaction et d'accumulation.

4.4. Analyses au laboratoire

Des prélèvements réguliers sont effectués sur les divers micro-horizons constituant les 40 premiers centimètres du sol.

Analyses effectuées : Humidité - Granulométrie - Perméabilité - pH - Sels solubles. Pour des raisons techniques, des répétitions n'ont pu être réalisées. Cependant, les prélèvements sont pratiqués sur plusieurs points que l'on réunit par la suite. L'homogénéité des prélèvements à des périodes différentes est contrôlée à l'aide de l'analyse granulométrique. Les évolutions concernant la répartition des sels solubles sont délicates surtout sur les horizons peu salés. Des études antérieures ont montré cependant que les rapports entre les différents cations et anions et leur répartition verticale, restent assez homogènes dans un même secteur (B. MOUGENOT - 1982).

4.5. Simulations des processus de formation observés

Des expériences de simulations seront mises en place au laboratoire afin de suivre l'évolution des états de surface en fonction de divers paramètres connus et maîtrisés au départ. (cf. expériences de J. SERVANT, 1974). Enfin, il est envisagé d'installer sur le terrain des expériences sous pluie artificielle à l'aide du petit simulateur préconisé par J. ASSELINE et C. VALENTIN (1978).

5 - CHOIX DES SITES

Les observations sont réparties dans le Delta sur trois secteurs (Fig. 1). Pour chaque secteur, où des vols à faible altitude ont été régulièrement pratiqués, nous avons choisi un ou plusieurs sites représentatifs sur lesquels des observations et des prélèvements ont été effectués. Les différentes structures observées en surface forment soit des zones homogènes de plusieurs dizaines d'hectares, soit des associations en zones à structure de surface micro-agrégée et non micro-agrégée, en alternances décimétriques à décamétriques. Les textures pouvant être similaires ou très différentes.

Situation des secteurs et des sites : (Fig. 1)

- I - Secteur de NTHIAGAR-RONQ : Système de levées et zones basses ; dans la partie Est du "Delta, à l'Ouest de ROSSO (Fig. 2)
 - 1 - Association de zones à structures de surface micro-agrégée et non micro-agrégée
 - . Site NT 206 : Alternance décimétrique à métrique - texture homogène
 - . Site NT 35 : Alternance métrique - Texture homogène
 - . Sites NT 250-293 : Alternance métrique à décamétrique - texture variable.
 - 2 - Structure de surface non micro-agrégée
 - . Site NT 207 : Structure de surface en plaquettes
 - 3 - Zone d'accumulation éolienne
 - . Site NT 37 : Nebka.
- II - Secteur de SAVOIGNE : Cuvette salée, dans la partie médiane du Delta (Fig. 13).
 - . Site MBAROU BOF (M.B.).

III - Secteur de Saint-Louis : Cuvette très salée à proximité de l'embouchure (Fig. 15).

. Site de GANDIOLE I (GD I).

Etat des observations, Prélèvements et prises de vues aériennes

Périodes	Observations	Prélèvements	Photographies aériennes
1 - Saison sèche 1981/1982	01/04/1982	-	-
2 - Fin de saison des pluies 1982	07/10/1982	07/10/1982	-
3 - Début de saison sèche 1982/1983	26/10/1982	26/10/1982	11/11/1982
4 - Saison sèche 1982/1983	10/12/1982 13/01/1983	(10/12/1982 sur quelques sites) -	10/12/1982
5 - Fin de saison sèche 1982/1983	07/06/1983	07/06/1983	07/06/1983

La prise de photographies aériennes n'a débuté qu'en novembre 1982 et n'a pas toujours pu coïncider en début de campagne avec les observations au sol (disponibilité de l'appareil, météo...). Nous avons effectué des prélèvements rapprochés au départ, 3 jours, puis 20 jours après la dernière pluie importante (environ 10 mm) de l'hivernage 1982. Ensuite les observations et prélèvements ont été plus espacés dans le temps, les structures de surface évoluant plus lentement, soit dans notre cas : 2 mois - 3 mois, puis 8 mois après la dernière pluie d'hivernage.

Pour chacun des sites, les évolutions observées au sol et par photographies aériennes seront commentées. Seuls les résultats de la première série de prélèvements ont pu être présentés ici dans un premier temps sur quelques sites (ainsi que quelques profils d'humidité concernant la seconde série de prélèvements).

6 - PREMIERS RESULTATS -

6.1. Secteur de NTHIAGAR-RONQ (Fig. 2)

6.1.1. Alternance décimétrique à métrique de zones à structure de surface micro-agrégée et à structure prismatique (à polyédrique anguleuse grossière) - Texture homogène, argileuse : SITE NT 206.

Les zones à structure de surface micro-agrégée sont nettement en relief. Les micro-dépressions à structure plus grossière possèdent des formes circulaires à irrégulières.

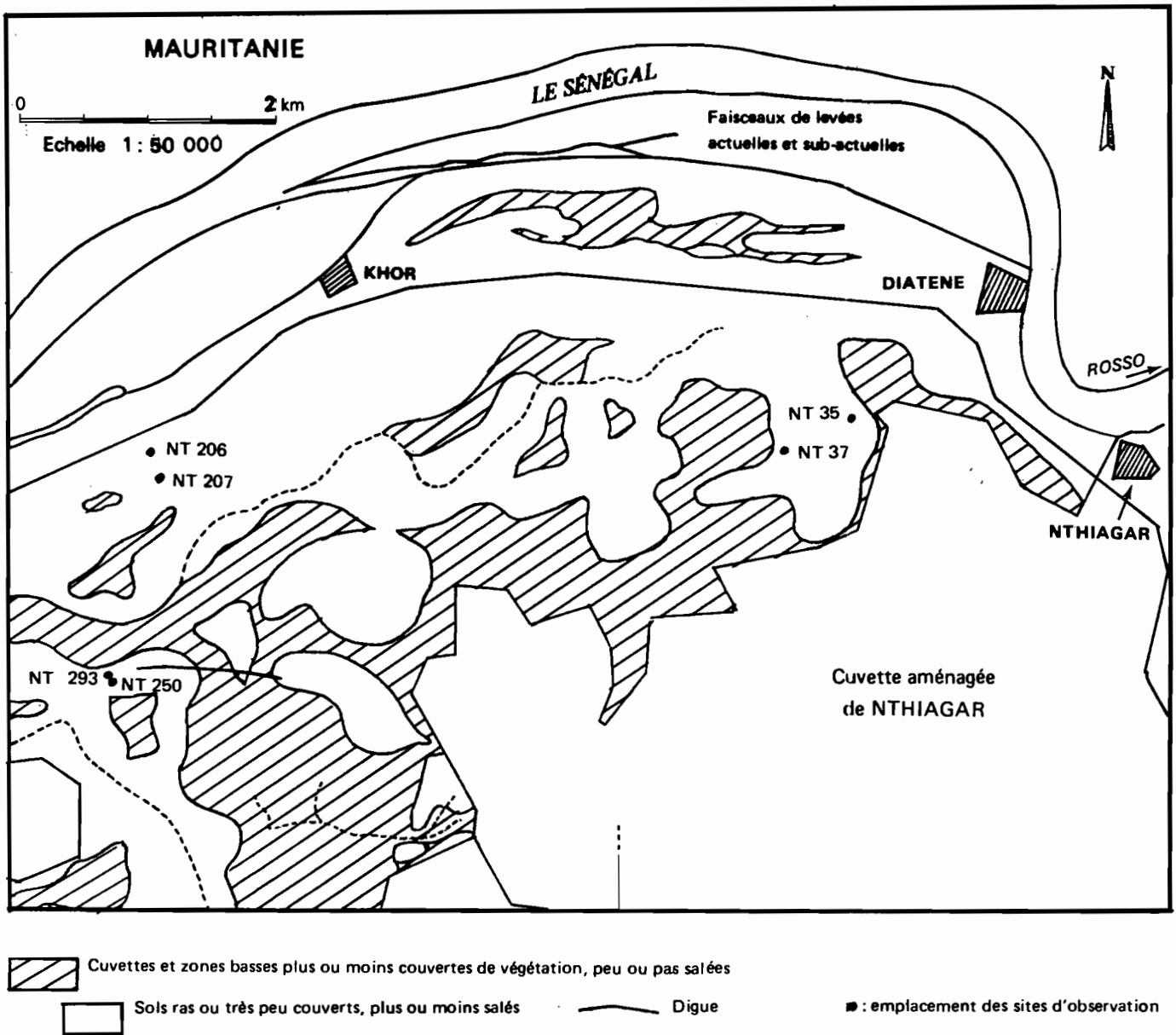


Fig.2 Carte de situation des sites du secteur de NTHIAGAR-RONO (I)

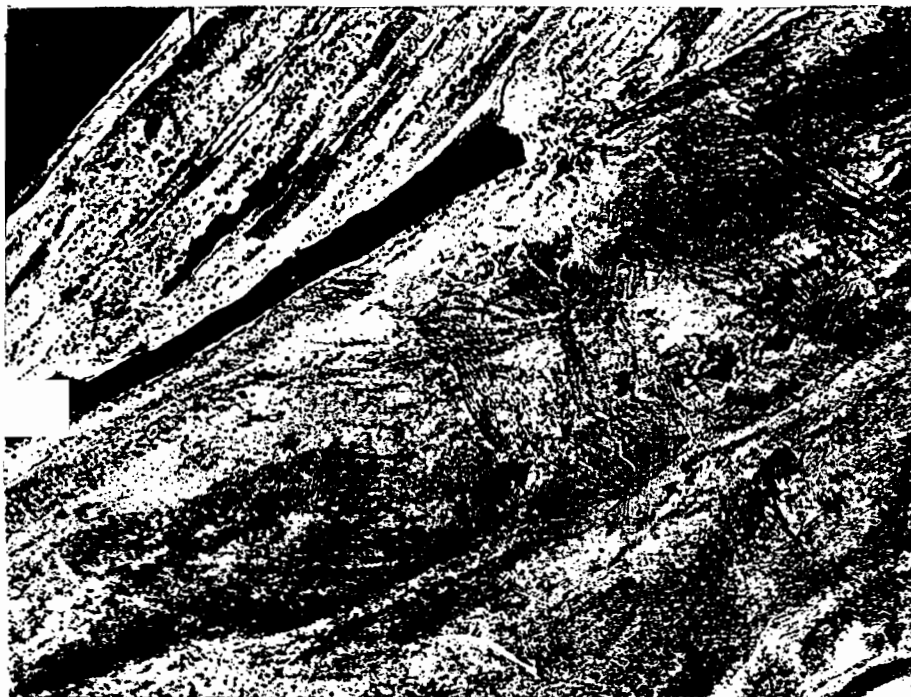
- Caractéristiques photographiques et types de surfaces associés

. Vues aériennes régulières anciennes : (Echelle 1/15 000° à 1/50 000°) -
Planche 1

1960 (1/15 000°)	Gris + Fines taches gris-clair, irrégulières
1964 (1/25 000°)	Gris + Taches gris-clair, irrégulières
1980 (1/50 000°)	Gris verdâtre + quelques taches blanches

. Vues aériennes à faible altitude (Echelle ~ 1/1 000°) - Planche 2

Dates de prises de vues	Aspect en photographie aérienne	Aspect au sol (Fig. 3)
11/11/1982 (N et B)	- Gris-clair	- Croûte de battance beige-clair fracturée et soulevée sur structure micro-agrégée
	- "Moucheté" de taches gris-foncé (0,5 à 3 m) arrondies ou irrégulières	- Micro-dépressions à pellicule argileuse de décantation brune locale, sur structure prismatique.
10/12/1982 (Couleurs) (PLANCHE 2)	- Brun à brun-clair	- "Idem"
	- Taches irrégulières brun-gris	- "Idem"
07/06/1983 (Couleurs)	- Brun-clair	- Nouvelle croûte de battance au niveau des zones de fractures éolisées
	- Taches irrégulières brunes peu contrastées	- Idem + saupoudrage éolien d'une fine pellicule beige rosé



MISSION IGN A.O. 1960
à 1/15 000°

Le Site NT 207 (2) présente un aspect plus clair et moins taché que le Site NT 206 (1).



MISSION IGN A.O. 1964 à
1/25 000°

(Saison des pluies : la présence éventuelle d'eau en surface rend l'interprétation délicate).



MISSION TELEDYNE 1980 à
1/50 000°

Site NT 206 : Zone sombre (structure de surface micro-agrégée ?)

Site NT 207 : Zone claire (Structure de surface en plaquettes).

1 : SITE NT 206

2 : SITE NT 207

PLANCHE 1 : Extraits de photographies aériennes régulières - Secteur de NTHIAGAR-RONQ : Site NT 206 et Site NT 207.



Site NT 206 : Alternance décimétrique à métrique de zones à structure de surface micro-agrégée et à croûte de battance (zones claires), et à structure non micro-agrégée (zones sombres).

Site NT 207 : Structure de surface en plaquettes. Lambeaux de pellicule argileuse de décantation.

PLANCHE 2 : Photographie aérienne à faible altitude (10/12/1982 - Echelle 1/1 000°)
Secteur de NTHIAGAR-RONQ - Sites : NT 206 et 207.

Il existe une bonne corrélation entre les aspects en photographie aérienne et au sol. Le contraste entre les différentes structures de surface diminue au cours de la saison sèche. La conservation d'une croûte de battance sur les zones à structure de surface micro-agrégée leur confère une teinte claire permanente du moins pour cette année. Cela ne semblait pas être le cas d'après les photographies aériennes régulières de 1980. La zone sombre où se place le site NT 206 (PLANCHE 1) est plutôt caractéristique comme on le verra plus loin, d'une structure de surface micro-agrégée. On peut supposer qu'à l'époque de prise de vue (Janvier 1980), la croûte de battance était en grande partie décapée comme c'était le cas au cours de la saison sèche 1981/1982. Les photographies plus anciennes sont plus difficilement interprétables car prises dans des conditions différentes. En 1960 et 1964, on notera l'alternance de zones sombres et claires, très fines en 1960, plus diffuses en 1964.

- Evolutions observées au sol (Site NT 206 Avril 82 - Juin 83) - Fig. 3

D'une année à l'autre, les zones à structure de surface micro-agrégée, bien que localement décapées par érosion hydrique, sont conservées malgré les pluies. La croûte de battance formée à ce moment, empêche partiellement l'érosion éolienne qui ne se produit que le long des fractures de la croûte, provoquées par le foisonnement des horizons micro-agrégés sous-jacents. Le phénomène semble se produire très rapidement dès que le sol se dessèche. une pluie de saison sèche (... mm environ le 1982), suffisamment intense, a permis la formation d'une nouvelle croûte de battance sur les zones décapées ; ainsi, contrairement à la saison sèche 1981/1982, l'érosion éolienne a été stoppée au cours de la même saison 1982/1983.

- Premiers résultats analytiques (Site NT 206 07/10/1982) - Fig. 4 - Interprétation

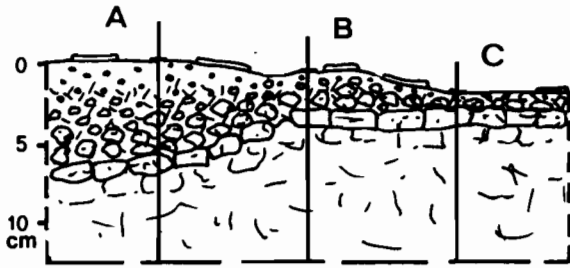
La croûte de battance, moins riche en argile que l'horizon sous-jacent, n'est pas très dessalée.

Un maximum de la charge totale en sels solubles et des cations est observé sous l'horizon le plus finement micro-agrégé ($\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++} = 55\%$ des cations - NT 206A). La zone à structure prismatique (NT 206B), moins chargée en sels solubles, est légèrement dessalée en surface. Le maximum des cations bivalents apparaît plus faible et moins net ($\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++} = 37\%$) ; leur proportion décroît plus fortement en profondeur (20 %). La concentration en potassium varie de façon inverse de la charge en sels solubles totaux (équivalent à la conductivité électrique). L'ion sulfate presque toujours inférieur à 10 % des anions, tend à croître vers la profondeur dans les deux cas avec un minimum plus ou moins marqué à faible ou moyenne profondeur - les chlorures dominant largement.

- Le dessèchement à partir de la surface (deuxième série de prélèvements, 26/10/82) est plus accentué sous la croûte de battance (NT 206A : 40 % à 2 cm, 5,5 % à 5 cm, 9 % à 10 cm...) que sous la structure prismatique (NT 105B : respectivement, 5 %, 9,5 % et 11,7 % ...). Il semblerait que cette croûte serve d'écran peu perméable aux pluies suivantes et accentue les effets du ruissellement, en conservant la structure micro-agrégée. L'eau pénètre par contre, facilement par les fentes de dessiccation de la structure prismatique. Là, le dessèchement 20 jours après la dernière pluie n'a pas encore atteint le niveau observé sous la croûte.

A part une légère accentuation de la micro-agrégation et l'apparition vers la surface d'efflorescences salines en aiguilles, il y a peu de transformations importantes observées au cours de la saison sèche 1982/1983. On notera que les micro-agrégats deviennent plus grossiers en profondeur.

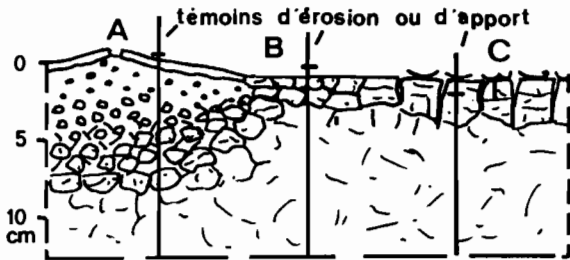
01/04/82



- Saison sèche 1981/1982

. Lambeaux de croûte de battance sur couche à structure poudreuse plus ou moins épaisse.

07/10/82



- Fin de saison des pluies 1982

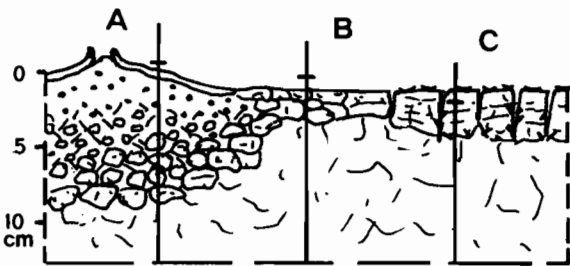
A : Formation d'une croûte de battance lisse, continue, fracturée par le dessèchement. Structure micro-agrégée fine à grossière vers le bas.

B : Léger décapage par érosion hydrique et compaction.

C : Apports de matériaux sur 1 cm. Structuration en prismes au cours du dessèchement - Pellicule argileuse desquamée.

26/10/82

13/01/83

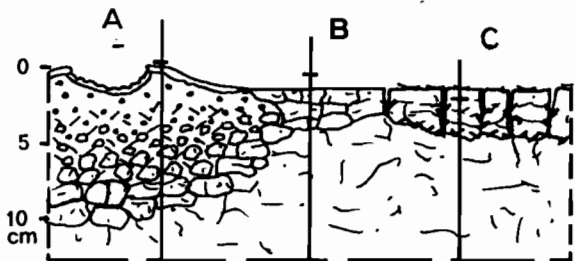


- Saison sèche 1982/1983

A : Désagrégation de la croûte le long des fractures où la micro-agrégation est intense. Efflorescences salines en aiguilles vers -3 cm.

B.C.: Efflorescences salines en amas et aiguilles autour des agrégats.




07/06/83





A : Après un début d'intense érosion éolienne. Une forte averse provoque la formation d'une nouvelle croûte de battance protectrice sur les zones décapées.

B.C. : Pas d'évolution observée.

LEGENDE :

 Agrégats de 1 à 2 mm
 " de 2 à 5 mm
 " de 5 à 10 mm

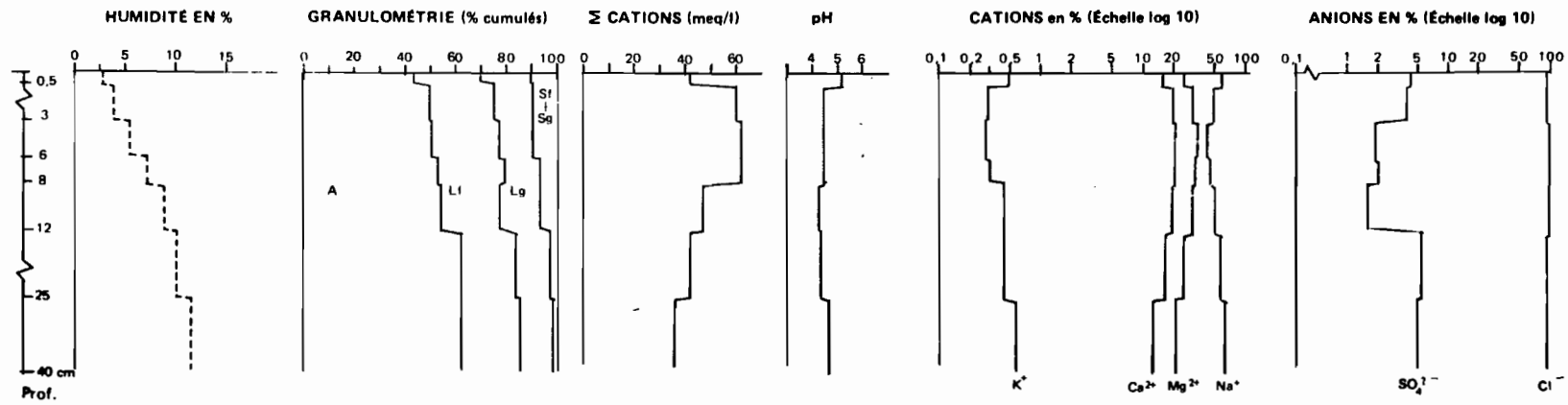
 Agrégats > à 10 mm
 Croûte de battance

 Pellicules
 Efflorescences salines

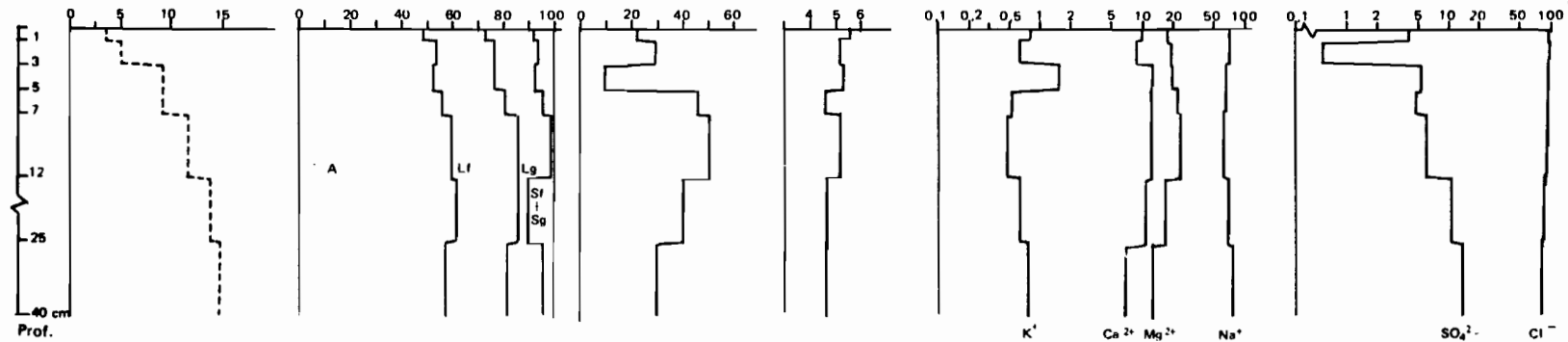
Fig 3 - Schéma d'évolution de l'état de surface du site NT 206. (En coupe)

NT 206 A STRUCTURE DE SURFACE MICRO-AGRÉGÉE A CROÛTE DE BATTANCE

EXTRAITS 1/10⁶



NT 206 B STRUCTURE DE SURFACE PRISMATIQUE



NT 207 STRUCTURE DE SURFACE EN PLAQUETTES

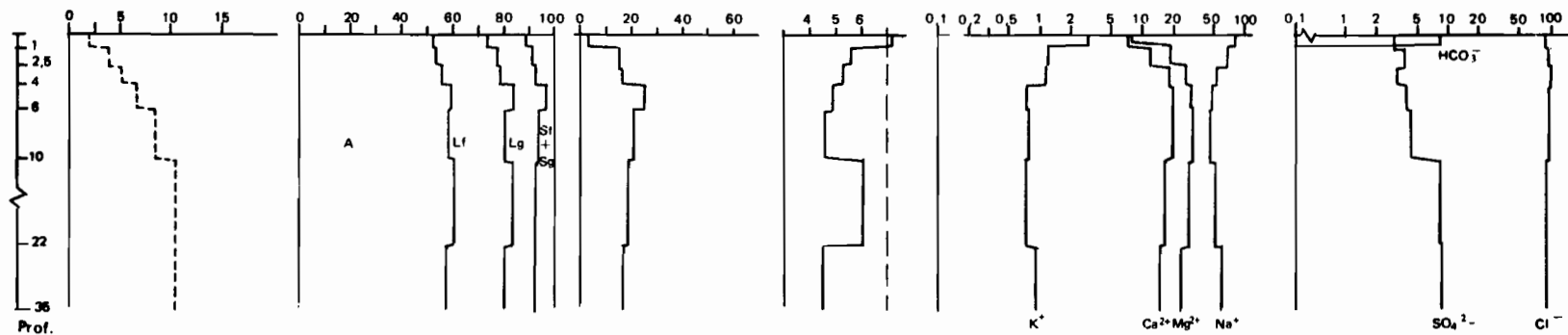


Fig. 4 - Résultats des analyses sur les horizons de surface des sites NT 206, NT 207, (— 07/10/82 ; - - - - 26/10/82)

6.1.2: Alternance métrique de zones à structure de surface micro-agrégée et à structure polyédrique anguleuse moyenne - Texture homogène limono-argileuse : SITE NT 35 -

Les zones à structure polyédrique anguleuse se présentent sous forme de taches allongées de 5 à 30 mètres de longueur sur quelques mètres de largeur, très souvent alignées avec parfois une petite dune à leur extrémité sous le vent dominant de saison sèche (Nord à Est). On y rencontre quelques *Balanites aegyptiacas* morts.

- Caractéristiques photographiques et types de surface associés

. Vues aériennes régulières anciennes (PLANCHE 3)

1960	Gris à Gris-foncé + taches gris-clair peu contrastées
1964	Gris à gris-foncé + nombreuses taches blanches nettes allongées de taille irrégulière (quelques mètres à quelques dizaines de mètres de longueur.)
1980	Gris-clair à Gris-verdâtre + nombreuses zones blanches de taille irrégulière, peu contrastées.

. Vues aériennes à faible altitude (PLANCHE 2)

Dates de prises de vues	Aspect en photographie aérienne	Aspect au sol (Fig. 5)
11/11/1982 (Couleurs)	- Brun très-clair à brun + Taches allongées alignées (quelques mètres à quelques dizaines de mètres) Gris-clair ou blanches à bords nets	- Croûte de battance brun-clair, discontinue, laissant apparaître la structure micro-agrégée sous-jacente (zones foncées) + Structure polyédrique anguleuse moyenne, battante en surface Forte compacité.
10/12/1982 (Couleurs) (PLANCHE 4)	- Alternances de zones brun très clair à brun-foncé, de formes très irrégulières (Aspect "pointillé") - Zones brun-foncé plus nombreuses + Taches : "idem" (entourées d'une zone brun-foncé)	- Les zones à structure micro-agrégée apparaissent plus largement. + "idem" : la micro-agrégation empiète sur la structure polyédrique.
07/06/1983 (Couleurs)	- Brun-foncé à brun-grisâtre + Taches : "idem" (certaines ont diminué de taille).	- Nouvelle croûte de battance généralisée très fine, brune. - La micro-agrégation s'accroît : des taches s'amenuisent.



MISSION IGN A.O. 1960 à
1/15 000°

- (1) Gris à taches gris-clair peu contrastées.
- (2) Blanc et quelques taches fines grises - Quelques zones couvertes de végétation.



MISSION IGN A.O. 1964 à
1/25 000°

- (1) Des taches blanches se différencient nettement de la couleur grise du fond
- (2) Zone très foncée irrégulière entourée de blanc.



MISSION TELEDYNE 1980 à
1/50 000°

- (1) Aspect "hétérogène". zone claire prédominante sur le site. Les taches ne sont pas visibles à cette échelle.
- (2) Zone claire à taches très diffuses.

1 : SITE NT 35

2 : SITE NT 37

PLANCHE 3 : Extraits de photographies aériennes régulières -
Secteur de NTHIAGAR-RONQ : SITES:NT 35 : NT 37



- A : Taches claires : structure de surface polyédrique anguleuse, battante.
- B : Zones sombres : Structure micro-agrégée.
- C : Zones claires : Croûte de battance sur structure micro-agrégée.
- D : Traces de piétinement par le bétail.

PLANCHE 4 - Photographie aérienne à faible altitude (10/12/1983 -
Echelle 1/1 000^e) - Secteur de NTHIAGAR-RONQ - Site NT 35.

L'apparition de la structure micro-agrégée, après destruction partielle de la croûte de battance se suit bien en photographie aérienne (zones foncées). Il est à noter le rôle du piétinement du bétail sur l'accentuation de la dégradation de cette croûte et des zones claires à structure de surface polyédrique anguleuse moyenne, battante et à forte compacité. La formation d'une nouvelle croûte se détecte mal sur les clichés : la ségrégation des matériaux (sable clair en surface) n'a pu se faire de façon suffisamment précise.

Sur les vues aériennes anciennes, les structures ne se différencient nettement qu'à partir de 1965 (PLANCHE 3). Les alignements de zones claires deviennent moins nombreux et s'amenuisent avec le temps. L'interprétation des zones de couleur foncée est plus délicate. L'ensemble des observations actuelles permet cependant de penser que les structures étaient peu différentes d'aujourd'hui.

- Evolutions observées au sol (SITE NT 35 Avril 1982 - Juin 1983) - Fig. 5

Dans cet exemple, la croûte de battance formée au cours de l'hivernage 1982 disparaît en 4 à 5 mois (état similaire à celui observé au milieu de la saison sèche 1981/1982) sous l'effet de l'érosion éolienne sur sa face supérieure, et de l'accentuation de la micro-agrégation à sa base. Le témoin "B" indique une progression (5 à 20 cm selon les endroits) de la surface à structure micro-agrégée vers les zones à structure polyédrique anguleuse à forte compacité dont la surface couverte, ainsi s'amenuise. Contrairement au site précédent, la destruction rapide de la croûte de battance a permis une érosion éolienne spectaculaire (1 à 2 cm d'après les témoins, en moins de quatre mois), avant la mise en place de la nouvelle croûte au milieu de la saison sèche.

- Premiers résultats analytiques (SITE NT 35 - 07/10/1982) : Fig. 6 - Interprétation

Les différences structurales correspondent ici à de nettes différenciations de teneur et de qualité des sels (à texture équivalente, limono-argileuse).

Structure de surface micro-agrégée

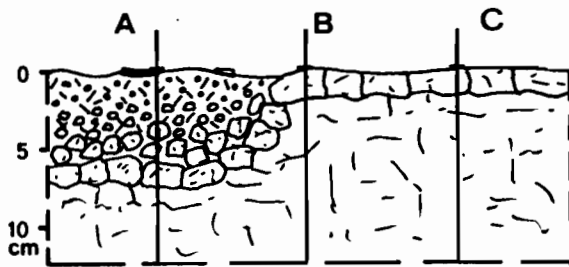
La charge en sels totaux est élevée avec un maximum à moyenne profondeur. La courbe de variation de Ca^{++} et Mg^{++} suit à peu près celle des sels totaux (10 et 31 % au maximum). Ainsi, la croûte de battance légèrement moins salée, est plus riche en sodium que les horizons sous-jacents.

- L'ion sulfate reste à peu près constant autour de 2,5 % des anions. HCO_3^- croît avec la profondeur où apparaissent des nodules calci-magnésiens (en liaison avec la proximité d'une cuvette. B. MOUGENOT 1982). Le pH ne dépasse pas 7,2. Les chlorures dominent toujours largement.

Structure de surface polyédrique anguleuse

- Le sol possède une charge en sels faible à très faible (1 à 15 méq/l contre 30 à 75 méq/l précédemment) et une répartition ionique complexe. En surface, on rencontre, parmi les cations, dans un ordre croissant, Na^+ , Ca^{++} et Mg^{++} , ce qui est très inhabituel dans le contexte du secteur. Les chlorures sont seuls sur 0,5 cm, puis HCO_3^- et SO_4^{--} présentent un maximum.
- Les proportions en cations s'inversent de 3 à 11 cm (Ca , Mg , Na - horizon dessalé), HCO_3^- atteint alors près de 40 % des anions. Les sulfates disparaissent.
- En profondeur, on constate de nouveau des proportions cationiques identiques à celles de surface, avec Ca^{++} et Mg^{++} moins prédominants. Les chlorures atteignent 100 % .
Le potassium varie de façon inverse avec la teneur en sels solubles totaux.

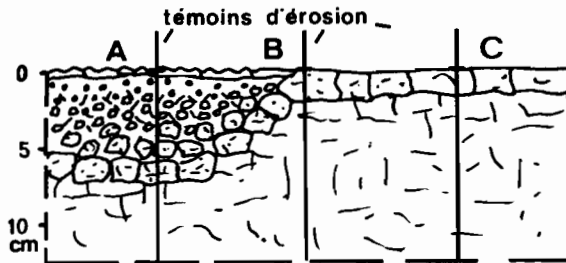
01/04/82



- Saison sèche 1981/1982

- A : Lambeaux de pellicules et de croûte de battance sur structure poudreuse fine, plus grossière vers le bas.
- BC : Surface battante sur structure polyédrique anguleuse, compacte - fine couche de sables fins en surface.

07/10/82



- Fin de saison des pluies 1982

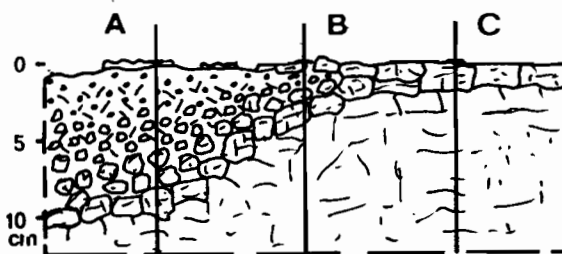
- A : Formation d'une croûte de battance "micro-bosselée", continue. Fine Croûte saline en surface.
- BC : Aspect inchangé.

26/10/82



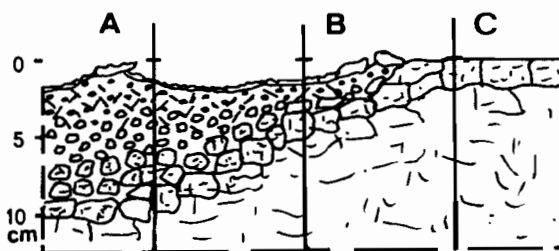
13/01/83

- Saison sèche 1982/1983



- A : La croûte s'amincit vers le bas. La micro-agrégation progresse vers la profondeur, s'insinue sous la zone B et le long des fractures de la croûte où la déflation éolienne débute.
- BC : Dégradation de la structure au contact A/B : micro-agrégation - piétinement du bétail.

07/06/83

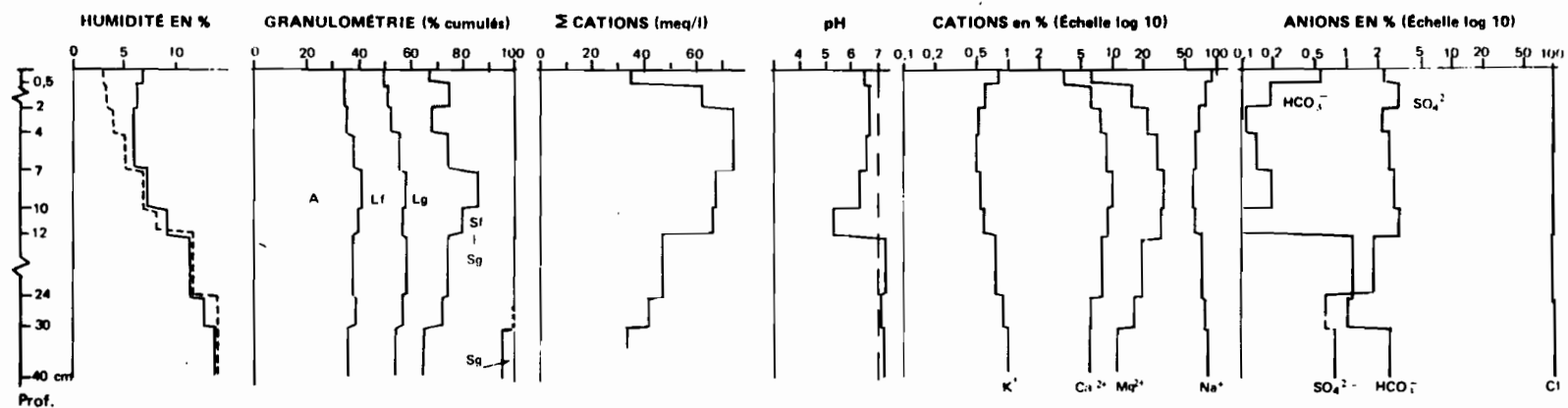


- AB : quelques lambeaux de croûte subsistent. La déflation éolienne atteint 2 cm. Une forte averse de saison sèche provoque la formation d'une nouvelle croûte de battance très fine. L'érosion éolienne est stoppée.
- B : La zone A progresse encore vers la zone C inchangée.

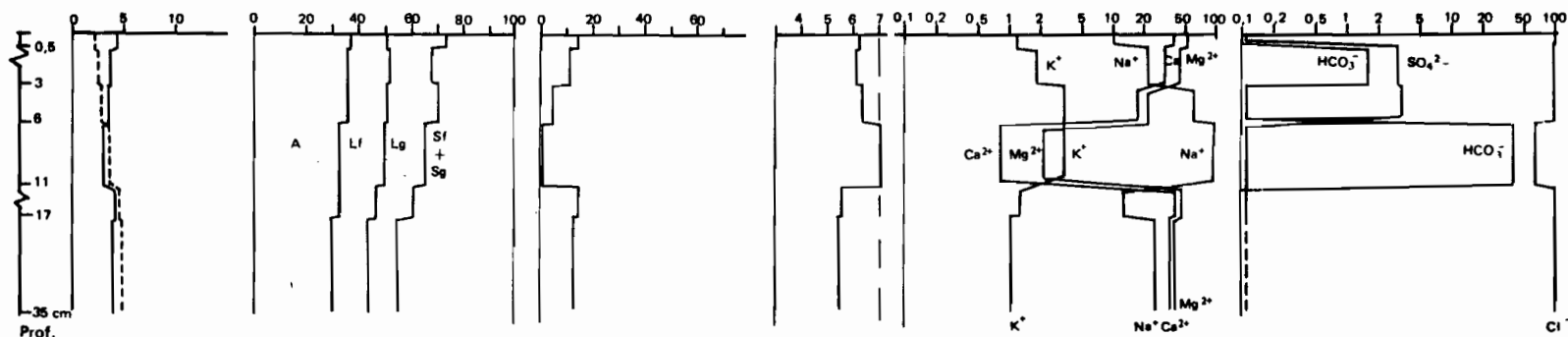
Fig 5 - Schéma d'évolution de l'état de surface du site NT 35. (En coupe)

NT 35 A STRUCTURE DE SURFACE MICRO-AGRÉGÉE A CROÛTE DE BATTANCE

EXTRAITS 1/10^e



NT 35 B STRUCTURE DE SURFACE POLYÉDRIQUE ANGULEUSE, BATTANTE



NT 250 STRUCTURE DE SURFACE MICRO-AGRÉGÉE A CROÛTE DE BATTANCE

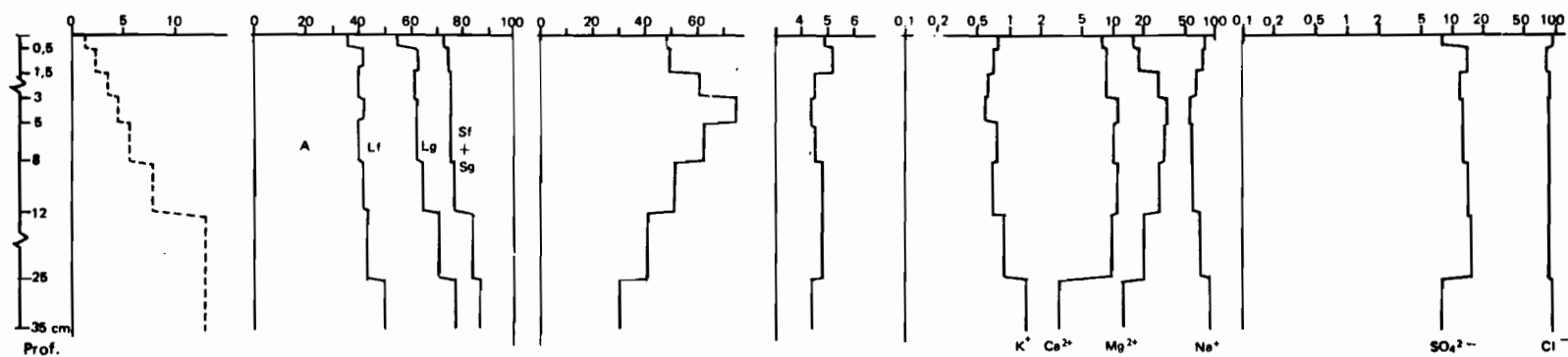


Fig. 6 - Résultats des analyses sur les horizons de surface des sites NT 35, NT 250 (— 07/10/82 ; - - - 28/10/82)

Les profils hydriques décroissants dans les deux cas montrent que la dernière pluie a réhumecté légèrement la zone à structure micro-agrégée malgré la croûte de battance avec un dessèchement net après 20 jours. Par contre, au niveau des taches à structure polyédrique anguleuse battante, non seulement la pluie a peu pénétré, mais l'humidité en profondeur ne dépasse pas 5 % contre 16 % précédemment. Des expériences d'infiltration ont montré que la porosité de surface très faible au niveau des taches, s'obstrue rapidement dès que se dépose un film d'eau. La progression du front d'humectation est très lente. Par contre les zones à structure micro-agrégée absorbent rapidement les excès d'eau.

- La dynamique des sels est facilitée dans ce milieu par la mobilité de l'eau, à l'inverse des zones peu perméables qui acquièrent dans leur état une grande stabilité, sauf au niveau des zones de transition. Des simulations pourraient tenter d'expliquer ces évolutions différentes. Ces zones à structure non micro-agrégée, compacte, tendent ici à disparaître. On rencontre cependant de vastes domaines semblables où ni l'érosion hydrique, ni éolienne n'ont beaucoup d'emprise. Le stock d'eau peu élevé, le glaçage et la compacité de la surface compromettent la reprise des graines (espèces ligneuse et herbacée).

6.1.3. Alternance métrique à décimétrique de zones à structure de surface micro-agrégée et à structure polyédrique anguleuse moyenne ou litée et localement micro-agrégée - Texture limono-argileuse : SITE NT 250 - Texture limono-sableuse : SITE NT 293 -

Les deux sites NT 250 et NT 293, peu éloignés l'un de l'autre (10 m) possèdent des caractères de surface très tranchés. Le site NT 250 à structure de surface micro-agrégée, est recouvert plus ou moins complètement selon les saisons, de pellicules ou de croûte de battance. Il est représentatif d'un vaste ensemble à texture limono-argileuse.

Des bandes allongées parallèles de quelques mètres à quelques dizaines de mètres de large, traversent le domaine précédent. De texture nettement plus sableuse (limono-sableuse), l'horizon de surface possède alors une structure polyédrique anguleuse moyenne ou litée et localement micro-agrégée (SITE NT 293).

- Caractéristiques photographiques et types de surface associés

- . Vues aériennes régulières anciennes (PLANCHE 5)

1960	NT 250	Gris + taches gris-clair et gris-foncé
	NT 293	Blanc + quelques traînées gris-clair
1964	NT 250	Idem
	NT 293	Idem
1980	NT 250	Gris-verdâtre
	NT 293	Beige-clair et fines taches blanches peu nettes



MISSION IGN A.O. 1960 à
1/15 000°

La zone grise tachée (1)
contraste assez nettement
avec la zone claire (2).



MISSION IGN A.O. 1964 à
1/25 000°

Malgré la saison des pluies
la différenciation entre (1)
et (2) est conservée.



MISSION TELEDYNE 1980 à
1/5 000°

L'aspect en photographie aérienne n'est
toujours pas modifié.

Zone sombre(1) : structure de surface
micro-agrégée(?).

Zone claire(2) : structure de surface
polyédrique anguleuse ou litée (?).

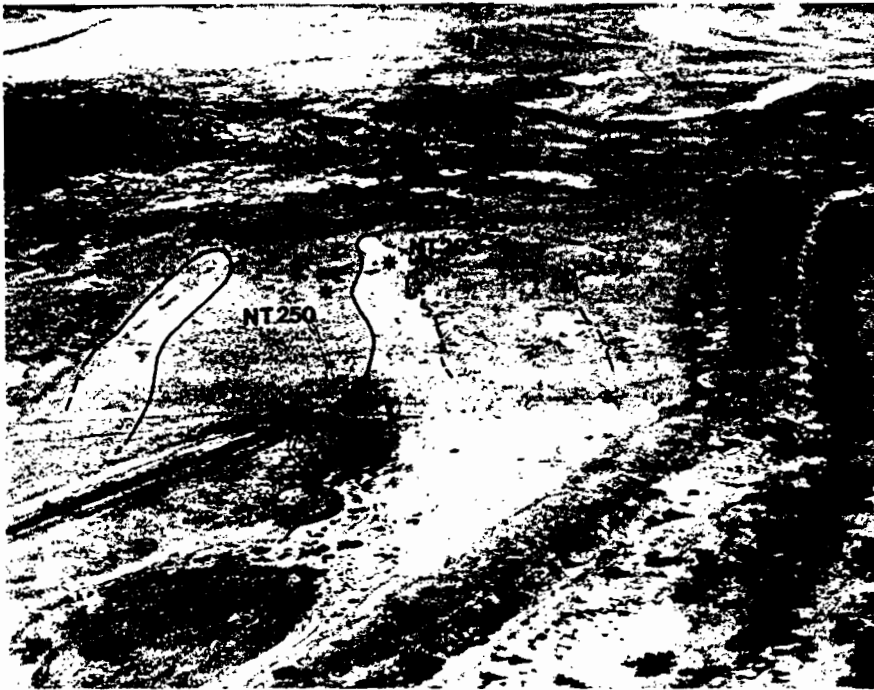
1 : SITE NT 250

2 : SITE N T 293

PLANCHE 5 : Extraits de photographies aérienne régulières - Secteur de
NTHIAGAR-RONQ : Sites : NT 250(1) - NT 293(2).

. Vues aériennes à faible altitude (PLANCHE 6)

Dates de prises de vues	Site	Aspect en photographie aérienne	Aspect au sol (Fig. 7 et 9)
11/11/1982 (Couleurs)	NT 250	- Brun	- Croûte de battance brune à brun-rougeâtre continue sur structure micro-agrégée.
		+ Taches de quelques mètres de forme irrégulière plus claires et plus foncées.	+ Variation de l'aspect de la croûte de battance et présence de quelques zones basses à pellicule argileuse de décantation brun-rouge.
	NT 293	- Beige-clair à peu près uniforme	- Structure polyédrique anguleuse à <u>litée</u> - texture sableuse
10/12/1982 (Couleurs) (PLANCHE 6)	NT 250 NT 293	- Pas d'évolution observée	- Idem + débuts de dégradation de la croûte le long des fissures (NT 250).
07/06/1983 (Couleurs)	NT 250	- Brun-rougeâtre à gris-brun clair.	- Croûte de battance de nouveau continue - Saupoudrage éolien d'une fine pellicule rosée conservée irrégulièrement
	NT 293	- Beige à beige-clair	- Structure polyédrique anguleuse à litée
		+ Taches de quelques mètres allongées brun-rougeâtre à brun-clair.	+(A)structure micro-agrégée.



Site NT 293 : Zone claire.
Structure de surface polyédrique
anguleuse à litée (zones très
claires).

Site NT 250 : Zone sombre. croûte de
battance brun-rougeâtre fissurée
sur structure micro-agrégée.

PLANCHE 6 : Photographie aérienne (en oblique) à faible altitude (10/12/1982 -
Echelle \sim 1/1 000^o) - Secteur de NTHIAGAR-RONQ - Sites : NT 250 - NT 293.

C'est la couleur de la croûte de battance qui confère aux vues aériennes (de 1982/1983) une teinte foncée, alors qu'une telle surface glacée tendrait normalement à bien réfléchir les rayons lumineux (cf. SITES NT 206 - NT 207). La photographie aérienne confirme le peu d'évolution observée à la surface du sol sauf en fin de période sur le site NT 293 (apparition de structure micro-agrégée en taches). Les vues aériennes anciennes semblent confirmer également que le type et la localisation des structures de surface sont identiques à celles observées à l'heure actuelle ; sauf en ce qui concerne la persistance ou non d'une croûte de battance.

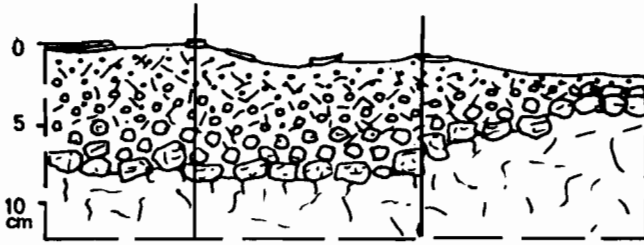
- Evolutions observées au sol (Avril 1982 - Juin 1983) : Fig. 7-

. Site NT 250 : Structure de surface micro-agrégée, à croûte de battance (Fig.7)

La structure micro-agrégée avait été presque entièrement mise à nu en Avril 1982. La formation d'une épaisse croûte de battance (micro-agrégats soudés sous l'effet

01/04/82 (date d'observation)

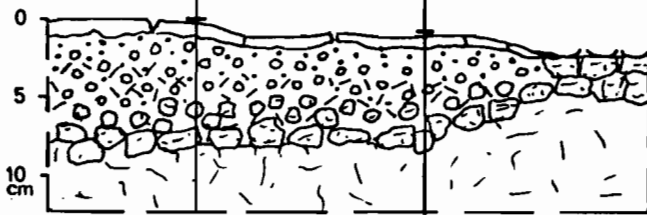
- Saison sèche 1981/1982



- Lambeaux de pellicules et croûtes de battance sur structure micro-agrégée + éolisée, grossière vers le bas.
- Efflorescences salines en aiguilles juste sous la surface.

07/10/82

témoins d'érosion

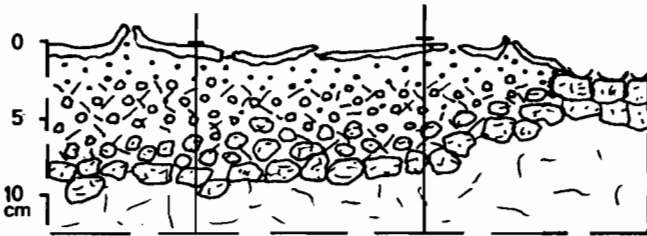


- Saison des pluies 1982

- . Formation d'une croûte de battance épaisse sur une structure micro-agrégée devenue plus grossière. Léger effondrement (/ Témoins).
- . Efflorescences vers 4 à 5 cm.
- . Décapage de la couche micro-agrégée localement : pellicules argileuses se desquamant.

26/10/82

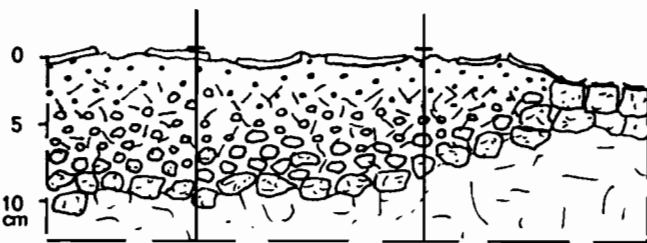
- Saison sèche 1982/1983



- . La croûte s'amincit, se fracture et se soulève le long de rides irrégulières.
- . Accentuation de la micro-agrégation
- . Efflorescence nettes vers 3 cm.

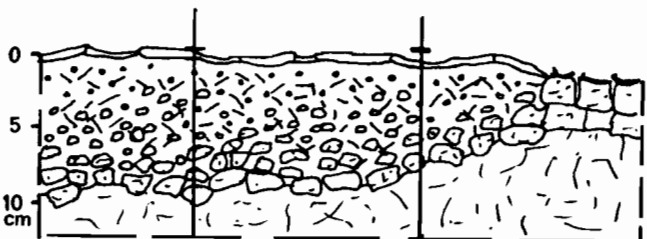
10/12/82

13/01/83



- . Les bords soulevés des fractures se disloquent en petites plaquettes et micro-agrégats.
- . Début d'érosion éolienne
- . La surface reste couverte à 90 % par la croûte de battance.

07/06/83



- . Une forte averse de saison sèche (1983) provoque la formation d'une nouvelle croûte de battance sur les zones micro-agrégées.
- . Disparition de l'érosion éolienne.
- . Efflorescences vers 2 cm.

Fig 7 - Schéma d'évolution de l'état de surface du site NT 250. (En coupe)

des pluies : Fig. 8), lors de l'hivernage 1982 a empêché la déflation éolienne d'attaquer la structure micro-agrégée sous-jacente très sensible à ce phénomène, malgré une dégradation progressive de cette croûte sous l'effet des sels. une averse de saison sèche (mm environ le 1982) a contribué à renforcer cette protection efficace. Les témoins indiquent un léger affaissement de l'horizon supérieur lors de la formation de la croûte de battance.

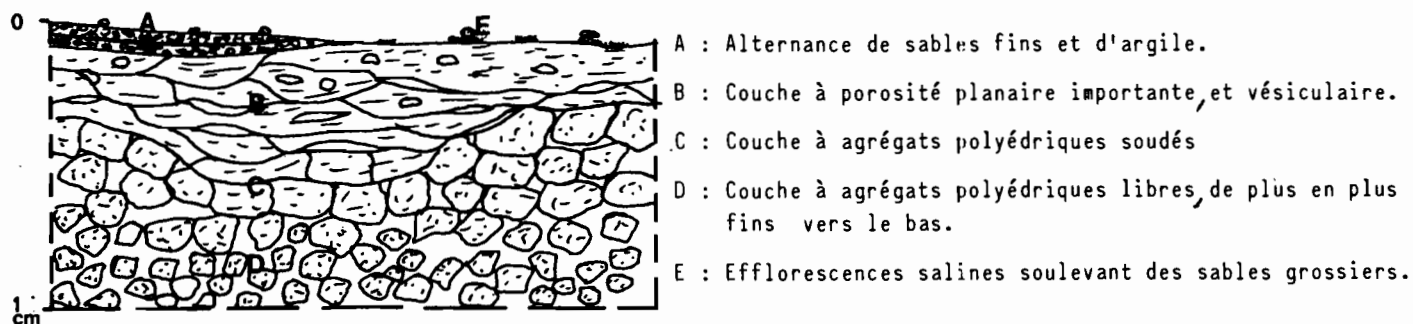


Fig 8_Site NT250. Détail de la croûte de battance. (7/10/82)

- Premiers résultats analytiques (Site NT 250 - 07/10/1982) Fig. 6 -

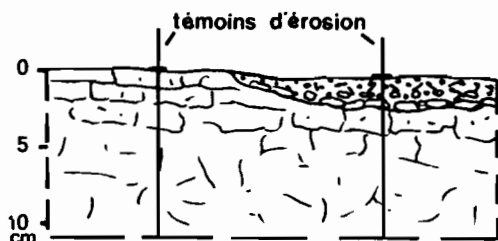
Nous n'avons effectué des analyses que sur le site NT 250.

On note un maximum de la charge en sels solubles à moyenne profondeur entre 3 et 5 cm, corrélé partiellement à celui de Ca^{++} et Mg^{++} sur l'extrait 1/10 sans grandes variations de granulométrie sauf en profondeur. Ce maximum semble correspondre à la présence d'efflorescences salines en fines aiguilles en dessous de 3 cm de profondeur. On remarquera que la proportion de Ca^{++} dépasse au maximum à peine 10 % des cations. La structure micro-agrégée semble liée à une augmentation de la teneur en sodium, avec un maximum au niveau de la croûte de battance formée à partir de ces micro-agrégats au cours de la saison des pluies. Cette teneur augmente également en profondeur. Comme précédemment, le potassium varie de façon inverse de la teneur en sels solubles totaux. Les sels dominants sont les chlorures avec une proportion de sulfate élevée pour le secteur (jusqu'à 15 % entre 0,5 et 15 cm de profondeur.)

- Evolutions observées au sol (Avril 1982 - Juin 1983) : Fig. 9

. Site NT 293 : Structure de surface polyédrique anguleuse moyenne ou litée - Localement micro-agrégée - Fig. 9.

01/04/82

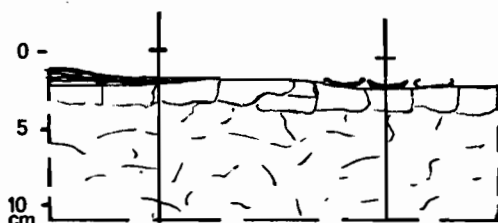


- Saison sèche 1981|1982

- . Alternance de structures litées et micro-agrégées, érodées en surface.

07/10/82 →

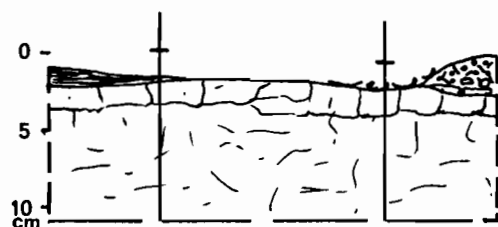
13/01/83



- Saison des pluies 1982 - Début de saison sèche 1982|1983.

- . Disparition de 1,5 à 2 cm de la couche superficielle dont la zone micro-agrégée.
- . Accumulation de sables fins lités ou de pellicules argileuses dans les micro-dépressions.

07/06/83



- Saison sèche 1982|1983

- . Légère érosion éolienne (stries...)
- . Formation de structure micro-agrégée, localement.

Fig9_Schéma d'évolution de l'état de surface du site NT 293 . (En coupe)

Le site NT 293 semble placé sur un "couloir" d'érosion hydrique en nappe, que favorise sa texture grossière malgré une pente inférieure à 1 %. La dynamique verticale des sels contribue cependant à la formation assez rapide même en milieu de saison sèche de zones à structure de surface micro-agrégée épaisses. L'érosion éolienne n'a d'emprise que sur ces structures nouvellement formées.

- Remarques :

- On notera les deux types de structures micro-agrégées rencontrées :
 - Site 250 : structure permanente, gradient de taille des agrégats positif vers la profondeur
 - Site 293 : Structure plus fine mise en place rapidement avec passage beaucoup plus brutal à l'horizon non micro-agrégé sous-jacent.
- Mis à part les premiers centimètres du sol soumis à des variations saisonnières ou annuelles, les structures observées en surface et leur localisation ont peu évolué malgré la mise en place des aménagements et le climat actuel (les sites sont placés sur une zone haute). Il est difficile par contre d'estimer l'épaisseur de sol découpée par l'érosion depuis cette époque. La présence en surface de "taches d'hydromorphie" très colorées, rencontrées habituellement en profondeur, laisse supposer que celle-ci est très importante.
- La teneur en sodium de la croûte de battance atteint ici 75 % des cations. Sur le même type de structure, au niveau du site NT 206 (A), cette teneur était un peu moins élevée, de l'ordre de 60 % ; là aussi, la croûte a été en grande partie conservée. Par contre, l'érosion éolienne a pu décaper la croûte de battance observée sur le site NT 35 (A), le taux de sodium atteignant plus de 90 % des cations. Il est difficile d'estimer le taux de sodium échangeable à partir d'un extrait 1/10, solution très diluée où les réactions d'équilibres entre le sol et la solution, sont différentes de celles réalisées au moment de l'humectation et de la saturation éventuelle du sol par les pluies. On peut cependant estimer qu'il est dans tous les cas élevé. D'après SHARMA D.P. et AGRAWAL R.P. (1973), la résistance mécanique (expérimentalement) de la croûte augmenterait avec le ESP (Exchangeable Sodium Percentage), en même temps que la dispersion des limons et argiles. Ici, dans des conditions naturelles, la résistance de la croûte, à moyen terme (quelques mois) est différente : rôle de la micro-agrégation sous-jacente, comportement de la croûte aux impacts des particules soulevées par les vents... Nous avons remarqué qu'une fois commencée, la désagrégation de celle-ci s'accélère.

6.1.4. Structure de surface en plaquettes texture argileuse : SITE NT 207

Le site NT 207 est représentatif d'une vaste zone dépressionnaire de plusieurs dizaine d'hectares. La surface est plane avec des fentes de dessiccations inférieures à un centimètre de large, délimitant grossièrement des plaquettes polygonales de trois à quinze centimètres sur un à trois centimètres d'épaisseur.

- Caractéristiques photographiques et type de surface associé

. Vues aériennes régulières anciennes (PLANCHE 1)

Dates de prises de vues	Aspect en photographie aérienne
1960	Gris à gris-clair
1964	Alternance de traînées gris-foncé à gris-clair
1980	Blanc + quelques traînées gris vert pâle

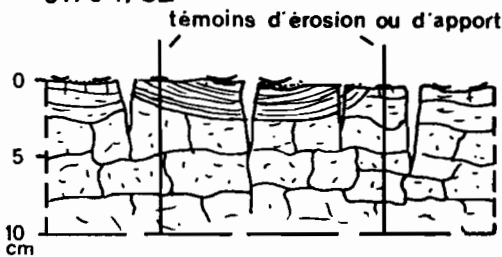
. Vues aériennes à faible altitude (PLANCHE 2)

Dates de prises devues	Aspect en photographie aérienne	Aspect au sol
11/11/1982 (N et B)	- Gris-clair (+ Taches et traînées plus foncées).	- Pellicule argileuse de décantation brune en voie de desquamation sur structure en plaquettes . - Placage irrégulier de sables fins. - Fentes de dessiccation
10/12/1982 (Couleurs) (PLANCHE 2)	- Gris brun clair (+ quelques taches peu contrastées)	- Lambeaux de pellicules argileuse
07/06/1983 (Couleurs)	- Gris brun clair quasiment uniforme	- Stries dues à la déflation éolienne

Les photographies anciennes sont difficilement interprétables. L'aspect depuis 1980 n'a pas changé et les teintes claires dominant toujours, témoins d'une surface qui absorbe peu les rayons lumineux. Ici, c'est la faible rugosité de la surface qui semble l'emporter sur la couleur de surface brune à brun très clair (placages très fins, sableux) du moins quand la pellicule argileuse de décantation couvre encore une grande partie de la surface.

- Evolutions observées au sol (SITE NT 207 - Avril 1982 - Juin 1983) : Fig. 10

01/04/82

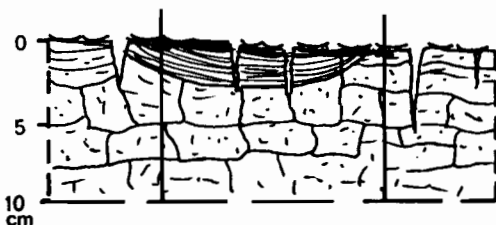


- Saison sèche 1981/1982

- . Structure en plaquette ou litée.
- . Débris de pellicule argileuse
- . Surface striée par l'érosion éolienne.

07/10/82 →

07/06/83



- Saison des pluies 1982

Saison sèche 82/83

- . Formation d'une pellicule argileuse de décantation
- . Léger apport dans la zone des témoins.
- . Dégradation de la pellicule.

Fig10_Schéma d'évolution de l'état de surface du site NT 207. (En coupe)

Mis à part une légère différence de répartition des matériaux comme l'indiquent les témoins (apports de quelques millimètres - pellicule argileuse de décantation rapidement dégradée par la suite), l'état de la surface de ce site n'a pas changé entre les saisons sèches 1981/1982 et 1982/1983. Sous les plaquettes, le sol est très compact. La porosité de surface est de type vésiculaire puis planaire (Fig. 11), tendant ainsi à diminuer l'infiltration une fois les fentes de dessiccation refermées, et à augmenter le ruissellement ou la stagnation des eaux de pluies. Des phénomènes de battance sont également enregistrés : ségrégation de matériaux (sables/argiles) traces d'impact de gouttes, structure "bulleuse" de dégazage...

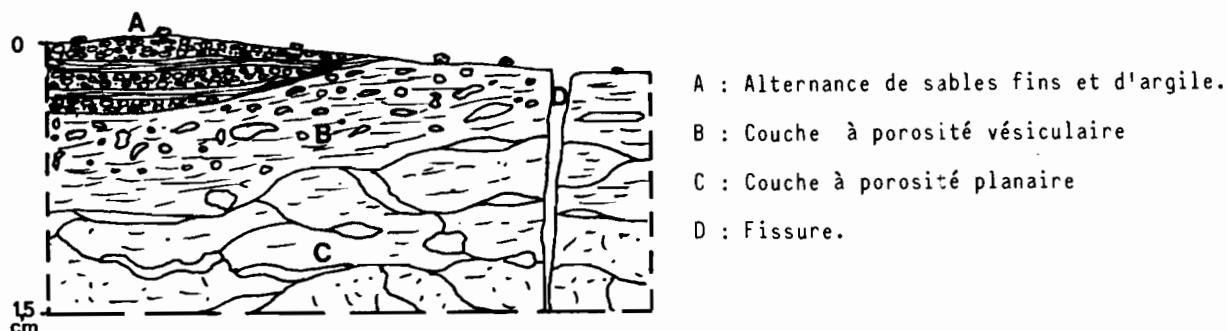


Fig11_Site NT 207. Détail de la surface . (7'10/82)

- Premiers résultats analytiques (SITE NT 207 - 07/10/1982) - Fig. 4 - Interprétations

La charge en sels solubles totaux n'est pas très élevée (20 meq/l de cations en moyenne sur l'extrait 1/10). Très faible en surface - (dessalement sur 1 cm), elle augmente à moyenne profondeur (présence de quelques efflorescences salines) et enregistre une légère baisse en profondeur. On observe corrélativement un maximum des cations Ca^{++} et Mg^{++} à moyenne profondeur (53 % des cations) et un minimum marqué vers la surface (15 % des cations). Le pH oscillant entre 4,5 et 6 en profondeur atteint alors 7,2, ce que confirme la présence d'anions HCO_3^- et CO_3^{--} . La concentration en ion sulfate croît vers la surface (3 à 9 % des anions). Les chlorures sont toujours largement majoritaires.

- Malgré une charge en sels solubles totaux pas très élevée et un maximum à moyenne profondeur peu marqué, la répartition anionique et cationique est proche de celle des exemples précédents (sauf pour NT 35). Ce sol à forte teneur en argile (~ 40 %) serait susceptible de piéger beaucoup plus de sels comme on l'observe à proximité dans des horizons de surface un peu plus argileux (Site NT 206). On pourra évoquer le dessalement occasionné par la stagnation des eaux et des remontées salines faibles depuis la profondeur au cours du dessèchement. Les liaisons capillaires avec

les nappes de profondeur salées sembleraient assez rapidement rompues. Les horizons à structure micro-agrégée ne se forment pas (salinité insuffisante ?).

6.1.5. Zone d'accumulation éolienne (NEBKAS) : SITE NT 37

Nous suivons une zone d'accumulation en bordure de cuvette sous forme de petites dunes (Nebkas), hautes de 50 à 80 cm plus ou moins espacées, fixées par des plantes Halophiles (*Atrocnemum glaucum* - *Salsola baryosma* ou des tamaris).

Les analyses effectuées sont en cours de dépouillement.

- Caractéristiques photographiques et types de surface associés :

. Vues aériennes régulières anciennes (PLANCHE 3)

Dates de prises de vues	Aspect en photographie aérienne
1960	Gris-clair + taches fines grises ou couvertes de végétation
1965	Gris-foncé, entouré de zones blanches
1980	Blanc à beige très clair + taches diffuses

. Vues aériennes à faible altitude (PLANCHE 7)

L'aspect en photographie aérienne n'a pas évolué après le premier vol du 11/11/1982 (PLANCHE 7).



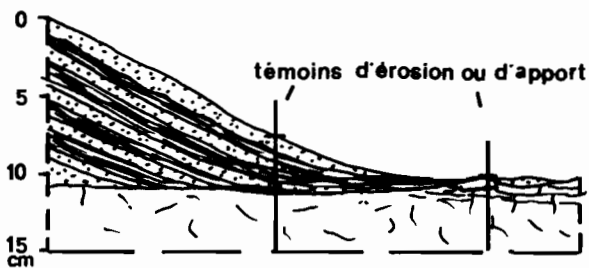
- A : Sol nu à surface battante brun-clair, durcie.
- B : Nebkas isolées sans plantes fixatrices, en voie de destruction.
- C : Nebkas isolées ou associées, actives, limitées par des zones d'épandage beige clair, glacées.
- D : Associations de nebkas de faible hauteur à la limite de la cuvette enherbée(E).

PLANCHE 7 : Photographie aérienne à faible altitude (11/11/1982) -
Echelle : 1/1 000^o) - Secteur de NTHIAGAR RONQ - SITE NT 37.

La teinte claire des nebkas et de leur zone d'épandage tranche nettement avec le sol environnant gris à gris-brun. Les photographies anciennes ne permettent pas de détecter ces formations de façon certaine. Au moins pour les clichés de 1980, l'échelle du 1/50 000°, trop petite, semble en être la cause. Des zones de végétation assez denses paraissent avoir disparu entre 1960 et 1980. Sur d'autres photographies de la mission de 1980, nous avons identifié des formations du même type, donnant une teinte gris-vert foncé, caractéristique des zones à structure de surface micro-agrégée. Des accumulations récentes et la végétation halophyte parfois denses paraissent en être à l'origine, alors que sur le site NT 37, les surfaces glacées, au cours de la saison sèche 1982/1983 étaient dominantes (couleurs claires).

- Evolutions observées au sol (Site NT 37 - Avril 1982 - Juin 1983) Fig. 12

01/04/82



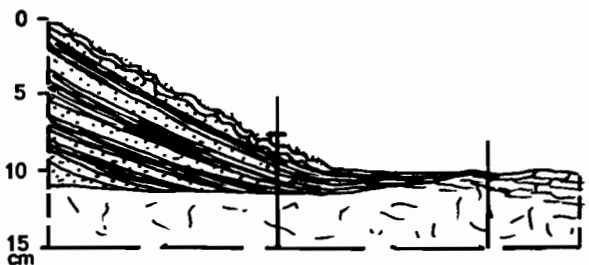
- Saison sèche 1981/1982

- . Alternance de couches à structure micro-agrégée et litée.
- . Accumulation de particules fines au cours de la saison sèche.

07/10/82 →

07/06/83

- Saison des pluies 1982 Saison sèche 1983



- . Formation d'une croûte de battance micro-ondulée.
- . La croûte s'amincit
- . Épandage de matériaux à la base par ruissellement.
- . Accumulation peu importante de particules fines dans les micro-dépressions.

Fig12_Schéma d'évolution de l'état de surface du site . NT 37 .(En coupe)

Les coupes transversales effectuées montrent des accumulations successives de micro-agrégats polyédriques anguleux (200 à 2000 μ : 10 à 15 % environ) et de particules (sous forme de micro-agrégats ou "monogranulaire") de taille inférieure ou égale à celle des sables fins (50 à 200 μ : 80 à 85% et $< 50 \mu$: 2 à 5 %), arrachés en grande partie aux structures de surface micro-agrégées des sols salés environnants (conductivité électrique d'extraits 1/10 effectués sur des apports récents de l'ordre de 6 à 7 mmhos/cm à 20°C ; de 4 mmhos/cm pour des apports riches en sables fins). Les particules les plus fines peuvent avoir une provenance plus lointaine - (On remarquera que les éléments de la taille des limons sont très peu fixés sauf inclus dans les micro-agrégats). Des débris végétaux s'y ajoutent ; le tout mélangé ou le plus souvent en couches distinctes (ségrégations en fonction de la taille, du poids et de la forme des éléments, et de la compétence du vent.

Les accumulations éoliennes sont d'une part, partiellement tassées sur place avec formation d'une croûte de battance légèrement dessalée (conductivité électrique de l'extrait 1/10 de 5,5 mmhos/cm à 20°C) par rapport à l'horizon à micro-agrégats sous-jacent (C.E. = 6,5 mmhos/cm à 20°C) et très marquée ici par l'impact des gouttes de pluies; d'autre part, étalées leur base par ruissellement. Ainsi, de telles zones peuvent se trouver surélevées de 20 à 50 centimètres par rapport au sol originel. Quand les plantes fixatrices disparaissent (déficit hydrique, sur salure, broutage...), ces petites dunes s'aplanissent progressivement, surtout par érosion hydrique.

Les grands arcs façonnés autour des cuvettes peu profondes s'amenuisent. Si la cuvette enherbée diminue également, une seconde zone de nebkas se met en place tandis que la première disparaît pour laisser la place à un sol nu. On rencontre également de vastes formations de nebkas qui ne sont pas liées à la présence d'une cuvette bien marquée.

6.2. Secteur de SAVOIGNE (Fig. 13)

. Site de M'BAROU BOF (M.B.) : Cuvette salée

Le site de M'BAROU BOF est représentatif des nombreuses cuvettes de décantation dans la partie médiane du delta, submergées une partie de l'année, et entourées de vétivers et de tamaris, la partie centrale étant généralement exempte de végétation. Ces formations sont typiques des dépressions interdunaires (cas du site M'BAROU BOF) - Fig. 13.

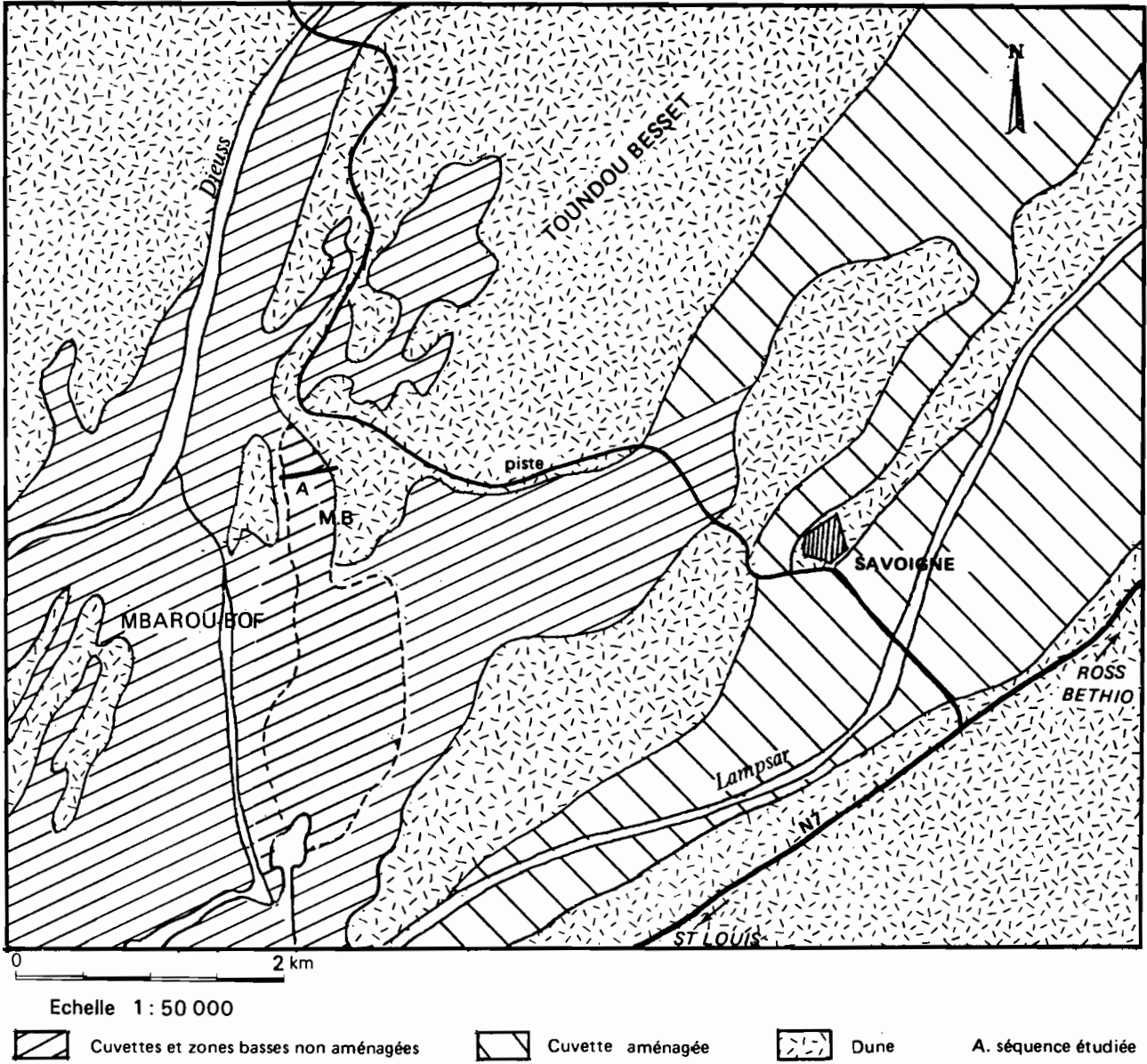


Fig. 13 Carte de situation - Secteur de SAVOIGNE (II)

Site MBAROU BOF (M.B)

Nous ne disposons pas de photographies aériennes régulières anciennes mis à part la mission de 1980. Les campagnes réalisées à faible altitude n'ont pas donné les résultats escomptés pour des raisons essentiellement techniques. Les analyses de laboratoire sont en cours de dépouillement. Nous présenterons l'évolution des états de surface observés entre le début de la saison sèche 1982/1983 (26/10/1982), la cuvette étant déjà pratiquement asséchée, et la fin de la saison (07/06/83) - Fig.14.

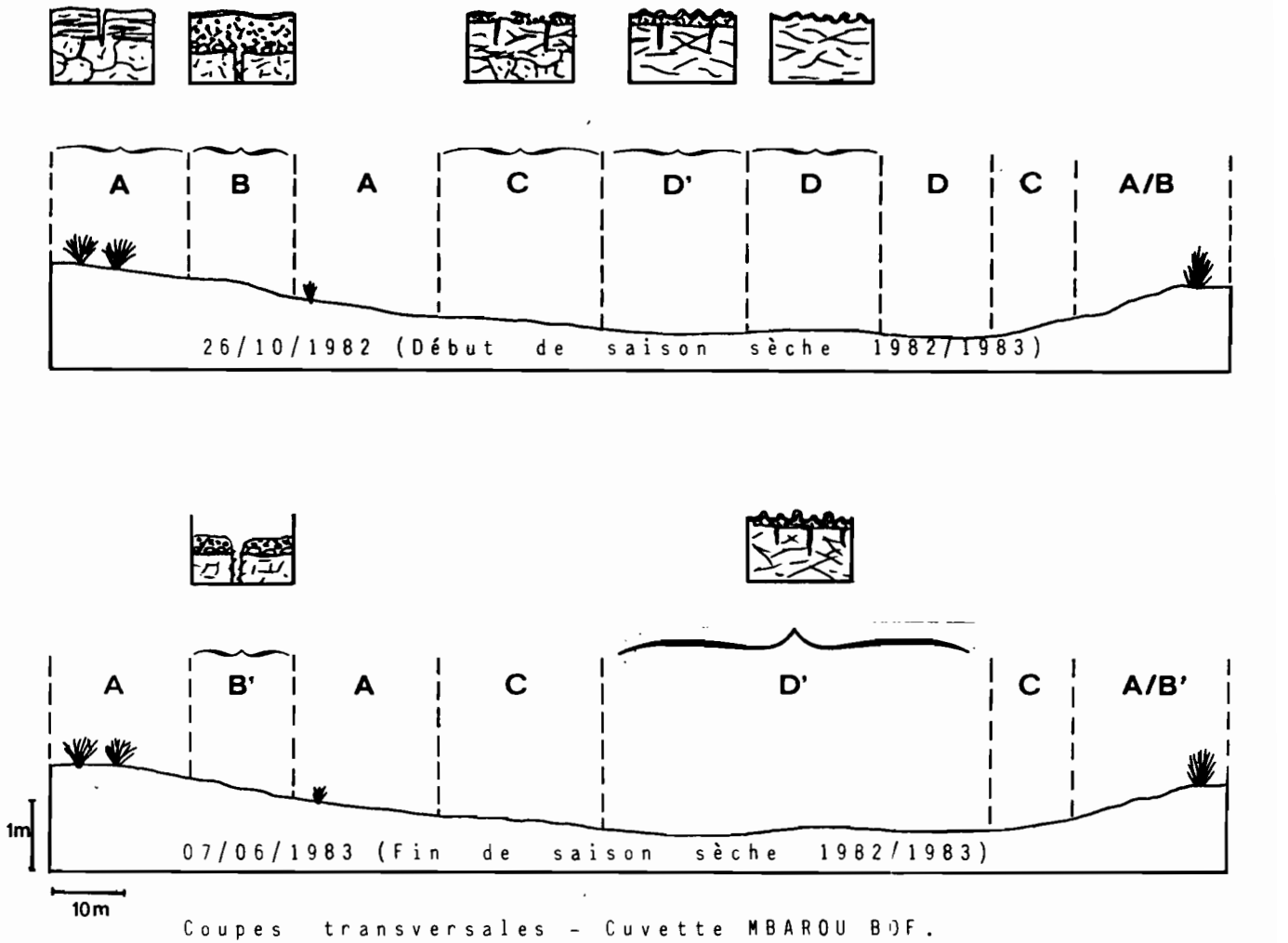
- Sur les bords de la cuvette, à la limite de la végétation des manifestations de salure apparaissent en plages discontinues : on observe une structure micro-agrégée très fine (B) en grande partie emportée par la déflation éolienne (B'). Présent en début de saison, ce type d'état de surface s'est peu étendu par la suite. Ailleurs, la structure en plaquettes litée domine, découpée par un réseau très dense de fissures (A) (texture argileuse).

- Sur le fond de la cuvette, une croûte saline continue, se forme, mélangée à des débris algaux et avec un micro-relief très important (D). Au cours du dessèchement, la cristallisation d'efflorescences salines sous la croûte provoque la formation d'une fine couche micro-agrégée (D') ; cet ensemble peut se dégrader au cours du temps (C). Sous cet ensemble, une forte porosité de type planaire se développe.

Les photographies aériennes régulières de 1980 permettent de distinguer des zones gris-bleu clair et gris-bleu foncé, pas très contrastées sous formes d'alignements suivant le grand axe de la cuvette ; ces différenciations semblent correspondre à des variations d'humidité de surface et d'état de la croûte saline (les zones foncées sont généralement plus humides. Les croûtes salines réfléchissent par contre beaucoup mieux la lumière.)

Les zones plus ou moins couvertes de vétivers et de tamaris apparaissent brun-jau-nâtre. Cette couleur en Infra-Rouge, indique une végétation en assez mauvais état à cette époque.

Des troupeaux parcourent ce type de cuvettes et il semble que depuis quelques années les effets néfastes de la salure en particulier sur la végétation s'accroissent. La faible pluviométrie ne provoque apparemment plus un dessalement suffisant pour compenser les remontées capillaires, de la nappe salée à proximité de la surface. Les effets de la salure sur la structure du sol ne sont importants qu'au niveau de la rupture de pente vers le bord de la cuvette.



LÉGENDE DES STRUCTURES DE SURFACE

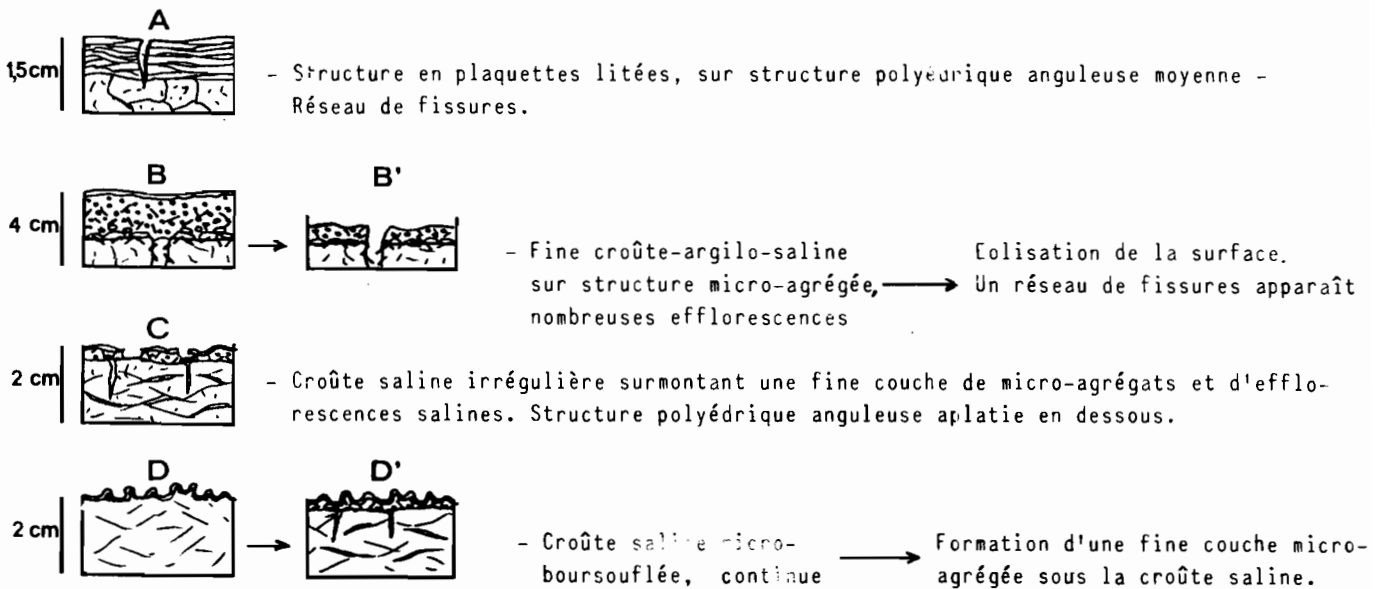


Fig 14 - Evolutions des structures de surface observées au début et en fin de saison sèche 1982_83. Site Mbarou bof. Secteur de SAVOIGNE.

6.3. Secteur de Saint-Louis : Fig. 15

Site de GANDIOLE 1 : Cuvette très salée

De formation récente, à proximité de l'embouchure du fleuve, ce type de cuvette hypersalée, sans végétation, a pu être suivi de façon précise à l'aide des vues aériennes à faible altitude. (Nous disposons également de la mission régulière de 1980). Nous avons fait ressortir l'évolution des principales formations, que complètent des observations de terrain concomitantes (Fig. 16). Les analyses de laboratoire sont en cours.

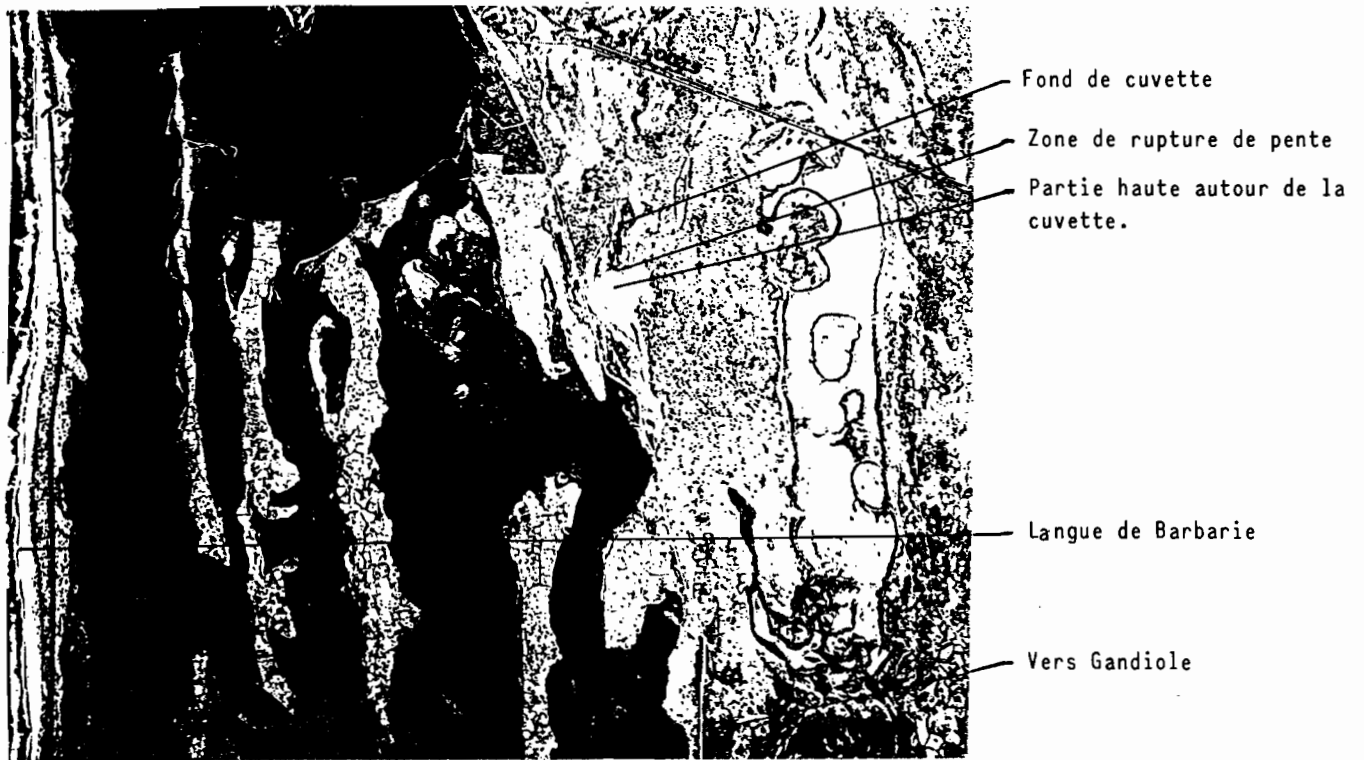


PLANCHE 8 : Extrait de photographie aérienne régulière. Mission TELEDYNE 1980 à 1/50 000° - Secteur de Saint-Louis - Site de GANDIOLE I.

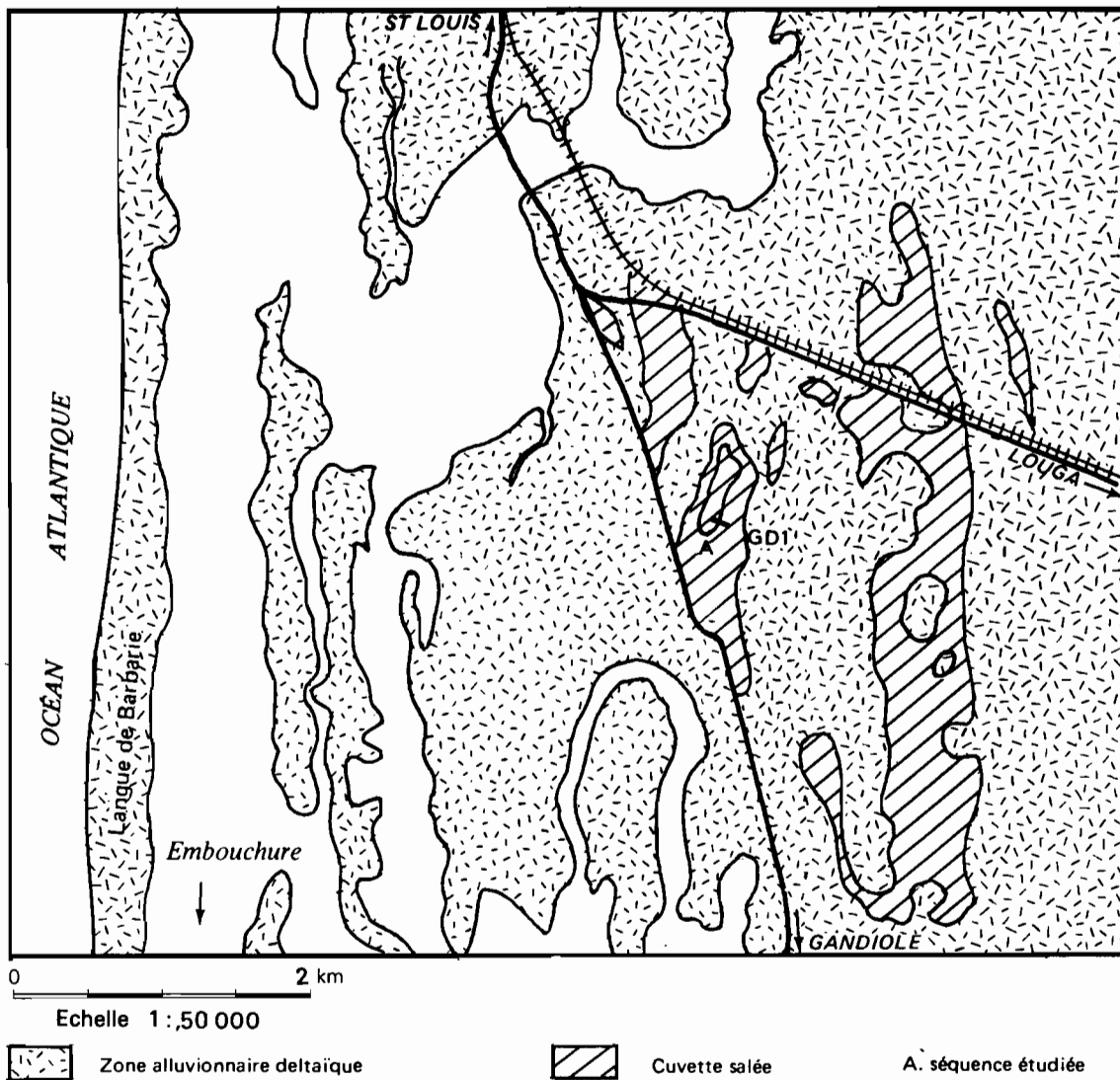


Fig.15 - Carte de situation Secteur de SAINT-LOUIS (III) - Site GANDIOLE 1 (GD1)

La cuvette, entourée de buttes sableuses à végétation arborée, présente morphologiquement 3 parties distinctes : Une partie haute cernant la dépression, pouvant former un vaste replat. Une zone étroite de bordure à pente assez forte et le fond pratiquement plat. (PLANCHE 8 - Fig. 16)

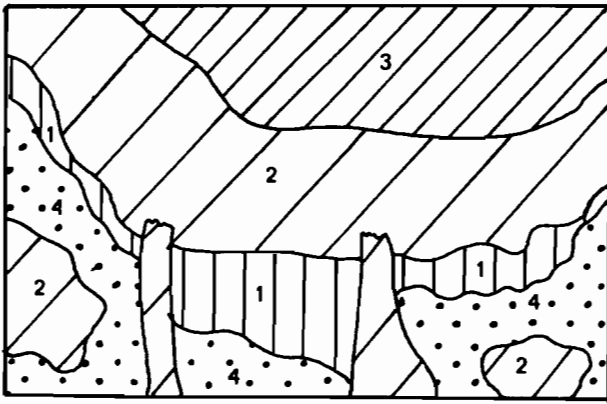
- Partie haute autour de la cuvette

Cette partie acquiert rapidement (fin 1982), une structure de surface micro-agrégée plus ou moins épaisse. La texture est localement très sableuse. La déflation éolienne décape les premiers millimètres supérieurs. Les couleurs enregistrées en début de saison du brun-clair au brun-jaunâtre plus ou moins foncé, s'uniformisent vers une teinte brune typique d'une structure micro-agrégée apparente en surface. En Janvier 1980, la couleur de surface était gris bleuté clair à très clair (PLANCHE 8).

- La zone de rupture de pente reste humide pendant la saison sèche (présence d'une nappe latérale, sels hygroscopiques...). A partir du haut et du fond de la cuvette, des plaques à structure micro-agrégée, apparaissent très rapidement, puis se rejoignent plus progressivement entaillant en doigts de gant, cette bande bien délimitée au départ. La progression plus lente que précédemment devient complète avant la fin de la saison sèche. La couleur brun foncé au sol, brun gris en photographie à faible altitude (et gris verdâtre en Janvier 1980 - (Infra-Rouge Fausse Couleur) se fond avec celle de la zone haute lors de la dernière observation.

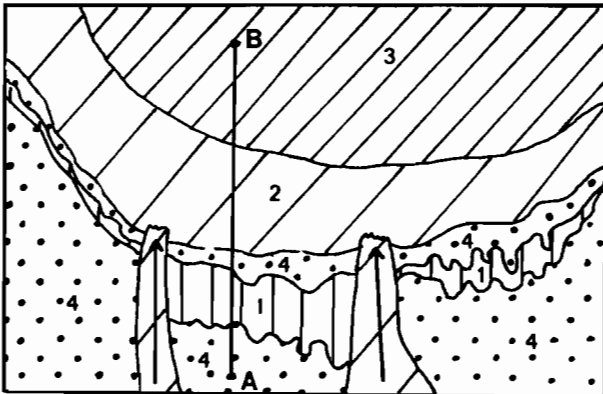
- Le fond de cuvette, plus argileux, comme en atteste la structure prismatique large, se couvre, à la fin de la submersion dès que le dessèchement commence, d'une fine croûte saline surmontant une couche micro-agrégée peu épaisse (1 cm au plus). Celle-ci épouse la forme des prismes dégagant les fissures, ou couvre le tout de façon continue. Cette structure de surface se dégrade à partir du centre de la cuvette. A faible altitude, les couleurs enregistrées, brun-gris-clair à beige-clair, s'éclaircissent progressivement jusqu'au beige clair à peu près uniforme. (Des axes d'écoulement préférentiel recoupent les différentes structures). On remarque en Janvier 1980, des taches irrégulières allongées suivant le grand axe de la cuvette, gris-bleuté à gris-verdâtre au centre (PLANCHE 8).

Au niveau de cette cuvette hypersalée, les structures de surface, évoluent de façon très rapide au départ : premières plaques micro-agrégées, croûte saline... puis progressent plus lentement par la suite au fur et à mesure que le dessèchement s'accroît et que la nappe baisse. Le foisonnement se fait dans l'ensemble de l'horizon de surface avec un passage plus brutal à la couche sous-jacente à structure large, souvent surmontée d'une croûte saline. Ceci est typique sur la zone de rupture de pente lors de la formation des premières taches micro-agrégées, mais moins net par la suite. On enregistre des phénomènes identiques au départ, sur le site M'BAROU BOF (Secteur de SAVOIGNE), en particulier la couronne à structure micro-agrégée classique autour des cuvettes, où s'expriment au maximum les influences des remontées salines; par la suite le processus est pratiquement stoppé (salure moins élevée, rupture des liens capillaires...).



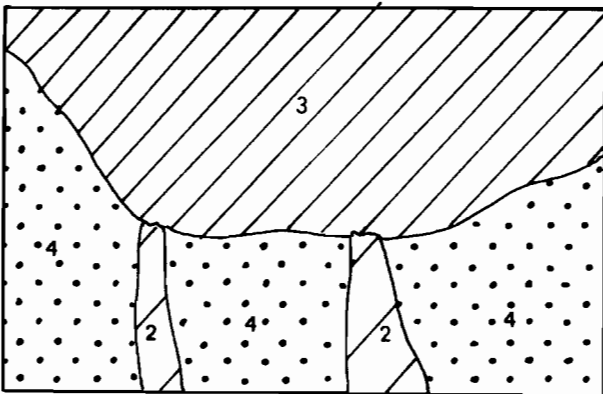
- 11/11/82 - Début de saison sèche 1982/1983

- . La zone de rupture de pente reste humide. (1)
- . Les structures micro-agrégées s'expriment bien sur les zones hautes mais de façon irrégulière. (2-4)
- . Fentes de dessiccation sur les parties basses - Croûte saline se désagrégant (2-3).



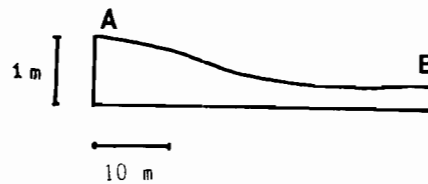
- 10/12/82 - Saison sèche 1982/1983

- . Les structures micro-agrégées progressent depuis le fond et le haut de la cuvette vers la zone intermédiaire et occupent toute la zone haute. (4)
- . Dans les parties basses, la croûte saline se désagrège de plus en plus autour de la zone centrale. (3)



- 07/06/83 - Fin de saison sèche 1982/1983

- . Les structures micro-agrégées plus ou moins épaisses occupent l'ensemble de la cuvette. Dans le centre, la structure prismatique est parfois mise à nu. (3 - 4)



- | | | | | |
|---|--|---|--|---|
| 1 | | = | | Croûte saline sur structure massive (humide). |
| 2 | | = | | - Croûte saline sur structure micro-agrégée peu épaisse en surface - prismatique en profondeur (+ efflorescence Salines) |
| 3 | | = | | - Croûte saline désagrégée sur structure micro-agrégée peu épaisse en surface, prismatique en profondeur (+ Efflorescences salines) |
| 4 | | = | | - Croûte saline irrégulière sur structure micro-agrégée épaisse (+ efflorescences salines). |
- 4 cm

Fig16 - Evolution des états de surface du site Gandiole 1 (secteur de S^t LOUIS) à partir de vues aériennes et d'observations ponctuelles.

PREMIERES CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

1 - L'utilisation des photographies aériennes

Cette méthode de suivi présente de nombreux avantages :

- répétitivité aisée des opérations
- accessibilité et rapidité des interventions
- possibilité de cartographie directe. Un suivi au sol est indispensable au moins dans un premier temps afin de réperer les variations locales. Un minimum d'expérience permet de suivre les principales formations :

Ex. : Structure micro-agrégée apparente en surface : teinte foncée à très foncée
Structure non micro-agrégée - phénomènes de battance : teinte claires à très claires en général.

On peut relever quelques inconvénients de la méthode :

- Les zones couvertes sont restreintes, l'altitude de vol étant peu élevée (100 à 300 m). Il pourrait être envisagé des vols à des altitudes plus élevées nécessitant soit une très bonne visibilité soit un matériel plus performant. Ils seraient de plus complémentaires des suivis satellites.
- Les photographies en obliques sont à éviter.

On notera également que les suivis doivent être relativement fréquents en particulier, en début de saison sèche, les structures de surface des zones très salées pouvant évoluer rapidement. Les contrôles sur le terrain sont indispensables.

Nous avons remarqué par exemple qu'une teinte foncée est en général le signe d'une structure de surface micro-agrée ; ce n'était pas le cas cependant sur le site NT 250 où on observait la présence d'une croûte de battance continue. Un "catalogue" des états de surface "type" valable pour un secteur déterminé serait à établir si une cartographie et un suivi de zones plus vastes étaient envisagés.

2 - Evolution générale des structures observées à la surface des sols nus ou très peu couverts :

Nous avons distingué les structures de surface se développant sur les zones de lévées en général et sur les cuvettes salées.

- Sur les premières les structures micro-agrégées de surface semblent s'être peu étendues au moins depuis 1980 et apparemment depuis 1960, d'après les seules photographies aériennes, sur les sites étudiés. Les surfaces non micro-agrégées (glacées, plus ou moins durcies), majoritaires parmi les sols nus du "Delta" tendent au contraire à se développer au détriment des pâturages naturels et des forêts. Elles régressent localement quand elles sont incluses dans des zones à structure de surface micro-agrégée (Site NT 35).

- Les évolutions enregistrées sur les cuvettes salées, submergées une partie de l'année, seraient plutôt de type cyclique : les zones micro-agrégées en surface peuvent se reconstituer en une seule saison ; précédemment, en dehors des phénomènes de battance, on ne constatait, la plupart du temps, que des variations de la taille des micro-agrégats et de la profondeur d'apparition d'efflorescences salines avec conservation des structures sous la surface, d'une année à l'autre.

3 - Les premiers résultats analytiques : (1er prélèvement : 07/10/1982)

Ils ne concernent que les zones de levées. Les horizons à structure micro-agrégée sont toujours beaucoup plus salés que les horizons non micro-agrégés. Pourtant, on observe presque toujours un maximum de la charge en sels solubles totaux à moyenne profondeur, avec fréquemment des efflorescences salines à ce niveau. Sauf dans un cas (horizons peu salés : site NT 35B), les cations, dans l'ordre croissant, sont toujours K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} et Na^+ . Le maximum $Ca^{++} + Mg^{++}$ (35 à 55 % des cations) est souvent très légèrement décalé par rapport au maximum précédent et situé un peu en dessous de la zone la plus finement micro-agrégée. Le rapport Ca^{++}/Mg^{++} est en général plus faible dans les niveaux micro-agrégés que ceux non micro-agrégés. Les sels de sodium (chlorures essentiellement) dominent largement en surface et souvent de façon moins marquée, en profondeur.

4 - La dynamique des sels et les effets du climat sur l'évolution des structures de surface

- Levées : Structure de surface micro-agrégée

Les premiers centimètres du sol subissent les effets mécaniques des pluies : affaissement, croûte de battance, pellicules, décapage par ruissellement...

- . Dans certains cas, la croûte est conservée malgré l'accentuation de la micro-agrégation, au cours des premiers mois de saison sèche, sous l'effet de la cristallisation des sels à proximité de la surface, et des effets destructeurs occasionnés par l'intensité de la déflation éolienne (Site NT 206/250).
- . Si la croûte est désagrégée, l'érosion éolienne s'intensifie et peut atteindre 1 à 2 cm en quelques mois. Des bornes placées depuis plus de quinze ans, indiquent une déflation d'environ 1 cm/an. La quantité de sels en surface se trouve momentanément réduite (ORLOVA M.A. - 1979), mais ceux-ci se déposent à proximité, piégés par les nebkas ou par la végétation des cuvettes non salées. L'horizon le plus riche en matière organique disparaît.
- + La vitesse de dessèchement du sol joue un rôle important dans l'évolution des structures. La croûte de battance tend à bloquer l'évaporation sous l'effet de la discontinuité créée (DRIESSEN P.M. et SCHOORL L. - 1973). D'autre part, si elle est conservée, elle tend à diminuer l'infiltration (effet mécanique : forte porosité planaire)

et à augmenter le ruissellement au cours de l'hivernage suivant (MORIN J. et Al. - 1981). Ainsi, nous avons constaté après les dernières pluies de 1982, que les horizons à structure micro-agrégée étaient plus secs là où une croûte de battance subsistait. Nous avons remarqué que la croûte, toujours fissurée, présente de façon plus ou moins intense, des phénomènes de micro-agrégation le long de ces lignes où le dessèchement peut se faire rapidement.

- + L'étude de la résistance de la croûte de battance et du comportement des horizons micro-agrégés serait à étudier expérimentalement afin de connaître l'influence de la quantité et de la répartition des sels solubles présents en surface, au moment et après les pluies: influence du sodium échangeable (voir p. 32) phénomènes de dispersion, floculation - Rôle mécanique de l'impact des gouttes de pluies...

- Levées et zones basses : Structures de surface non micro-agrégées

Les structures de surface non micro-agrégées sont d'extension très variée. Elles peuvent apparaître ponctuellement quand des structures micro-agrégées sont décappées, par le ruissellement en particulier. La répartition des sels reste cependant à peu près identique ; de même quand elles s'étendent au contraire, sur de vastes étendues légèrement dépressionnaires (Site NT 207). Dans ce cas cependant, une quantité de sels solubles totaux plus faible peut être une première raison de la conservation de ces domaines. On n'observe pas d'alcalinisation des sols en surface (pH toujours < 8,5).

- Les cuvettes salées

Nous avons vu que les phénomènes de micro-agrégation en bordure de cuvette et de formation d'une croûte saline sont très rapides. Le niveau de la nappe à proximité de la surface en début de saison sèche peut expliquer sous ce climat, ces évolutions de surface intenses et parfois stoppées assez rapidement (Site MBAROU BOF). Les analyses en cours et des expérimentations d'évolution après submersion permettront d'expliquer ces types de différenciations.

5 - Les conséquences sur l'écosystème du "Delta"

La dégradation de l'écosystème du "Delta" est effective et irréversible dans les conditions actuelles (sécheresse, endiguement). Le phénomène tend à s'auto-amplifier. Les déplacements des troupeaux, de plus en plus fréquents au fur et à mesure que les pâturages s'amenuisent au cours de la saison sèche et d'une année à l'autre, accentuent le long des parcours, le piétinement et la destruction des structures de battance en surface sauf sur les sols très compacts.

- . Ce phénomène pourrait avoir par contre un effet bénéfique pour la reprise des graines comme il a été observé autour des forages dans le Ferlo (C. VALENTIN, 1983) et en Tunisie (ESCADAFAL, 1981). Cette conséquence est négligeable ici dans ces zones très vastes, souvent trop salées, aux précipitations insuffisantes et soumises à une forte érosion.
- . Les particules salées emportées par la déflation éolienne (micro-agrégats de la taille des sables grossiers : 200-2000 μ et des sables fins essentiellement : 50-200 μ) risquent de contaminer les cuvettes cultivées ou non, en accentuant la salure de surface d'autant plus que les apports d'eau sont actuellement restreints.
- . Nous avons également constaté des traces spectaculaires d'érosion hydrique autour de certaines cuvettes : griffes rigoles... ou en nappe, sur des pentes inférieures à 10 %. La conservation des structures de battance sur sols nus accentue le processus.

Il pourrait être envisagé en dehors des cuvettes, l'aménagement, pour la stabilisation de ces terres, de zones de pâturages à espèces sélectionnées bénéficiant des apports d'eau de la future retenue de DIAMA.

6 - Perspectives d'Etudes

En dehors de la poursuite et de l'exploitation des données des suivis au sol et par photographies aériennes, nous envisageons trois directions d'études :

- 1 - Expérimentation au laboratoire, où nous pouvons maîtriser la plupart des paramètres intervenant : Caractéristiques physiques du sol.
- Humidité - Nappe - Température...
- 2 - Expérimentation sur le terrain. En conditions réelles, on reconstituera, à l'aide d'un asperseur ("simulateur de pluie"), les effets de la battance sur différents types de structure, en faisant varier intensité et quantité de précipitation.

On tentera ainsi d'expliquer plus précisément le mécanisme d'apparition de ces différentes structures et leurs évolutions possibles : Evolutions linéaire ou continue, et cyclique. Des analyses complémentaires, d'identification des sels, chimiquement et aux "rayons X" sont en cours.

- 3 - Utilisation des images satellites pour le suivi de l'ensemble du Delta. La disponibilité des images (par rapport à celle de LANDSAT actuellement) pourra être améliorée et avec une meilleure résolution, grâce au futur satellite S.P.O.T. Les premières données d'interprétation visuelles permettront effectivement de distinguer divers types de sols nus ou peu couverts. L'analyse numérique des images fournira rapidement des cartes détaillées à une échelle qui ne dépassera pas cependant le 1/100 000°.

B I B L I O G R A P H I E

- ASSELIN (J.) et VALENTIN (C.) - 1978 - Construction et mise au point d'un infiltromètre à aspersion - Cah. ORSTOM, Série Hydrologie 15, 4, 321-349.
- DRIESSEN (P.M.) and SCHOORL (L.) - 1973 - Mineralogy and morphology of salt efflorescence on saline soils in the great Konya basin, Turkey - Jour. Soil Sci., 24, 4, 436-442.
- DUCHESNE (J.) - 1977 - Télédétection des zones irriguées par photographies Infra-Rouge couleurs.
1er Colloque Pédologie Télédétection. A I.S.S. ROME, 85-97.
- EMEL'VANOV (V.A.), GORBBACHEV (V.V.) et KARITONOV (V.A.) - 1980 - Remote sensing methods for assessing the salinity of irrigated lands.
Vestnik sel'skokhozyaistvennoï Nauti - Moscow USSR, 7, 120-128.
in Soils and Fertilizers, 1982, 45, 1, 542.
- ESCADAFAL (R.) - 1981 - L'étude de la surface du sol dans les régions arides.
Recherches méthodologiques. ES n° 187 - DRES - ORSTOM, 64 p.
- GIRARD (M.C.) - 1977 - 1er Colloque Pédologie et Télédétection.
ROME, 29 Août - 9 Septembre 1977 - INA PARIS-GRIGNON - FRANCE - 395 pp.
- MANUAL OF REMOTE SENSING : American Society of photogrammetry - FALLS CHURCH.
VIRGINIA, 1975, 2 vol., 2141 pp.
- MICHEL (P.) - 1973 - Les Bassins des Fleuves Sénégal et Gambie.
Etude géomorphologique - Mémoires ORSTOM n° 63 - PARIS - 3 tomes.
- MORIN (J.), BENYAMINI (Y.) and MICHAELI (A.) - 1981 - The effect of raindrop impact on the dynamics of soil surface crusting and water movement in the profile.
J. of Hydrology, Netherlands, 52, 314, 321-335.
- MOUGENOT (B.) - 1982 - Etude pédologique de la cuvette de NTHIAGAR - Partie Nord (Delta du fleuve Sénégal) 152 pp.
- ORLOVA (M.A.) - 1979 - Wind transport of salts.
Soviet Soil Science, 11, 2, 196-206.
- PANKOVA (E.I.) et MAZIKOV (V.M.) - 1976 - Estimating the salinization of irrigated cotton soils from aerial photographs -
Soviet Soil Science - 8, 365.
- PEYRONEL (A.) - 1979 - Télédétection et Pédologie - Problèmes d'identification et de cartographie, posés par les sols calcaires et salés dans le domaine visible proche Infra-Rouge. S.E.S. n° 463 - Déc. 1978 - Service d'étude des sols I.N.R.A.
- REMOTE SENSING, with special reference to Agriculture and forestry.
National Academy of Sciences - WASHINGTON, D.C., 1970 - 423 pp.

SERVANT (J.) - Sur le rôle des cristaux de chlorure de sodium sur la génèse d'une structure poudreuse à la surface de certains sols salés.
C.R. Acad. Sci. PARIS, 278, 589-591.

SHARMA (D.P.) and AGRAWAL (R.P.) - 1979 - Crust strenght in relation to sodicity and dispersion of soils.
Agrokemia  s Talajtan - 28, 1-2, 39-44.

VALENTIN (C.) - 1983 - A.C.C. - Lutte contre l'aridité : "Systèmes de production d'élevage au Sénégal. Effets du pâturage et du piétinement sur la dégradation des sols autour des points d'eau artificiels en région sahélienne".
Ferlo Nord - SENEGAL.
ORSTOM / Côte d'Ivoire.