

MIGRATION DES ARGILES DANS DIVERS SYSTEMES DE POROSITE DE ROCHES CALCAIRES

par
Gabriel Callot (1)

RESUME. -

Les conclusions présentées dans cet article sont extraites d'une analyse cartographique et de l'étude des microstructures de sols et formations superficielles en couverture sur le substratum calcaire de la région Nord Aquitaine (France).

Les diverses analyses minéralogiques et micro-morphologiques effectuées en particulier dans la frange de dissolution au contact de la roche calcaire, ont permis de souligner le rôle piège du substratum calcaire vis à vis des matériaux argileux résiduels ou détritiques. Ce rôle est favorisé par la présence d'accidents siliceux (silex) et réglé surtout par l'évolution des systèmes de porosité et l'architecture cristalline de la rocha calcaire.

I. - RELATIONS DES "COUVERTURES" AVEC LE SUBSTRATUM CALCAIRE SOUS-JACENT .

1°) Analyse cartographique

Les "couvertures" pédologiques, constituées par l'ensemble des sols et formations superficielles d'épaisseur moyenne supérieure à 2 mètres se dispersent de manière discontinue au milieu du bassin calcaire Nord Aquitaine. La plupart d'entre elles, composées de sables et limons, sont manifestement d'origine détritique, par contre certaines argiles à silex se sont formées sur place.

(1) INRA - Laboratoire de Science du Sol Ecole Nationale Supérieure Agronomique 34060 MONTPELLIER CEDEX (France)

MIGRATION ARGILE ROCHE CARBONATEE

La distribution cartographique de ces couvertures, souligne une accumulation préférentielle de ces matériaux en bordure des socles cristallins, et par contre une absence totale de ces formations dans la partie centrale du bassin. L'étude statistique de leur distribution en fonction des grandes familles pétrographiques du substratum calcaire est exprimée sur le tableau 1 ci-après.

Elle souligne en particulier :

- une couverture continue sur les calcaires siliceux du Lias.
- un recouvrement de 60 % sur les calcaires à silex du Dogger,
- un recouvrement variable entre 30 et 50 % sur les calcaires crayeux, essentiellement associé avec les bancs à silex,
- absence de couverture sur les calcaires marneux et marnes du Jurassique supérieur.

Sur les calcaires durs sans silex, les couvertures sont peu épaisses (généralement inférieures à 2 mètres) et les recouvrements sont discontinus et souvent localisés dans de larges dépressions, contrairement aux couvertures précédentes.

Cette analyse statistique globale, à l'échelle du bassin sédimentaire montre en fait que l'importance des diverses couvertures est dépendante de la nature pétrographique du substratum calcaire sous-jacent et surtout liée à la présence de silex dans la roche calcaire.

2°) Etude des microstructures.

Au cours de la dissolution du substratum calcaire les divers accidents siliceux, moins solubles que les carbonates, constituent une structure piège, au milieu

Substratum calcaire		Couvertures pédologiques supérieures à 2 m environ	
Nature	Résidu non carbonaté % moyen	Mode de répartition	Coefficient de recouvrant
Marnes et calcaires marneux	10 - 40	-	0,3 %
Calcaires durs sans silex	0,5 - 4	discontinu	15 %
Calcaires détritiques sableux	25 - 50	discontinu	20 %
Calcaires crayeux avec bancs à silex du Crétacé	30 - 50	groupé	26 %
Calcaires durs à silex du Dogger	2 - 10	groupé	60 %
Calcaires siliceux et marnes du Lias	40 - 70	continu	85 %

ANALYSE STATISTIQUE DE LA DISTRIBUTION DES COUVERTURES PÉDOLOGIQUES
A L'ÉCHELLE DU BASSIN SÉDIMENTAIRE

Tableau I

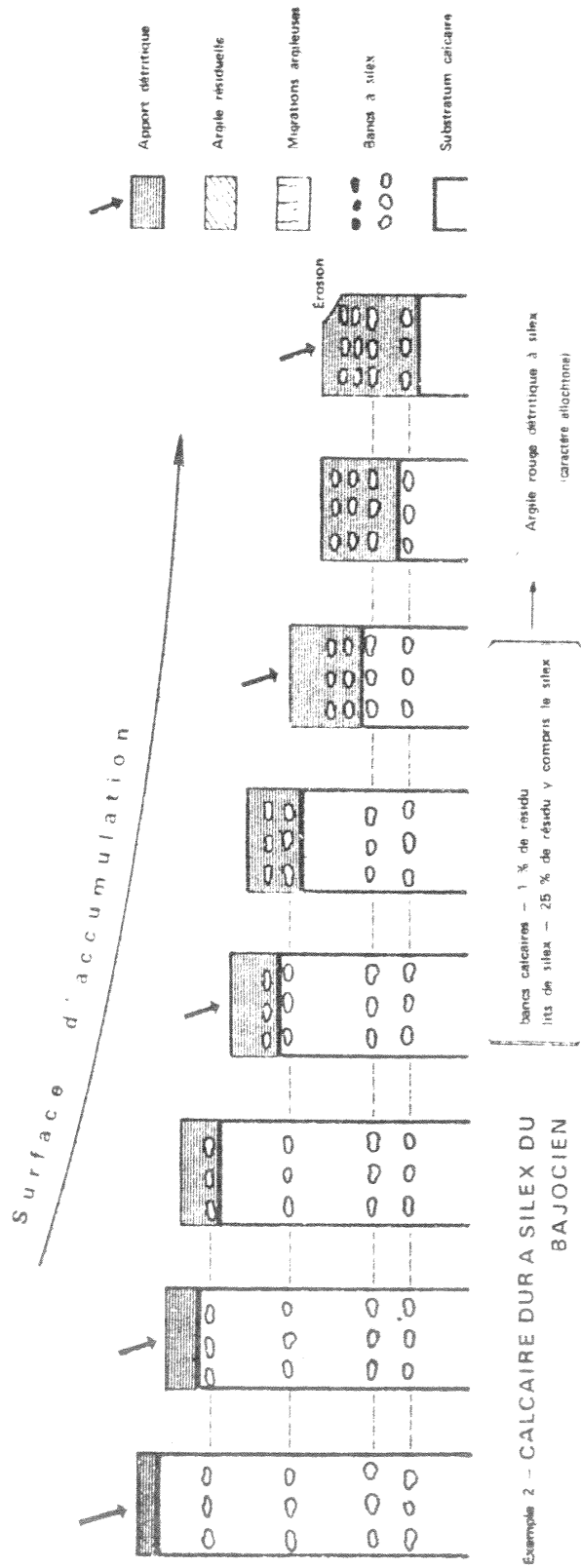
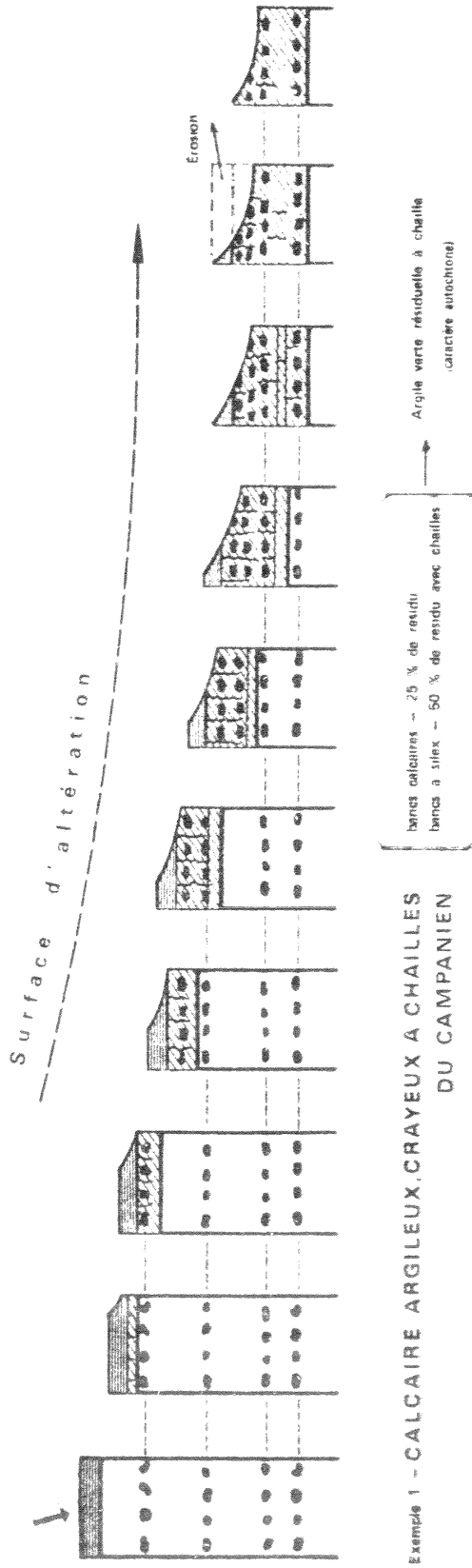


FIGURE 11 - MODE DE FORMATION COMPAREE DES ARGILES A SILEX, SUR CALCAIRE DUR ET SUR CALCAIRE TENDRE CRAYEUX

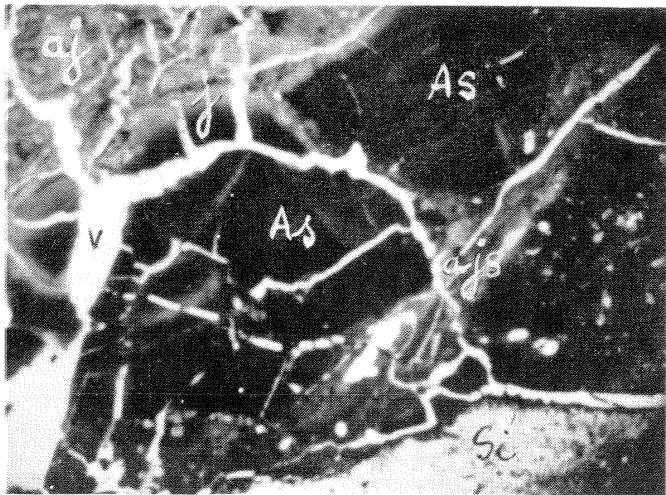


Fig. 3a

0,5 mm

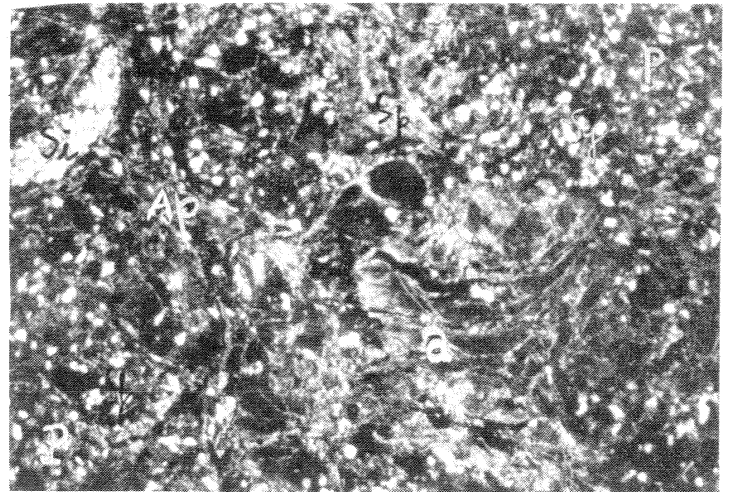


Fig. 3b

0,5 mm

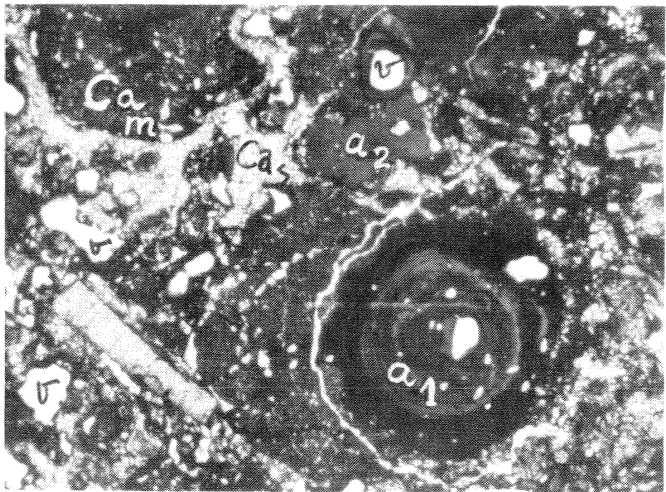


Fig. 2a

0,5 mm

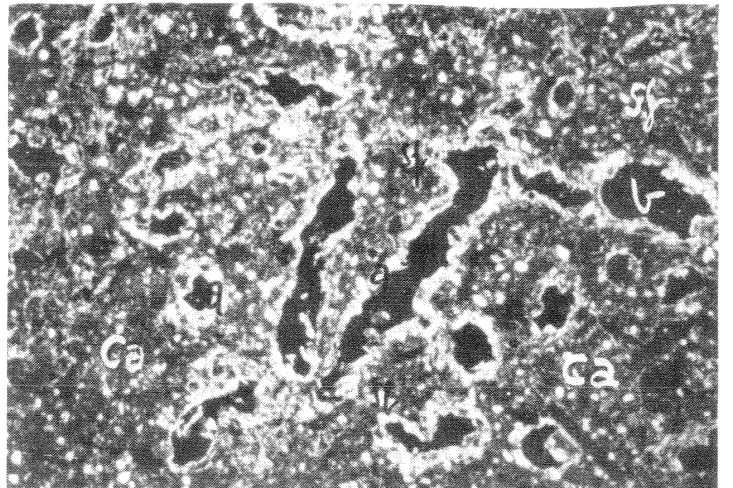


Fig. 2b

0,5 mm

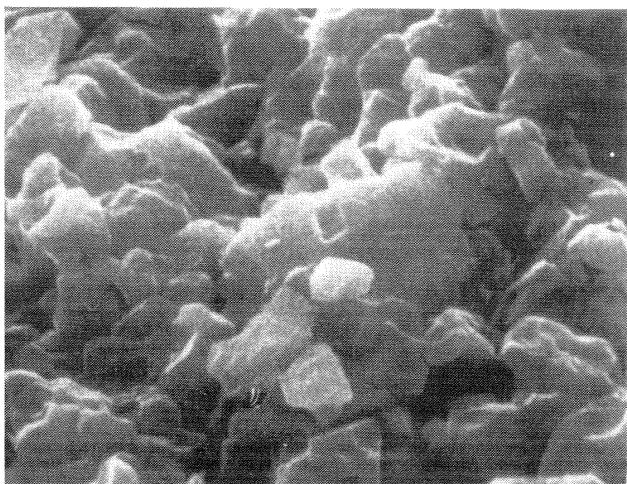


Fig. 1a

2 μ



Fig. 1b

2 μ

Calcaire dur

Calcaire crayeux

de laquelle les argiles détritiques ou résiduelles vont s'accumuler. Entre les silex, le mode d'accumulation des matériaux argileux sera fonction des systèmes de porosité du calcaire.

- Sur les calcaires durs à silex, présentant généralement une fraction argileuse résiduelle peu importante (1 à 2 %) l'infiltration des argiles se fera essentiellement dans les fentes et fissures de dissolution sous-karstique. Dans ces conditions les argiles accumulées au dessus du substratum sont en grande majorité détritiques et souvent associées à des sables quartzeux.

- Sur les calcaires crayeux, argileux à silex, contenant une fraction argileuse résiduelle notable (15 à 30 %) et une forte microporosité (15 à 25 %), le colmatage par argiles résiduelles des bancs supérieurs, se fera de manière progressive dans les micropores de dissolution.

En fait les caractéristiques pétrographiques de la roche (importance et nature de la fraction argileuse, architecture cristalline (rapport sparite/micrite et porosité) régleront le mode de dissolution (D. SOULET-DE LAIGUE - 1.976) et par là même les processus de migration des argiles dans les vides de dissolution.

MIGRATION ARGILE ROCHE CARBONATEE

LEGENDE PLANCHE I

SYSTEME SUR CALCAIRE DUR A SILEX

Fig. 1a - Structure enchevêtrée de cristaux de calcite dans un calcaire dur très faiblement poreux (5 % de porosité).

Fig. 2a - Calcaire dur en voie de dissolution dans lequel on peut observer les vides de dissolution (V) avec remplissage argileux (a_1 ferri argilanes zonés et a_2 argilanes très finement lités).

Ca_s sparite ; Ca_m micrite.

Fig. 3a - Microstructure d'une argile rouge kaolinite à silex avec dépôt sédimentaires argileux (As) dérubiés sur place (j) au contact d'argiles jaunâtres mal orientées, d'illuviation secondaire (aj) et de séparations plasmiques (ajs).

Si - silex à structure microcristalline en voie de ferruginisation sur ses bordures.

LEGENDE PLANCHE I

SYSTEME SUR CALCAIRE CRAYEUX A SILEX

Fig. 1b - Structure poreuse d'un calcaire crayeux (porosité 20 %) dans laquelle on peut observer les cristaux de carbonates reliés entre eux par des ponts (p).

Fig. 2b - Calcaire crayeux en voie de dissolution avec remplissage d'argile montmorillonitique (d) sur les parois des vides de dissolution. Au milieu du plasma cristique carbonaté (Ca) noter la présence de grains siliceux (Sf).

Fig. 3b - Argile verte à silex avec sédimentations argileuses massives (a) développées au sein même de la matrice argilo (sp) sableuse (sf) héritée de la désorganisation in situ de la structure sédimentaire carbonatée originelle.

L'analyse des microstructures nous a conduit à proposer le schéma comparatif de la figure II, illustrant le mode d'accumulation des argiles à silex, en couverture sur deux types de substratum calcaire.

- Argiles rouges à caractère allochtone sur les calcaires durs à silex,
- Argiles vertes à caractère autochtone sur les calcaires crayeux.

Ce schéma ne constitue qu'un modèle théorique simplifié, variable à l'extrême en fonction des caractéristiques pétrographiques des roches calcaires. Il exclut tous les aspects de solifluxion ou de remaniements superficiels, compliquant à l'extrême les niveaux supérieurs de ces formations superficielles. Lorsque la dissolution des carbonates est suffisamment lente par suite d'un faible drainage des eaux, le remplissage des vides de dissolution par les argiles détritiques ou les argiles résiduelles peut s'effectuer sans modification importante de la structure sédimentaire originelle des lits de silex.

MIGRATION ARGILE ROCHE CARBONATEE

Par contre, une irrégularité du système de drainage entrainera une modification des structures initiales de dépôts (cas des remplissages de fissures, dans les calcaires durs, poches de dissolution au contact des calcaires tendres).

La présence des silex au milieu des argiles constitue une armature interne rigide, protégeant ultérieurement ces matériaux argileux de l'érosion, expliquant ainsi la conservation de ces formations superficielles depuis le début du Tertiaire. L'accumulation relative des fragments de silex dans les niveaux superficiels, au cours des remaniements et pédogénèses successifs, constitue de plus un système protecteur anti-érosif (équivalent du mulching caillouteux).

II. - REMPLISSAGE DE FISSURES ET POCHE DE DISSOLUTION

1°) Remplissage des poches de dissolution à noyau sableux.

L'étude des poches de dissolution à noyau sableux, très fréquente en milieu calcaire du Nord-Aquitaine, en zone de karst ouvert, est intéressante pour préciser le mode de sédimentation des matériaux détritiques au contact du substratum calcaire.

A partir de l'étude des structures et microstructures des matériaux, de la partie centrale des poches à noyau sableux vers la paroi calcaire, les faits sédimentologiques les plus marquants soulignent en particulier:

- dans la partie centrale, un noyau sableux grossier d'origine détritique montrant une organisation pédologique ancienne, avec plusieurs générations de dépôt argileux sur les parois des vides,

- dans les parties médianes très argileuses, une lente pénétration des lits sableux et argileux, très désordonnée, d'origine mécanique,
- au contact de la paroi calcaire, le développement d'un horizon très argileux peu épais (1 à 2 cm) avec dépôts argileux festonnés, caractéristiques des horizons Béta dans la frange de dissolution du calcaire.

Les diverses formes micromorphologiques et analyses minéralogiques publiées dans nos travaux antérieurs, nous conduisent ainsi à proposer le schéma de la figure III pour expliciter le mode de formation de telles poches de remplissage.

D'une manière générale, la partie centrale de ces poches est généralement occupée par des sables détritiques quartzeux d'origine cristalline, mais peut également être constituée par des matériaux résiduels du même substratum en situation amont; ces produits étant secondairement repris et transportés au cours de ruissellements superficiels.

Ce mécanisme de remplissage par apports successifs de matériaux détritiques colmatant la poche, au cours des phénomènes de dissolution sous couverture, se retrouve d'ailleurs à plusieurs dimensions des poches comme nous l'avons fréquemment observé dans les calcaires durs des Charentes et du Poitou.

2°) Remplissage de fissures

Au milieu des calcaires durs, l'étude des microstructures dans les fissures remplies indistinctement d'argile rouge ou jaune souligne en particulier des formes de sédimentation argileuses alternées, parfois interstratifiées avec des lits de sables fins siliceux, résultant

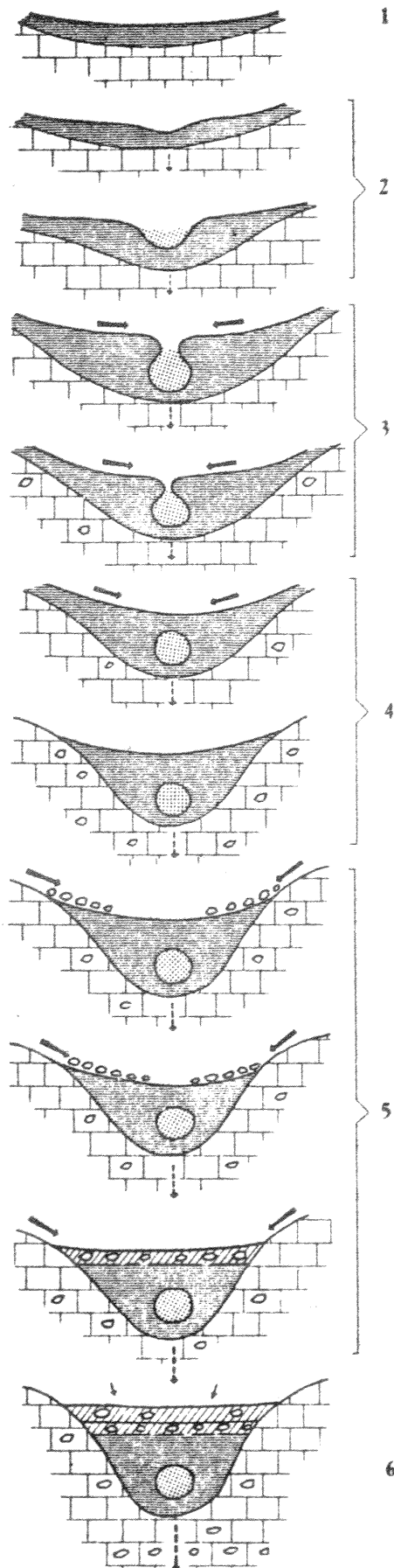
MIGRATION ARGILE ROCHE CARBONATEE

de la désagrégation des silex des bancs supérieurs. Ces matériaux argileux de remplissage sont généralement d'origine détritique avec une fraction d'argile kaolinique importante alors que cette dernière est peu représentée dans la faible fraction résiduelle (a à 2 %) de la roche calcaire encaissante.

3°) Migration des argiles dans les systèmes de porosité intracristalline.

Les études faites en microscopie électronique à balayage, soulignent que les diverses migrations argileuses se poursuivent très profondément dans la roche calcaire au cours de la dissolution. Les dépôts d'argile et de fer associés, tapissent les parois des pores de dissolution comme on peut l'observer sur la planche photographique II ci-après.

Les diverses études minéralogiques et micromorphologiques de la fraction argileuse au contact de la roche calcaire expriment que "l'altération" de la roche calcaire dure est en fait le résultat d'un phénomène de dissolution des carbonates avec remplissage progressif des vides par une argile en majeure partie détritique. L'altération pelliculaire décrite par LAMOUROUX (1972) n'est qu'une manifestation secondaire du système dissolution/colmatage : la frange de dissolution de la roche colmatée par des argiles de remplissage se détachant au cours des phases d'humectation et de dessiccation des matériaux.



STADES DE FORMATION

- ① Sédimentation argileuse initiale
- ② Dépôt sableux par ruissellement superficiel
- ③ Invagination du dépôt sableux par accentuation de la dissolution carbonatée préférentielle dans la partie centrale de la dépression
- ④ Fossilisation du noyau sableux dans la masse argileuse
- ⑤ Remplissage de la poche par apports latéraux (colluvions de silex)
- ⑥ Dépôts terminaux, généralement limoneux par alluvionnements transversaux

Nota :

Sur calcaires durs, les matériaux argileux et sableux sont généralement détritiques, allochtones par rapport au substratum

LEGENDE







-  Argile
-  Sable
-  Limon
-  Silex
-  Calcaire
-  Dissolution des carbonates

FIGURE III -

MODE DE REMPLISSAGE D'UNE POCHÉ DE DISSOLUTION A NOYAU SABLEUX PAR SOUTIRAGE KARSTIQUE

III. - ROLE "RIEGE" DU SUBSTRATUM CALCAIRE.

1°) Rôle de la texture de la roche, au niveau des systèmes de porosité.

La structure pétrographique de la roche calcaire et en particulier son architecture cristalline (arrangements et rapport sparite/micrite) joue un rôle fondamental dans le mode de conservation des produits détritiques et résiduels au niveau des systèmes de porosité.

Les calcaires crayeux et argileux (sans silex) bien que très poreux, présentant une architecture très fragile, (absence de ciment calcaire), ne peuvent pas conserver de produits détritiques ce qui explique d'ailleurs, sur ce type de roche, l'absence de couvertures détritiques et le développement de sols provenant uniquement de la fragmentation de la roche (rendzines grises à forte effervescence).

Par contre, certains calcaires molassiques, bien que très poreux, mais présentant une structure pétrographique plus olide avec ciment sparitique, sont par contre susceptibles de conserver dans leurs pores des produits détritiques (sables ou argiles), cas des rendzines rouges à gibbsite sur calcaires molassiques du Turonien ou du Cénomanién.

2°) Rôle du substratum calcaire, au niveau régional

L'étude globale de la distribution statistique des formations superficielles faite à l'échelle du bassin sédimentaire, comme celle de l'analyse pétrographique détaillée des roches calcaires de cette même région, souligne de rôle fondamental du substratum calcaire dans le devenir des produits détritiques ou résiduels en couverture.

Au cours des diverses étapes de creusement et d'évolution du relief à l'intérieur d'un même bassin sédimentaire, les matériaux détritiques ou résiduels de couverture, sont en fait redistribués dans l'espace et dans le temps, et conservés sur ou à l'intérieur du substratum calcaire, dans la mesure où la structure d'accueil existe et ceci à différentes échelles. Au cours de chaque étapes sédimentologiques, ces matériaux sont ensuite modifiés par les phases pédologiques.

La nature pétrographique du substratum calcaire apparaît déterminante aussi bien pour guider le devenir des couvertures que leurs modifications ultérieures, surtout lorsque cette couverture est peu épaisse.

Ce rôle particulier des roches calcaires, permet ainsi, à l'échelle d'une région sédimentaire carbonatée, indépendamment des aspects climatiques de préciser certains aspects dynamiques de l'organisation des matériaux détritiques ou résiduels, en relation avec la nature pétrographique du substratum calcaire. Ces différents arrangements morphologiques, présentent en fait une certaine logique d'organisation à différentes échelles d'observation et sont susceptibles de définir un système sédimentologique (continental) ou géo-pédologique caractéristique d'un substratum calcaire donné.

A titre d'exemple, les relations qui existent entre les argiles rouges kaoliniques et les calcaires durs du Dogger s'expriment :

- au niveau des relations massifs cristallins/bassin sédimentaire carbonaté, par une distribution statistique importante en bordure du socle,
- au niveau régional, par une accumulation massive dans les bancs à silex,
- au niveau local, par des remplissages de poche,
- au niveau des fissures, par une sédimentation rythmée

MIGRATION ARGILE ROCHE CARBONATEE

- avec superposition de lits argileux complexes,
- au niveau des pores de la roche, par des dépôts argileux très fins dans les pores de dissolution de la roche.

Comme nous l'avions déjà évoqué dans le mode de formation des argiles rouges à silex, ces diverses inter-relations entre argile rouge et calcaire dur nous amènent ainsi à considérer pour cette région donnée, que toutes ces argiles rouges sur calcaire se sont mises en place avec un déplacement. Compte-tenu de la très faible fraction d'argile résiduelle pré-existant dans la roche et des accumulations relatives qui se sont succédées au cours des diverses étapes de macro et micro-sédimentation. Ces argiles rouges peuvent en fait être considérées comme allochtones par apport calcaire qui les conserve.

Cette dynamique sédimentaire continentale, particulière aux calcaires durs, sera en fait complètement différente sur un autre type de calcaire lorsque la structure piège de la roche changera.

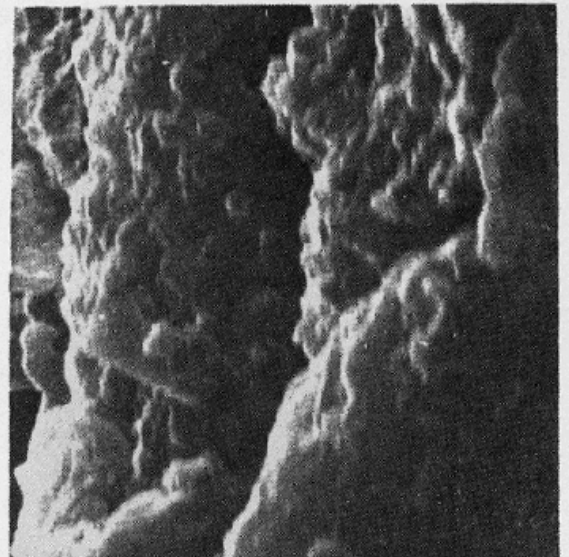
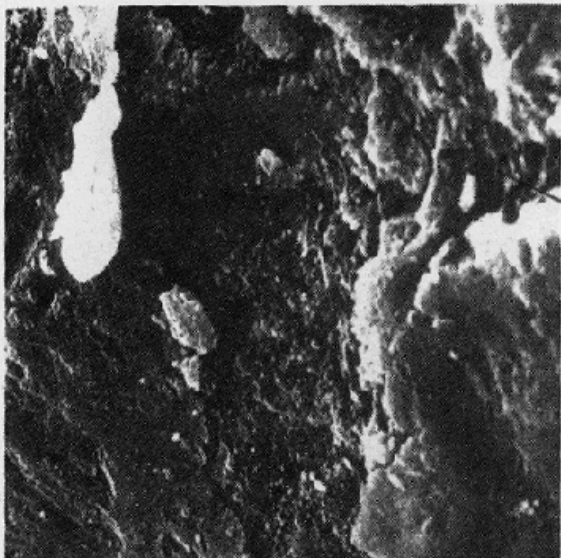
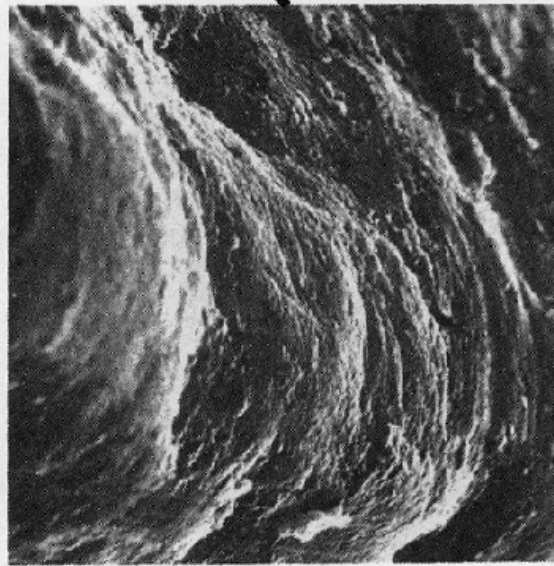
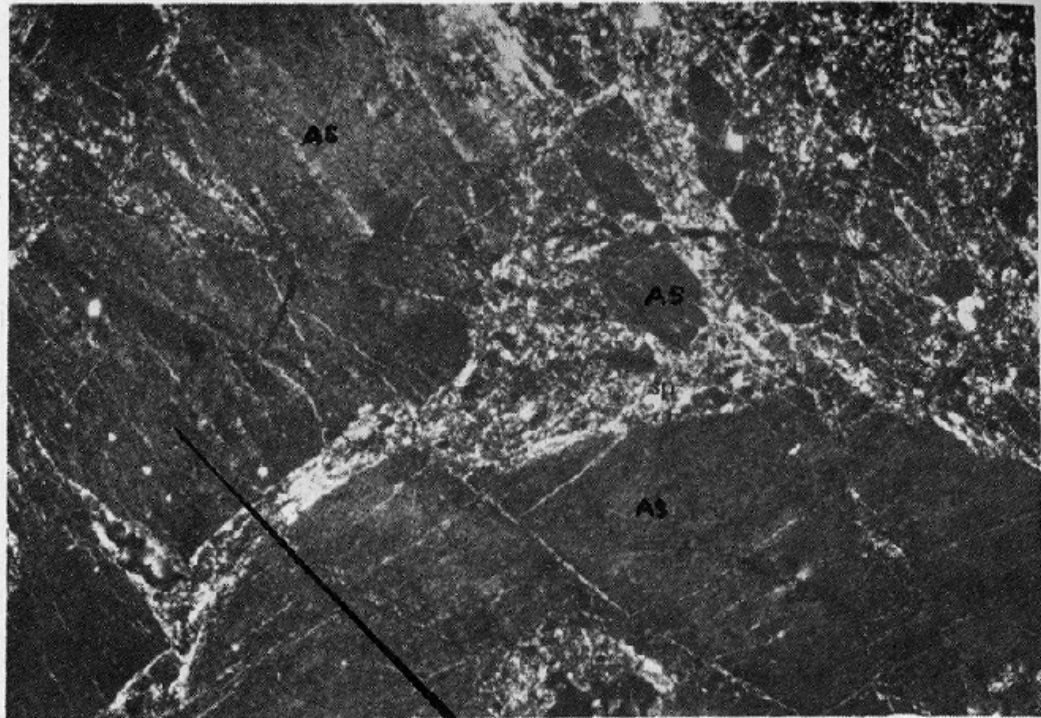
LEGENDE-PLANCHE II

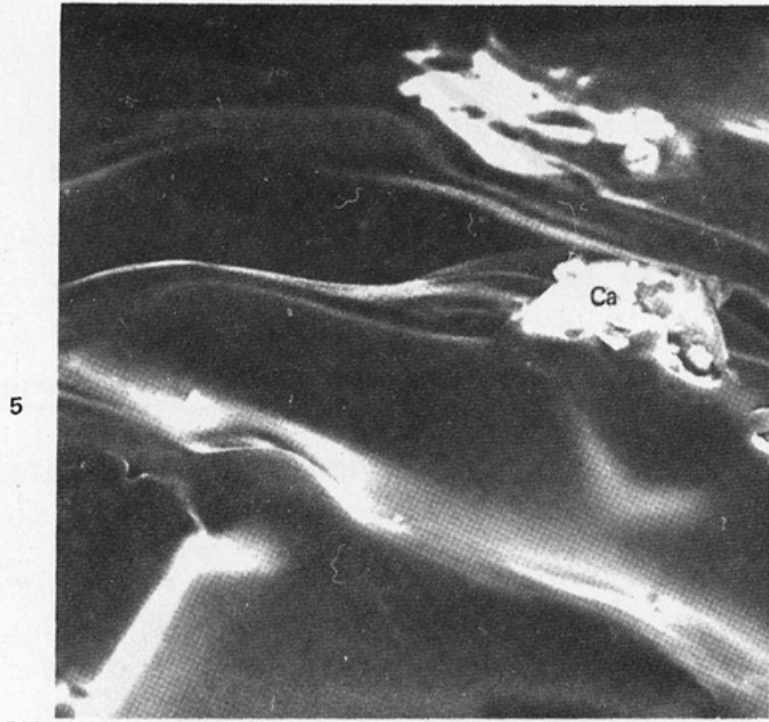
A - Système fissural

Réf.: Caire dur à silex du Dogger/Chasseneuil -Nord Angoulême.

Photo 1. - Aspects micromorphologiques d'une argile rouge de remplissage dans une fissure de 5 cm de large, à 2 mètres de profondeur. Observer la structure sédimentaire de l'argile (As) redistribuée au cours de l'illuviation secondaire (sp).

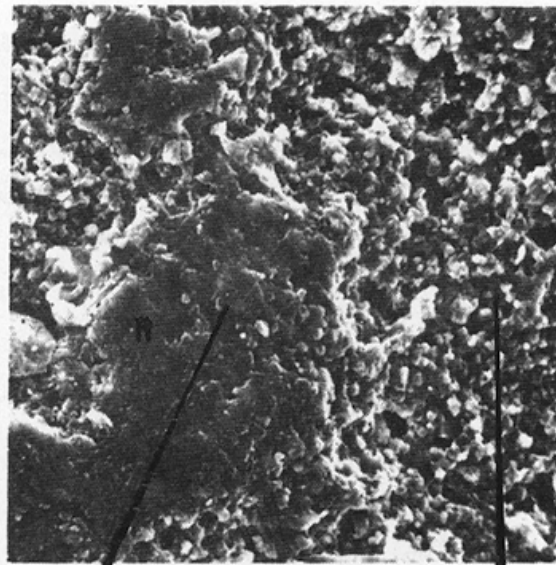
Photo 2. - Détail de la photo 1, en microscopie à balayage, soulignant les différents lits de la sédimentation argileuse.





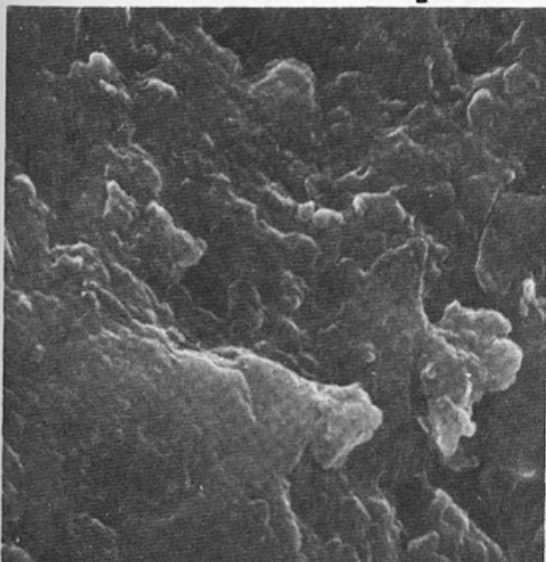
5

x1500



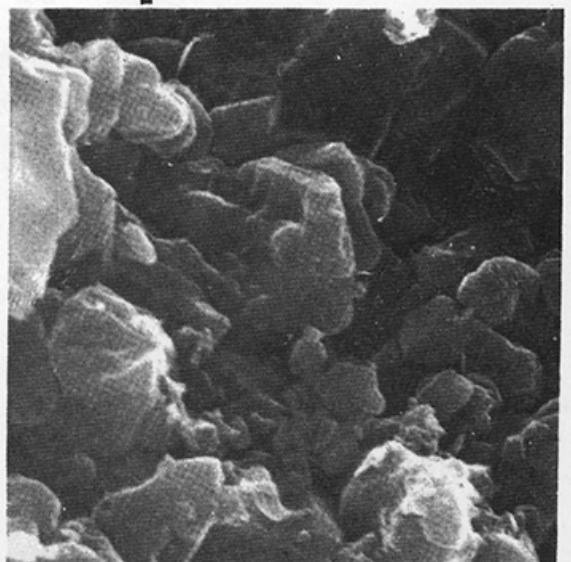
6

x750



7

x9000



8

x9000

Photo 3. - Fragmentation de la structure originelle litée du secteur (sp) - photo 1.

Photo 4. - Détail de la photo 3, soulignant dans les secteurs d'illuviation secondaire le litage des argiles.

B- Systeme poral

Réf. : Calcaire lithographique du Séquanien /Tusson Nord Angoulême.

Photo 5. - Aspect en microscope à balayage d'un revêtement argilo-ferrugineux (enduit rouge) dans un pore de dissolution. Observer le cristal de calcite (Ca) non recouvert par l'argile.

Photo 6. - Aspect d'une tache rouille (R).

Photo 7. - Détail de cette tache rouille, soulignant la structure des lits argileux et ferrugineux.

Photo 8. - Structure enchevêtrée des cristaux de carbonates dans la roche saine, non dissoute.

BIBLIOGRAPHIE

CALLOT, G. (1.976) - Analyse d'un système géo-pédologique régional - (Région Nord-Aquitaine). Thèse - Faculté des Sciences et Techniques du Languedoc, 2 tomes.

LAMOUREUX, M. (1.972) - Etude des sols formés sur roches carbonatées. Pédogénèse fersialitique au Liban. Mém. ORSTOM n° 56 - 266p.

PEDRO, G. (1.972) - Les sols développés sur roches calcaires. Nature. Originalité et cadre général de leur évolution à la surface du globe. Science du Sol. n° 1, pp. 5-18.

MIGRATION ARGILE ROCHE CARBONATEE

SOUMET-DELAIGUE, D. (1. 976) - Incidences de la structure pétrographique des roches carbonatées sur leur susceptibilité à la dissolution. Exemple des calcaires des Charentes et des Causses de Roquefort. Thèse 3ème Cycle. Faculté des Sciences Montpellier.

STOOPS, G. et MATHIEU, Cl. (1. 970) - Aspects micro morphologiques des argiles à silex de Thièrarche. Science du Sol n° 2, pp. 108-116.