

matage complet de la porosité. Cette modification de l'état physique s'accompagne d'un ralentissement des possibilités d'écoulement de l'eau au niveau de ces horizons.

c) - Autres horizons caractéristiques : horizons A_2 et A'_2 lessivés ou appauvris.

Deux types d'horizons "lessivés" ou "appauvris" se différencient au cours de cette phase évolutive.

Le premier type d'horizon ou "horizon A'_2 -BC lessivé" en carbonates est commun aux stades 1, 2 et 3; il se localise à la base des profils pédologiques et se caractérise par son appauvrissement marqué en carbonates du fait de la dissolution complète des fractions calcaires. La dissolution de ces éléments aboutit à la création d'une porosité secondaire, qui accroît la perméabilité du matériau. Cet horizon joue un rôle fondamental dans la dynamique de formation des sols (dynamique de soutirage).

Le deuxième type d'horizon lessivé est constitué par des horizons de surface complètement décalcifiés mais aussi appauvris en argile et en fer, qui présentent des caractères plus proches de ceux des horizons lessivés classiques. Ce type d'horizon ne commence à se différencier de façon nette que dans les stades 3. C'est un horizon graveleux qui se conserve aussi bien sous culture que sous forêt (il est évidemment plus net dans ce dernier cas). Il se développe en position intermédiaire entre les horizons supérieurs plus ou moins riches en matière organique et le sommet des horizons B. Son épaisseur est variable, généralement comprise entre 20 et 50 centimètres. Il est extrêmement poreux, puisqu'il est constitué de nombreuses cavités de grand diamètre (2-5 mm) formées par la juxtaposition de graviers quartzitiques et quartzeux provenant de l'éclatement des galets par désagrégation physique. Il est fortement appauvri en argile et même en sables.

12. ETUDE MICROSCOPIQUE DES ORGANISATIONS DE CETTE PHASE EVOLUTIVE.

Nous suivrons les variations essentielles de ces organisations grâce à l'étude des lames minces taillées dans les divers horizons caractéristiques mis en évidence plus haut. Nous étudierons successivement chacun des stades 2 et 3.

121. Stade 2 (cf. tableau 4.1).

a) - Horizons de surface et horizons de transition.

Ces horizons sont composés d'éléments caillouteux de grosses dimensions (blocs et galets) et d'une quantité relativement faible de fraction fine sablo-graveleuse à composante siliceuse. La forte discontinuité de granulométrie entre ces 2 types de composantes est responsable de la faible cohésion globale de la masse de l'horizon, accentuée encore par la fréquence des perturbations dues à l'homme et à l'activité biologique.

Les cailloutis sont surtout constitués de quartzites, de silexites, de silex et de grès siliceux. Les silexites sont souvent entourées à leur périphérie d'une zone ferruginisée, qui forme une véritable auréole de

nourrissage, tendant à occuper peu à peu l'ensemble de l'élément (piège à fer). Dans les silex à porosité plus grossière et plus irrégulière, nous observons un remplissage par des ferri-argilanes fortement biréfringentes et bien orientées (piège à argile ferrique).

Le squelette moyen ou fin représente environ 40 % de la masse globale, mais son importance en volume est un peu plus grande (plus de 50 %). Il est constitué par des particules comportant essentiellement des limons compris entre 40 et 50 μ à côté de sables plus grossiers voisins de 500 μ (20 %). Il s'agit de quartz et quartzites associés à une faible proportion de plagioclases assez mal conservés et en voie d'altération.

Le plasma est assez lâche, floconneux et peu coloré. Il représente seulement $\frac{1}{3}$ du volume occupé par le squelette moyen et possède déjà un début d'organisation avec individualisation de revêtements argileux peu épais, localisés dans les vides inter-élémentaires, dans les perthuis fauniques et les fissures. Il est coloré en jaune orangé et assez bien orienté (assez fortement biréfringent).

L'assemblage est de type granulaire au sommet, puis de type aggloméré à porphyrique dans la partie inférieure des horizons. La porosité d'ensemble est moindre que dans les horizons homologues des sols des basses terrasses avec une tendance au tassement provoquée par les éléments limoneux du squelette qui viennent remplir les espaces laissés vides par les éléments grossiers caillouteux. C'est surtout la porosité par fissures et chenaux qui est la plus développée.

b) - Sommet de l'horizon B.

Une différence essentielle avec l'horizon précédent se situe au niveau de la proportion de sables dans le squelette moyen qui est inversée par rapport à celle des limons. On observe beaucoup plus de quartz de grosse taille, compris entre 300 et 500 μ , très anguleux, en mélange avec la fraction limoneuse. Ces sables proviennent de la fragmentation des éléments grossiers caillouteux de type cristallin. Le type d'assemblage reste à tendance porphyrosquelique. Notons néanmoins, une augmentation de l'importance des revêtements argileux, en taille et en épaisseur le long des fissures. Ceux-ci prennent également une coloration plus soutenue située dans le jaune orangé à rouge, mais l'orientation n'est pas meilleure.

c) - Milieu de l'horizon B.

Aux éléments grossiers à composante siliceuse visibles dans les horizons de surface, s'ajoutent ici des galets cristallins qui sont en voie de désagrégation et de fragmentation déjà nettes, et où les phénomènes de genèse et de sortie d'argile sont largement amorcés pour les minéraux facilement altérables (feldspaths, micas, amphiboles). Ces éléments cristallins constituent des sources de départ d'argile et de fer (structure - donneur). Les éléments siliceux fonctionnent au niveau de leur propre porosité comme structures d'accueil ou structures pièges pour l'argile et le fer. Ainsi, dans les cailloux de grès, les pores créés par le départ des carbonates sont remplis d'oxydes de fer dans plus de 60 % des cas, avec différenciation centripète. Dans les éléments de quartzites, silexites et quartz, cette pénétra-

Tabl. 4 - 1

**CARACTÉRISTIQUES MICROMORPHOLOGIQUES DU STADE 2 :
LES SOLS DES MOYENNES TERRASSES**

Caractéristiques Horizons	Caractéristiques morphologiques Éléments grossiers	Squelette moyen ou fin	Plasma Assemblage.Sép. plasmique	Traits pédologiques	Degré d'altération
Horizons de surface A (0-40 cm) AB (40-70 cm)	Gros blocs et cailloux de quartzites, silexites, silex et quartz	Squelette > Plasma Limon grossier de quartz et quartzites + quelques sables grossiers	Ass. granulaire	- Porosité moindre par fissures - Remplissage des vides par limons - Quelques revêtements argileux (base)	Fragmentation assez complète des granites Début de ferruginisation des éléments siliceux
Sommet de l'horizon B (70-120 cm)	Idem ci-dessus	Squelette # Plasma Idem + quelques plagioclases	Ass. aggloméro-plasmique	Revêtements argileux plus nombreux, plus colorés (Faible orientation)	Idem ci-dessus
Milieu de l'horizon B (120-180 cm)	Blocs et galets de quartzites, silexites et quartz + cristallins	Squelette << Plasma Graviers + sables grossiers limons à dominante quartzreuse + quelques plagioclases séricitisés	Ass. porphyro-squelique Plasma-vosque séricite + lattisépique	ORG. PLASM. OPTIMUM - Cutanes argileux rouge + quelques papules + argile peu colorée et peu orientée - Porosité moindre	Arénisation et fragmentation des cristallins Structures pièges + struct. d'altération (silexites + granites)
Base de l'horizon B (180-220 cm)	Idem + cristallins plus nombreux	Squelette <<< Plasma Squelette moyen réduit = quelques sables quartzeux et feldspath	Ass. porphyro-squelique	- Cutanes argileux rouges épars + altéro-plasmation peu coloré	Cristallins en voie d'altération cristallophyllens fortement altérés Structures pièges dominantes à argile et à fer
Horizon BC (> 220 cm)	Idem ci-dessus + quelques calcaires ramollis	Squelette # Plasma Sable grossier et graviers quartzeux et feldspath	Ass. intertextique	Argilanes des grains autour des graviers et sables	Dissolution presque complète des éléments calcaires (restent quelques grès en voie de décalcification)

tion de fer s'accompagne fréquemment de la création d'un halo gris (opaque en L.P) qui entoure l'élément et qui fait suggérer l'existence de formes de silice mal cristallisées. Au cours des phénomènes d'évolution que nous décrivons, c'est la première fois que l'on voit coexister au sein d'un même horizon ces deux types de structures. Dans les horizons de surface, l'état de conservation des cristallins était insuffisant, de sorte que ces structures primaires originelles avaient déjà complètement disparu.

Le squelette moyen est constitué essentiellement par un mélange de graviers, de sables et de limons : la dominante est encore à base de sables limoneux, quartzeux, toujours très anguleux (dimensions de 30μ et $200-400\mu$ en mélange), avec chenaux remplis de sables plus grossiers et de graviers (600 à 800μ). Les éléments feldspathiques sont très mal conservés quand ils sont isolés; par contre ils sont nombreux au sein des galets, où ils sont déjà en cours de séricitisation et d'argilification nettement plus poussée que dans les stades 1.

Le plasma présent forme avec ce squelette un assemblage de type porphyroscellé. Sa répartition est néanmoins irrégulière et il prend un aspect composite : vosquelsépique et localement lattisépique, comprenant notamment :

- des revêtements argileux et argilo-ferriques jaunes ou rouge-orangé, très orientés, quelquefois composés (plusieurs générations de revêtements) associés aux vides et aux fissures (pl.II - phot.9),
- de gros papules recoupés et complexes, fortement colorés en rouge et biréfringents, qui évoquent des phénomènes de brassage interne du fait des gonflements (réhumectation - assèchement) ou du fait d'actions périglaciaires possibles (pl.III - phot.13),
- des secteurs plasmiques beaucoup moins bien orientés, qui correspondent aux zones d'altéropiasmation localisées au sein de l'horizon autour ou au sein des galets cristallins en voie de décomposition (pl.II - phot.10).

Ainsi, les phénomènes de réorganisations plasmiques deviennent importants et ont tendance à devenir dominants. Ils se traduisent par une diminution générale de la porosité.

La très forte altération des minéraux ferro-magnésiens libère une grande quantité de fer qui, sur le plan microscopique, se manifeste sous deux formes essentielles :

- fixation sur les argiles en leur conférant une coloration rouge orangé assez intense et uniforme;
- remplissage des porosités secondaires des éléments quartzeux, gréseux et quartzitiques (incomplètement) par des amas floconneux bruns ou noirs ou des ferri-argilanes rouges (cf. pl. V - phot. 19 et 20). L'existence de cette seconde forme de fer tend bien à prouver qu'il existe un excès de fer par rapport à celui qui peut être immédiatement fixé et adsorbé sur les surfaces des argiles (cf. par.331). Mais les individualisations de fer gardent la forme d'amas diffus et ne prennent jamais la forme de concrétions ou de nodules indurés et concrétionnés.

d) - Base de l'horizon B.

Par suite de la disparition presque complète du squelette moyen, on a ici juxtaposition d'éléments grossiers caillouteux et d'un plasma argileux.

Certains éléments grossiers comme les granites et les gneiss continuent à fonctionner comme structures "donneur" capables de fournir une argile d'altéro-plasmation, très peu organisée et peu biréfringente. D'autres se comportent comme des structures pièges. L'argile occupe surtout les systèmes à porosité plus grossière (silex), le fer paraît davantage localisé dans les silexites ou les grès siliceux à système de porosité en général plus fin. Mais au niveau de l'organisation plasmique le point le plus important est constitué par la présence de nombreux revêtements argileux, épais, fortement colorés et bien orientés. Le plasma argileux présent dans cet horizon est un plasma d'illuviation provenant en grande partie de l'argile produite par altération dans les niveaux situés un peu plus haut au sein de l'horizon B. Ce plasma illuvial est largement prépondérant sur le squelette avec qui il forme un assemblage porphyrosquelique dense. Sa position dans le profil indique clairement que l'approfondissement des sols est d'abord sous la dépendance d'une dynamique de soutirage.

122. Stade 3 (cf. tableau 4.2).

Nous regroupons ici, dans une même description, les observations réalisées sur plusieurs profils correspondant soit au niveau mindélien inférieur (terrasse de Fouillouse dans la plaine de Valence à dominante calcaire) soit au niveau mindélien supérieur (terrasse d'Agnin, terrasse de Pact-Tourdan dans la Bièvre-Valloire, à composante rhodanienne modale).

a) - Les horizons de surface Ap ou A₁ (0-25 à 30 cm)

Dans les sols des terrasses d'Agnin et de Tourdan, les éléments grossiers caillouteux et graveleux sont souvent dilués au sein d'une masse sableuse (Agnin) ou limoneuse (Tourdan), représentant des produits résiduels d'altération.

Dans ces conditions le squelette moyen ou fin est largement prépondérant sur le plasma, il est constitué de sable fin (300-500 μ) ou de limons grossiers (20 à 50 μ) à large dominante quartzeuse, avec quartz à angles émoussés, irrégulièrement craquelés et quelques silex. On n'observe pratiquement pas de micas : seuls quelques rares plagioclases subsistent en très mauvais état (stade sérécite déjà dépassé).

Le plasma est peu abondant, coloré en brun ou en jaune clair avec aspect floconneux et dispersé, réparti autour des grains du squelette quartzeux. C'est un altéro-plasma assez typique avec assemblage du type granulaire à intertextique.

Les éléments grossiers présents, graveleux ou caillouteux, sont constitués de silex ferruginisés ou en voie de ferruginisation centripète : ils sont fortement colorés en noir ou en brun. A côté de ces éléments existent des sables quartzeux craquelés avec fissures bourrées de fer. On observe

la présence d'amas ferrugineux de 100 à 150 μ qui sont en voie de croissance et se présentent sous forme de concentrations de grosse taille (300 à 800 μ), assez nettement consolidées voire indurées.

Sur la terrasse de Fouillouse, ce type d'horizon fait souvent défaut par suite de phénomènes possibles d'érosion et de troncature, et surtout à cause des remaniements culturaux qui ont occasionné des mélanges avec l'horizon AB sous-jacent. Les caractéristiques micromorphologiques sont alors proches de celles de l'horizon sous-jacent.

b) - L'horizon A₂B à graviers (30 à 70 cm).

Il y a prépondérance encore plus nette d'un squelette grossier et moyen par rapport à un plasma pratiquement absent de l'horizon.

Les éléments grossiers caillouteux et graveleux sont composés de galets fragmentés de 10 à 20 mm et de graviers de 2 à 5 mm. Ils comportent essentiellement des silex et des quartzites à cristallisation fine et porosité fermée, non ou peu altérés mais simplement remplis sur leurs pourtours par du fer. Existente aussi des éléments de silex à porosité plus importante (de 50 à 200 μ) remplis soit de fer, soit d'argile ferrugineuse assez fortement orientée. Certaines quartzites sont par ailleurs complètement ferruginisées et prennent l'aspect de concrétions ferrugineuses : ces éléments constituent des pièges à argile et à fer qui sont plus ou moins remplis suivant leur porosité propre et leur position au sein de l'horizon.

Le squelette moyen est constitué de sable et limon avec forte proportion d'éléments compris entre 300 et 500 μ ; il s'agit uniquement de quartzites, silex et quartz, l'ensemble ayant une tendance à la fragmentation et au débit en éléments limoneux (20 à 50 μ) plus petits qui se concentrent en certaines zones où ils constituent des secteurs tassés. Il n'y a pas de micas ni de feldspaths visibles.

Le plasma comprend 2 formes : un plasma argilo-humique, brun, floconneux et dispersé, réparti autour du squelette moyen (80 %) et d'un autre côté un plasma argileux et argilo-ferrugineux (20 %), fortement coloré et moyennement biréfringent constituant des amas localisés dans certains secteurs autour des vides et de certaines fissures. Ceci est l'indice d'un appauvrissement de cet horizon en argile. Au fur et à mesure qu'on descend dans l'horizon, le plasma du second type a tendance à prendre le pas sur celui du premier type, et on passe d'un assemblage intertextique à un assemblage aggloméro-plasmique localisé.

c) - Sommet de l'horizon B (70-100 cm)

Lorsqu'on passe au sommet de l'horizon B, on assiste à une nette augmentation de la masse plasmique par rapport au squelette. Suivant la composition originelle des cailloutis, le plasma et le squelette restent en proportions voisines (cas des cailloutis rhodaniens) ou il y a nette dominance du plasma (cailloutis isérois à dominante calcaire).

Le squelette grossier est constitué des cailloutis siliceux résiduels remplis de fer et d'argile ferrifère. Les cailloutis cristallins sont

**CARACTÉRISTIQUES MICROMORPHOLOGIQUES DU STADE 3 :
LES SOLS DES HAUTES TERRASSES (FERRETTO)**

Horizons / Caractéristiques	Caractéristiques morphologiques Éléments grossiers	Squelette moyen ou fin	Plasma Assemblage, Sép, plasmique	Traits pédologiques	Degré d'altération
Horizons de surface A ₁ (0-30 cm)	Blocs et cailloux de quartzites, silixites, silex et quartz	Squelette >>> Plasma Sables ou limons grossiers, quartzeux et quartzitiques	Ass. granulaire à intertextive	Graviers ferruginisés Amas et concentrations ferrugineuses plus ou moins indurées	Quartz craquelés Altération complète des feldspaths et ferro-magnésiens.
Horizons à graviers (30-70 cm)	Galets idem ci-dessus + graviers siliceux fragmentés (10-20 mm + 2-5 mm)	Squelette >>> Plasma Sables de quartzites, silex, quartz	- Plasma squelespique peu orienté (80 %) - Plasma vosépique coloré (20 %) Ass. intertextive à aggloméro-plasmique	Graviers de silixites et quartzites piégés à argile et fer	Tendance nette à la fragmentation des éléments graveleux
Sommet de l'horizon B	Galets roulés de quartzites, silixites, silex et quartz Pas de cristallins	Squelette # < Plasma Sables fins et sables grossiers de quartzites, quartz, silixites Relictes de sables feldspathiques et micacés argilifiés	Ass. intertextive ou aggloméro-plasmique - Altéro-plasma (50 %) - Plasma d'illuviation (50 %)	Amas ferriques dans plasma et éléments grossiers Revêtements argileux augmentant du sommet à la base	Argilification intense des feldspaths et micas au sein du plasma
Horizon B Milieu et passage à la base	Mêmes éléments siliceux que ci-dessus + cristallins et cristallophylliens	Squelette >>> Plasma Quelques graviers et sables grossiers de quartz et quartzites	Ass. porphyro-squelique - Plasma d'altération argilo-limoneux peu coloré, asépique (30-40 %) - Plasma argileux rouge omnisépique (60-70 %) En cours de colmatage : début de perturbation de l'organisation plasmique par mouvements de pression et brassages internes	Altéro-plasma in situ Argilanes et papules + cutanes de contraintes Amas de fer amorphe	Argilification en cours des mêmes minéraux que ci-dessus au sein même des cristallins

pratiquement tous intégrés au fond matriciel par fragmentation mécanique et ils ne subsistent que sous forme de relictas de minéraux tels que feldspaths et biotite en voie d'altération poussée au sein du squelette moyen.

Le squelette moyen est constitué par des sables fins et des sables grossiers (300-500 μ et 100-150 μ) associés à quelques limons grossiers (20 à 50 μ). On y observe une dominance de quartzites, quartz et silexites à côté desquels, il y a lieu de mentionner dans les zones de passage vers le milieu de l'horizon B des feldspaths ainsi que des relictas de biotites. Ces éléments sont à l'origine de belles figures d'altéro-plasmation avec fabrication d'argile mal orientée et plus ou moins colorée. On assiste, en effet, à une intense séricitisation et argilification des feldspaths potassiques ainsi qu'à d'importants phénomènes d'exsudation du fer hors des réseaux des micas qui s'accompagnent aussi d'argilisation in situ. Cette exsudation du fer se manifeste sous 2 formes : fixation du fer sur les argiles produites qui sont fortement colorées et aussi individualisation d'amas ferriques bruns à noirs au sein même du plasma ou sur les éléments grossiers siliceux.

Le plasma argileux comprend 2 formes principales :

- Altéroplasma assez intimement lié aux minéraux altérables cités (pl.II - photo 10). Il représente encore 50 % de la masse plasmique dans la partie supérieure de l'horizon B et sa proportion diminue au fur et à mesure qu'on descend vers le milieu de l'horizon.
- Pédoplasma fortement orienté et coloré. Il correspond à une argile qui n'a pas forcément subi de longs transports et qui provient essentiellement de la partie supérieure de l'horizon B lui-même. Son importance augmente lorsqu'on descend vers le milieu de l'horizon B.

On observe généralement une dominance du premier type de plasma dans les terrasses du type isérois où l'organisation plasmique est du genre aggloméré avec squelette peu abondant noyé au sein d'un plasma mal ou peu organisé; au contraire, dans les terrasses à composante rhodanienne, l'organisation plasmique est du type intertextique, avec équivalence du plasma et du squelette mais dominance des phénomènes d'illuviation par rapport aux phénomènes d'altération (pl.III - photo 11).

d) - Milieu de l'horizon B et passage à la base de l'horizon.

Avec cette portion d'horizon, on atteint les niveaux du profil les plus argileux et les plus rubéfiés. Ceci se traduit par une nette prédominance du plasma par rapport au squelette, avec acquisition d'un assemblage élémentaire porphyrosquelique.

Les éléments grossiers présents (30 %) comprennent :

- Les cailloutis résiduels siliceux qui fonctionnent toujours comme structures pièges,
- Les cailloutis cristallins ou cristallophylliens qui se comportent essentiellement comme fournisseurs d'argile issue de l'altération des minéraux constitutifs. Suivant la taille de ces éléments et suivant leur composition originelle, le degré d'altération atteint peut être très variable. Mais, de façon générale, les minéraux feldspathiques les plus altérables

sont soit à un stade avancé de séricitisation, soit à un stade de "kaolinisation" plus ou moins poussée. Ils tendent à une intégration presque complète au plasma lorsqu'on passe du centre à la périphérie du galet. Les minéraux micacés font apparaître des figures d'exsudation du fer et d'exfoliation qui précèdent généralement des stades d'argilisation sur place (atteints dans 30 % des cas). Il peut aussi se produire une oxydation importante et superficielle des biotites avec constitution d'une pellicule brunnâtre de fer qui constitue une couche de protection empêchant le phénomène d'altération de se poursuivre plus loin. Les micas de type muscovite paraissent résister à l'altération; leur résistance variant avec leur taille. Les éléments les plus grossiers semblent peu touchés et conservent longtemps un aspect classique.

Le squelette moyen (10 %) est constitué uniquement par quelques graviers et sables grossiers, de quartzites, silex et quartz noyés au sein de la masse plasmique. Il n'y a plus de feldspaths ni micas visibles et identifiables au sein de cette partie du squelette.

Le plasma argileux (60 %) domine largement et revêt 2 formes essentielles :

- Pédoplasma, fortement coloré et très ferrifère qui constitue les 3/4 de la masse plasmique. Il est constitué avant tout par des revêtements d'argile plus ou moins épais; fortement cassés et recoupés, et par des papules complexes. L'ensemble forme une masse assez compacte, non poreuse, parcourue parfois par des fissures de dessiccation.

Dans la partie basale de l'horizon apparaissent des zones de concentrations importantes en fer qui prennent des figures d'orientation grossièrement parallèles à celles des revêtements argileux (début du phénomène de sursaturation des argiles : pl.V - phot. 21 et 22) et se présentent aussi sous formes d'amas non concrétionnés aux limites floues et qui n'obéissent à aucune loi évidente de répartition.

- Un second type de plasma argileux et argilo-limoneux, jaune clair ou orangé, localisé de long de fissures ou de zones de circulation préférentielle qui forme 1/4 du plasma global. Il est aussi fortement biréfringent et recoupe en général les structures précédentes qui constituent un fond plus ou moins continu. Il est donc plus récent que le précédent. Il est souvent en relation avec des relictés de structures minérales de type feldspathique, mal conservées à ces niveaux. Il semble donc bien résulter de transports plus limités d'argiles issues directement de la transformation par altération des minéraux feldspathiques : ce qui explique sa coloration plus claire (moindre richesse en fer) et son orientation relativement moins nette. Ce plasma serait donc un plasma d'altéroplasmatation ayant subi des phénomènes de transport beaucoup plus limités au sein même de l'horizon où il s'est formé (pl.X - photos 43, 45, 46).

L'ensemble de ces 2 types de plasma constitue une masse complexe, qui est bien en perpétuel remaniement. Les phénomènes de transport illuviaux et de redistribution d'argile y jouent un rôle important mais il faut leur ajouter les phénomènes de brassage liés aux processus de pression et de gonflement qui sont bien mis en évidence par l'allure omnisépique des séparations plasmiques existantes, lesquelles affectent préférentiellement le plasma du premier type, où la proportion d'argile gonflante pourrait être dominante (pl.III - photo 14).

123. Conclusions : organisation plasmique des horizons de "diagnostic".

L'étude microscopique qui précède fait apparaître un certain nombre de traits importants, qui permettent de jalonner la progression des phénomènes d'altération rubéfiante. Ces points intéressent essentiellement l'organisation plasmique des horizons de diagnostic qui se différencient au cours de cette deuxième phase évolutive.

a) - Organisation des horizons appauvris ou "lessivés".

Dans le stade évolutif 2, au sein des horizons de surface encore peu lessivés, le plasma reste important mais très peu ou non organisé, à cause de la destruction quasi-complète des structures primaires liée à la forte altération des minéraux feldspathiques et ferro-magnésiens et par suite de la très forte activité biologique qui contribue encore au brassage et aux remaniements des argiles produites.

Dans les sols fortement rubéfiés des hauts-niveaux de terrasses (stade 3), la différenciation du profil s'affirme et devient de plus en plus nette lorsque nous allons vers les sols les plus vieux. Cette différenciation est la conséquence d'une opposition nettement amorcée entre les horizons de surface, qui sont de plus en plus appauvris et les horizons profonds qui deviennent de plus en plus argileux. Au sein de ces horizons de surface, s'individualise un horizon gravelo-caillouteux typique caractérisé par son appauvrissement extrême en plasma argileux, par son bas niveau d'organisation plasmique et par sa très forte porosité inter-élémentaire.

L'approfondissement de ces horizons appauvris apparaît clairement lorsqu'on compare la position occupée dans les profils par les graviers siliceux remplis de fer et d'argile. Dans le stade 2, ces éléments pièges se cantonnent surtout dans le sommet et le milieu des horizons B. Dans le stade 3, nous pouvons les observer sur toute la partie basale des horizons appauvris. Ceci constitue la preuve de l'approfondissement fonctionnel de ces horizons aux dépens des horizons B; les éléments siliceux représentant de véritables structures relictées de ces anciens horizons B, qui restent provisoirement épargnées par les phénomènes d'appauvrissement.

b) - Organisation plasmique des horizons B.

Dans les horizons B dits d'accumulation, par contre, le plasma domine largement et confère aux horizons leurs caractéristiques essentielles. Du fait des phénomènes d'accumulation de matière par lessivage et du fait des phénomènes de transformation par altération des minéraux, ces horizons acquièrent progressivement une organisation plasmique de plus en plus complexe (planches II, III, IV).

Entre les horizons B des stades 2 et ceux des stades 3, il y a progression continue des teneurs en argile, ce qui entraîne une dominance nette du plasma argileux par rapport au squelette grossier et au squelette moyen, avec acquisition d'un assemblage aggloméro-plasmique, puis porphyrosquelique. Cette augmentation de la masse plasmique est la conséquence :

- des phénomènes d'altéroplassation qui sont légèrement prépondérants dans le sommet de l'horizon B; leur est associée une argile d'exsudation non orientée et issue des minéraux primaires;
- des phénomènes d'illuviation qui dominent au milieu et à la base de l'horizon B. Ils résultent surtout de transferts de masses argileuses, devenant de plus en plus considérables depuis le sommet du B jusqu'à la base du B; leur correspondent des revêtements argilo-ferriques épais, ainsi que des gros papules recoupés et complexes. Ils sont peu nombreux dans les stades 2 et augmentent dans les stades 3.

Ces deux types de structures d'altération et d'illuviation coexistent partiellement au sein même de certains galets présents à la base de l'horizon B. Ces phénomènes sont d'ailleurs corrélatifs de la destruction des structures primaires très nette jusqu'au sommet de l'horizon B. Le maintien de ces structures n'est réalisé qu'à la base du B au sein même des galets et des éléments caillouteux résiduels les plus grossiers et les plus résistants.

c) - Evolution progressive de l'organisation plasmique des horizons B.

L'orientation et l'organisation existant dans les horizons B des stades 2 correspondent, en réalité, à un optimum transitoire, puisqu'on devine déjà dans les niveaux les plus argillifiés (base du B) les signes précurseurs qui vont contribuer à la destruction de cette organisation (phénomènes de pression, phénomènes de gonflement). Du point de vue de l'évolution des processus, ces stades apparaissent donc comme des faciès d'équilibre précaire.

En effet, comme nous pouvons le voir, dans les stades d'évolution 3, cette concentration d'argile aboutit à un remplissage complet de la porosité inter-élémentaire, se traduisant par l'apparition de phénomènes de compaction et de gonflement et par des variations énormes de pression lors des phases d'alternances de dessèchement et d'humectation de l'horizon. Ces phénomènes ne sont pas seulement en relation avec une augmentation des teneurs en argile, mais sont aussi la conséquence des variations dans la qualité et dans la nature des argiles présentes au sein de cet horizon B (proportion importante de smectites). D'où une série de mouvements internes qui donnent à l'horizon B de ces sols une dynamique particulière et qui entraînent corrélativement la dégradation incessante de son organisation (gros papules, cutanes recoupés, assemblage omnisépique).

L'organisation micromorphologique des différents horizons apparaît en définitive, comme le reflet d'un équilibre dynamique entre deux groupes de processus : processus d'entraînement en suspension sous formes solides engendrant des mouvements de matière (argile en particulier et limons à un degré moindre) et processus d'altération proprement dits que nous pouvons résumer maintenant au travers de l'évolution des cailloutis.

2 - ALTERATION DES CAILLOUTIS : ASPECTS ESSENTIELS ET ESSAI DE QUANTIFICATION DU PHENOMENE DE DESAGREGATION.

21. EVOLUTION DES PRINCIPAUX TYPES DE CAILLOUTIS.

Au cours de l'évolution correspondant à ces stades, nous assistons à un certain nombre de changements fondamentaux dans la gradation des processus d'altération intéressant les éléments grossiers caillouteux (cf. figure 7.1).

Nous ne reviendrons pas sur l'évolution des éléments calcaires, dont la dissolution est complète depuis le sommet des profils jusqu'à la base des horizons B, niveau dans lequel apparaissent encore certains galets en cours de solubilisation (galets ramollis, galets avec auréoles de dissolution : cf. pl.X - phot.41).

En ce qui concerne les galets cristallins et cristallophylliens, nous assistons à une progression graduelle de leur altération depuis les stades 2 jusqu'aux stades 3 ; altération et fragmentation mécanique par pénétration d'argile gonflante, altération chimique elle-même qui va en croissant du bas vers le haut des profils. Cette progression dans l'intensité de l'altération apparaît nettement. Les éléments cristallins n'ont en effet, conservé leur structure originelle que dans la partie inférieure de l'horizon B; dès qu'on remonte dans le profil, on ne retrouve plus que des reliques de matériaux qui ont tendance à se fractionner et à se déliter en particules de plus en plus fines, pour atteindre la taille des graviers et des sables dans les horizons de surface.

Sur le plan des minéraux constitutifs eux-mêmes, voici comment nous schématiserons leurs transformations :

- Dans le cas des feldspaths, au sein de l'horizon B (du sommet jusqu'au milieu de l'horizon), nous observons une argilification pratiquement complète ou tout au moins une séricitisation poussée favorisant un débit en éléments plus fins, soit de la taille des limons fins (séricite ou saussurite), soit en amas argileux (kaolinite). Dans les horizons de surface, ces minéraux feldspathiques ont pratiquement disparu ou ne sont plus sûrement identifiables, car déjà largement intégrés au fond matriciel.

- Pour les micas, au sein de cette même portion de l'horizon B, nous observons encore un départ de fer (exsudation), une exfoliation partielle ou totale et parfois (dans les parties plus profondes de l'horizon B) une argilisation presque complète aboutissant à l'individualisation de gros paquets d'argile qui apparaissent bien comme le résultat de la transformation in situ de ces minéraux micacés. Dans les horizons de surface, les micas-biotite ont subi une évolution complète, aboutissant à leur disparition totale.

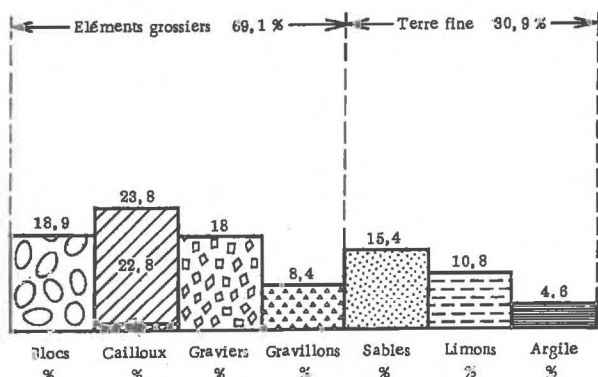
Les cailloutis siliceux sont de 2 types. Certains apparaissent comme le squelette résiduel issu de la décalcarisation de roches originellement calcaires (anciens grès calcaires). Ils subissent une simple fragmentation mécanique avec débit caractéristique en "rondelles". Mais ce sont les éléments du 2ème type comprenant quartzites, silex et silexites qui sont les plus abondants voire dominants par accumulation relative par rap-

Fig. 4 - 1

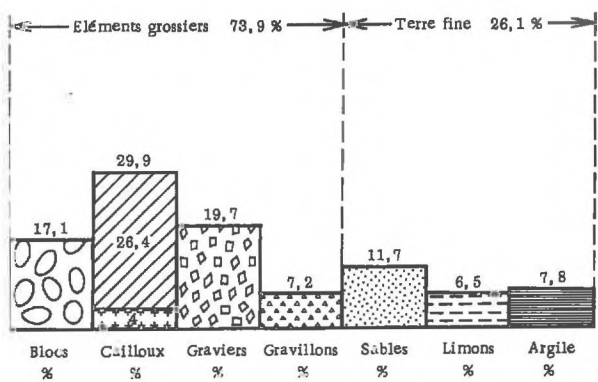
**ÉVOLUTION DES ÉLÉMENTS GROSSIERS ET DE LA TERRE FINE
DANS LES SOLS DES MOYENNES ET DES HAUTES TERRASSES
(en pour cent de poids)**

Sols des moyennes terrasses

(épaisseur 0,50 m)

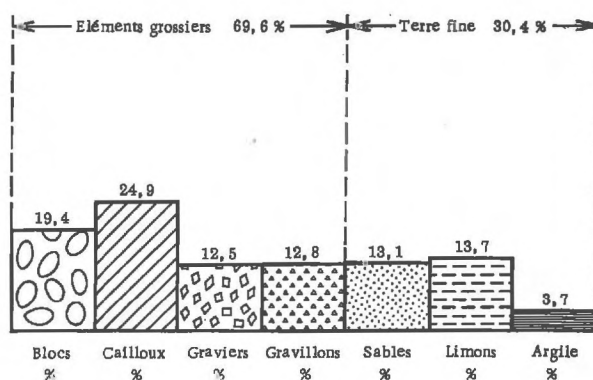


(épaisseur 1,50 à 2,50 m)



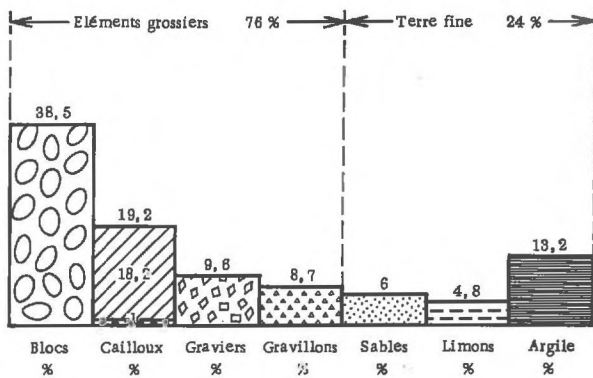
Horizon A

(épaisseur 0,50 m)



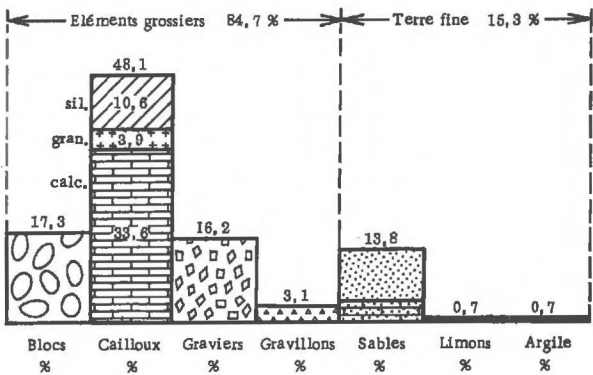
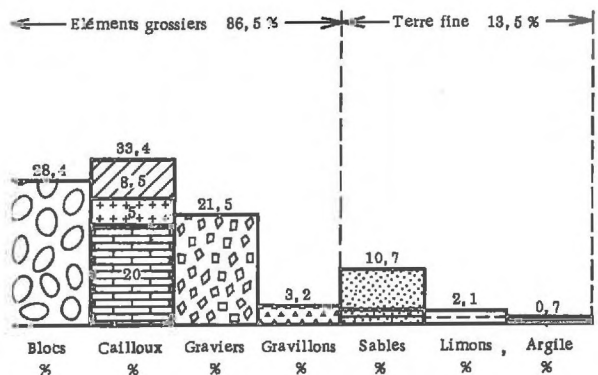
Horizon B

(épaisseur 3 à 5 m)



Horizon C

(matériau-mère)



port aux autres éléments (calcaires et granites) qui sont détruits par altération.

L'altération de ce type de cailloutis siliceux est assez limitée. Seuls les grès-quartzites présentant des impuretés ferriques en inclusions semblent évoluer et exsuder peu à peu leur fer par dissolution. Les autres matériaux siliceux (silex-silexites) servent plutôt de pièges pour les substances minérales qui circulent soit en solution (fer), soit mécaniquement (argile). Il y a donc remplissage progressivement croissant en produits ferrugineux. Mais la question se pose de savoir si le fer a simplement rempli les porosités préexistantes dans ces roches ou si, au contraire, ce fer n'a pas contribué à façonner une porosité propre (épigénie de la silice par le fer) qu'il occupe et remplit progressivement. (D. NAHON - 1976)

22. DESAGREGATION PHYSIQUE DES GALETS CRISTALLINS : PRODUCTION CORRELATIVE DE GRAVIERS ET DE TERRE FINE.

L'étude microscopique a montré que les transformations subies par certains minéraux constitutifs des galets cristallins correspondaient à une lente maturation conduisant à leur fragilisation progressive et à leur désagrégation physique plus ou moins complète.

Pour confirmer et quantifier ces observations, on a essayé de suivre l'évolution relative de la masse des éléments grossiers et celles des fractions graveleuses et "terre fine" dans les horizons majeurs des profils de sols. Les résultats obtenus sont rassemblés dans la figure 4.1. Sans entrer dans le détail de l'interprétation, nous pouvons doré et déjà faire apparaître un certain nombre de points :

- Au niveau des éléments grossiers caillouteux, on observe :

- . une dissolution complète des cailloutis calcaires intéressant ici des épaisseurs beaucoup plus considérables que dans le stade 1;
- . une disparition progressive des roches cristallines aussi bien dans les horizons de surface que dans les horizons B des sols qui s'affirme nettement lorsqu'on passe du stade 2 au stade 3;
- . une production assez importante d'éléments du type graviers, qui est évidemment une conséquence des phénomènes de désagrégation de ces éléments cristallins grossiers (blocs et cailloux).

- Sur le plan de la terre fine qui est totalement décarbonatée, il se produit un affinement général se traduisant par une augmentation spectaculaire des teneurs en limons et en argile, non seulement par rapport au matériau originel, mais aussi lorsqu'on passe du stade 1 au stade 2 et surtout au stade 3.

3 - CARACTERISTIQUES DU RESIDU D'ALTERATION : LA FRACTION "TERRE FINE"

31. CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES GLOBALES.

Les résultats rassemblés dans les tableaux 4.3 et 4.4 illustrent assez bien les caractéristiques physico-chimiques de ces 2 stades évolutifs.

Granulométrie

Les variations qui se produisent au sein de la seule fraction fine fournissent déjà d'utiles indications sur la progression de l'évolution. Ainsi, pour les 2 stades étudiés, les faits les plus importants sont constitués par l'enrichissement très net en argile dans les horizons B des profils, la diminution des fractions sableuses, les variations plus complexes des fractions limoneuses.

En ce qui concerne la fraction "argile", on observe nettement 2 types de variations. Les variations verticales sont corrélatives de la différenciation des profils, et viennent confirmer les observations morphologiques et microscopiques effectuées plus haut. Elles sont l'amorce d'une opposition nette entre les horizons de surface qui conservent des teneurs en argile voisines de celles observées dans les premiers stades d'évolution et les horizons B qui subissent un enrichissement important en argile (passage de 15 % à 30 %, puis à 50-60 % d'argile). Les variations existant du stade 2 au stade 3 expriment la progression graduelle des processus d'évolution : progression dans l'intensité de l'altération mais aussi progression de l'importance des phénomènes d'entraînement en suspension sous formes solides.

Pour la fraction "sableuse", les diminutions assez généralisées auxquelles on assiste sont la conséquence de la dissolution de la fraction calcaire et de la désagrégation physique des fractions quartzo-feldspathiques.

Enfin, l'évolution des fractions limoneuses est grossièrement l'inverse de celle constatée pour l'argile, puisqu'on assiste plutôt à des augmentations des teneurs en limons dans les horizons de surface et à un maintien, voire à une diminution, de ces teneurs dans les horizons B. Ceci indique que dans ces phases évolutives, les phénomènes d'altération jouent le rôle essentiel pour la répartition de ces fractions limoneuses à l'intérieur des profils : les phénomènes d'entraînement et de redistribution n'interviennent encore que faiblement pour ces stades.

Réaction des sols. Complexe absorbant

Dans le stade 2, la réaction des sols reste encore voisine de la neutralité (pH situés entre 6 et 7) avec un complexe absorbant qui se maintient au voisinage de la saturation. L'évolution devient plus marquée dans le stade 3, surtout dans les sols développés sur les plus vieux niveaux (pH situé autour de 5). Une tendance nette à l'acidification se manifeste qui s'accompagne d'une désaturation marquée et que nous pouvons rapprocher de la différenciation morphologique d'horizons lessivés ou appauvris. Nous voyons aussi que les processus de lessivage et d'appauvrissement en argile précèdent toujours les phénomènes de lixiviation des bases. Cette désaturation du complexe ne se conserve d'ailleurs nettement que sous témoins forestiers

CARACTÉRISTIQUES PHYSICO - CHIMIQUES DES SOLS DES MOYENNES TERRASSES : STADE D'ÉVOLUTION N° 2

A - EXEMPLES DE LA RÉGION DE VALENCE (confluent Rhône-Isère)

Profil Allixan-St-Marcel (Menuiserie)

Hz.	Profondeur cm	Granulométrie %						Matière organique %				pH eau	CO ₂ Ca %	
		TF	SG	SF	LG	LF	A	MO	C	N	C/N		total	actif
Ap	0-20	45	36,5	21,0	15,5	14,6	10,1	2,3	0,9	0,08	10,7	5,5	-	-
AB	20-60	35	35,3	22,2	13,1	16,4	12,4	0,7	0,3	0,04	6,6	6,1	-	-
B ₁	60-80	29	38,9	18,2	9,3	19,7	13,3	0,6	0,2	0,04	5,6	6,0	-	-
B ₂₁	110-120	32	29,9	25,8	12,4	20,9	11,0					6,4	-	-
B ₂₂	130-140	23	27,6	21,9	7,3	26,5	16,7					6,2	-	-
B ₂₃	170-190	27	32,8	12,2	3,9	29,4	21,7					6,3	-	-
B ₂₄	200-220	27	16,5	10,1	13,3	28,3	31,8					6,4	-	-
BC	220-250	11	46,7	11,0	4,7	21,4	16,2					8,5	-	-
C	260	13	52,8	6,0	17,7	18,3	5,2					8,9	45,5	4,5

Hz.	Cations échangeables me/100 g					Taux sat.	Fe ₂ O ₃ %		P ₂ O ₅ %/..
	Ca	Mg	K	Na	T		total CIH	libre Deb.	
Ap	4,5	0,2	0,3	0,03	6,7	75	1,71	1,00	0,19
AB	4,7	0,4	0,1	0,03	6,9	75,8	1,86	1,14	0,02
B ₁	10,0	0,7	0,1	0,08	14,0	77,3	3,43	1,43	0,02
B ₂₁	10,0	0,5	0,1	0,13	12,7	84,5	2,86	1,71	0,04
B ₂₂	17,9	1,4	0,2	0,15	26,1	75,2	4,86	3,29	0,04
B ₂₃	17,9	2,6	0,2	0,2	26,6	78,6	5,15	3,43	
B ₂₄	16,5	3,5	0,2	0,2	24,8	82,2	5,00	3,29	
BC	14,2	3,3	0,2	0,3	17,6	sat.	3,86	2,71	
C	23,5	0,3	0,1	0,1	4,3	sat.	1,67	1,22	

Profil 145 (St-Marcel-les-Valence ; Chardonnet)

Hz.	Profondeur cm	Granulométrie %						Matière organique %				pH eau	CO ₂ Ca %	
		TF	SG	SF	LG	LF	A	MO	C	N	C/N		total	actif
Ap1	0-30	35	36,0	21,7	13,9	15,1	11,2	2,1	1,2	0,12	10	6,5	-	-
Ap2	30-55	33	41,8	16,6	13,2	14,6	11,7	2,1	1,2	0,12	10	6,8	-	-
B ₁₁	55-85	29	45,8	14,1	12,5	15,6	11,2	0,8	0,4	0,08	8	7,3	-	-
B ₂₁	85-145	27	36,4	18,4	5,4	13,6	26,2					7,3	-	-
B ₂₂	145-160	27	36,6	8,6	6,3	11,6	36,9					7,4	-	-
Cca	160-180	13	88,3	1,5	2,4	5,1	2,7					8,6	53	2

Hz.	Cations échangeables me/100g					Taux sat.	Fe ₂ O ₃ %		P ₂ O ₅ %/..
	Ca	Mg	K	Na	T		total CIH	libre Deb.	
Ap1	6,82	0,49	0,12	0,09	7,5	95,1	1,81	1,03	0,04
Ap2	6,58	0,59	0,18	0,10	7,4	98,8	1,90	1,04	0,04
B ₁₁	7,99	0,42	0,08	0,02	3,6	88,4	2,62	1,37	0,02
B ₂₁	16,9	0,44	0,22	0,10	21,3	82,5	2,86	2,71	
B ₂₂	20,2	1,23	0,33	0,15	26,3	82,7	3,86	3,00	

B - EXEMPLES DE LA BIEVRE-VALLOIRE

Profil Lapeyrouse-Mornay (Carrrière)

Hz.	Profondeur cm	Granulométrie %						Matière organique %				pH eau	CO ₂ Ca %	
		TF	SG	SF	LG	LF	A	MO	C	N	C/N		total	actif
Ap A ₁	0-20	24	17,7	17,8	23,3	20,2	16,4	4,6	2,7	0,28	11,8	4,7	-	-
AB	30-60	24	18,7	16,7	19,3	21,6	21,7	2,0	1,2	0,1	11,8	7,9	-	-
B ₁₁	60-85	20	19,3	18,3	19,8	19,4	22,4	0,9	0,5	0,06	8,9	7,8	-	-
B ₁₂	100-150	17,5	32,9	15,9	13,9	18,6	18,4					7,5	-	-
B _{21t}	250-300	17,5	40,4	19,9	7,9	15,4	16,4					5,4	-	-
B _{22t}	300-350	17	31,4	16,4	7,9	21,0	23,3					4,6	-	-
C	500	13	37,8	49,3	4,3	4,5	4,1					8,9	29,8	2,1

Hz.	Cations échangeables me/100 g					Taux sat.	Fe ₂ O ₃ %		P ₂ O ₅ %/..
	Ca	Mg	K	Na	T		total CIH	libre Deb.	
Ap A ₁	4,0	0,55	0,04	0,38	11,1	44,8	2,07	1,43	0,14
AB	18,0	0,3	0,06	0,08	11,8	sat.	2,46	1,81	0,02
B ₁₁	8,0	0,18	0,04	0,08	9,9	83,8	2,54	1,81	0,02
B ₁₂	7,0	0,12	0,06	0,09	9,9	73,4	2,76	1,95	0,01
B _{21t}	3,0	2,4	0,06	0,11	10,4	53,5	2,79	2,35	0,13
B _{22t}	2,0	0,05	0,04	0,08	11,0	19,7	2,97	2,21	0,01
C						3,2	1,11	0,66	

Profil 146 : Epinouze-Rosay (milieu de terrasse)

Hz.	Profondeur cm	Granulométrie %						Matière organique %				pH eau	CO ₂ Ca %	
		TF	SG	SF	LG	LF	A	MO	C	N	C/N		total	actif
Ap	0-40	31	21,0	21,0	25,0	19,3	12,3	1,4	0,9	0,1	8,9	6,3	-	-
AB	40-80	32	20,5	17,3	22,5	24,1	15,6					7,1	-	-
B ₁	80-120	28	28,5	14,9	17,5	22,5	16,6					7,3	-	-
B _{2t}	120-200	26	26,5	8,5	5,0	14,2	45,9					8,9	-	-
C	500	15	33,1	50,7	7,2	1,7	1,3					8,7	30,6	3,7

Hz.	Cations échangeables me/100g					Taux sat.	Fe ₂ O ₃ %		P ₂ O ₅ %/..
	Ca	Mg	K	Na	T		total CIH	libre Deb.	
Ap	5,5	0,4	0,09	0,03	7,3	82,1	1,80	1,07	0,05
AB	7,7	0,5	0,10	0,04	10,3	80,9	2,90	1,71	
B ₁	8,7	0,6	0,13	0,07	11,6	32,3	3,27	2,00	0,05
B _{2t}	12,0	2,2	0,33	0,11	25,2	73,9	5,69	4,18	

CARACTÉRISTIQUES PHYSICO - CHIMIQUES DES SOLS DES HAUTES TERRASSES STADE D'ÉVOLUTION N° 3

A - EXEMPLES DE LA REGION DE VALENCÉ (confluent Rhône-Isère)

Profil V₃ : Fouillouse (Carrière Sandon)

Hz.	Profondeur cm	Granulométrie %						Matière organique %				pH eau	CO ₂ Ca %	
		TF	SG	SF	LG	LF	A	MO	C	N	C/N		total	actif
Ap	0-30	58	33,7	19,9	13,8	15,9	13,4	3,3	1,9	0,16	11,3	7,5	-	-
AB	30-50	53	29,3	22,7	16,1	17,2	13,9	0,8	0,5	0,06	8,6	7,8	-	-
B ₁ B ₂	50-70	45	32,8	10,9	8,8	14,2	32,8	0,5	0,3	0,04	6,6	7,7	-	-
B ₂₁ t	80-90	44	20,4	12,9	8,6	13,7	44,4				7,8			
B ₂₂ t	110-120	44	20,2	9,5	5,0	28,3	37,0				7,8			
C	200	18,5	80,2	5,8	3,5	7,4	3,1				8,5	48,8	5,0	

B - EXEMPLES DE LA BIEVRE VALLOIRE

Profil Vi 5 : Agnin-les-Guyons (secteur Aval)

Hz.	Profondeur cm	Granulométrie %						Matière organique %				pH eau	CO ₂ Ca %	
		TF	SG	SF	LG	LF	A	MO	C	N	C/N		total	actif
A ₀₀	0-2	40	39,6	25,2	9,7	10,8	6,4	8,3	4,2	2,2	18,9	5,2	0	-
A ₁	2-15	30	37,5	27,5	12,7	10,9	8,0	3,4	1,9	0,1	19,9	4,9	0	-
A ₂	15-40	13	36,3	30,6	12,3	10,1	9,4	1,3	0,8	0,04	20,0	4,8	0	-
AB	40-70	27	37,1	29,2	12,5	10,6	10,2	0,4	0,3	0,02	12,4	4,6	0	-
B ₂₁	70-130	29	31,9	28,2	10,4	13,0	16,5				4,9	0	-	
B ₂₂	130-150	28	29,0	9,0	4,7	12,5	44,8				4,7	0	-	
B ₂₃	200-250	29	25,3	10,8	4,9	22,1	36,9				5,4	0	-	
C	1500	18	41,7	44,2	8,2	5,1	0,8				8,5	23,4	2,0	

Hz.	Cations échangeables me/100 g					Taux Sat.	Fe ₂ O ₃ %		P ₂ O ₅ % assim.
	Ca	Mg	K	Na	T		total CIH	libre Deb.	
Ap	12,7	0,3	0,4	0,03	11,2	Sat.	2,00	1,71	0,10
AB	7,0	0,2	0,3	0,02	7,2	Sat.	1,71	1,57	0,01
B ₁ B ₂	16,5	0,4	0,15	0,09	20,0	86	3,72	3,15	
B ₂₁ t	22,5	0,7	0,15	0,15	25,8	91	4,86	4,3	
B ₂₂ t	26,0	1,4	0,2	0,2	30,6	91	5,72	4,86	
C					2		1,85	0,77	

Hz.	Cations échangeables me/100 g					Taux Sat.	Fe ₂ O ₃ %		P ₂ O ₅ % assim.
	Ca	Mg	K	Na	T		total CIH	libre Deb.	
A ₀₀	2,5	0,5	0,3	0,04	10,7	31,2	1,00	1,00	0,02
A ₁	0,5	0,3	0,1	0,03	5,6	16,6	1,00	0,98	0,01
A ₂	0,5	0,07	0,08	0,03	4,2	16,2	1,29	1,14	0,01
AB	0,5	0,13	0,05	0,02	4,6	15,2	1,43	1,29	0,01
B ₂₁	1,0	1,5	0,12	0,04	10,0	26,6	3,15	2,57	0,01
B ₂₂	3,0	2,6	0,15	0,09	20,5	28,5	4,72	4,00	0,01
B ₂₃	11,2	3,2	0,18	0,28	28,0	53,1	5,15	4,00	0,01

- 93 -

Profil 177 : Fouillouse (Est Village : milieu terrasse)

Hz.	Profondeur cm	Granulométrie %						Matière organique %				pH eau	CO ₂ Ca %	
		TF	SG	SF	LG	LF	A	MO	C	N	C/N		total	actif
Ap1	0-12	57	24,7	20,0	24,7	16,7	11,9	2,0	1,2	0,11	10,9	5,6	0	-
Ap2	12-30	56	21,6	20,0	26,3	16,7	13,0	1,7	1,0	0,10	10	5,8	0	-
B ₁	30-60	40	34,7	8,8	9,7	14,6	31,6	0,6	0,4	0,03	11,1	6,1	0	-
B ₂₁ t	60-90	35	38,0	9,2	1,5	16,5	34,8				5,4	0	-	
B ₂₂ t	120-140	35	43,8	3,0	8,5	13,7	31,0				5,5	0	-	
BC	140-150	25	68,3	4,9	9,8	4,4	14,6				8,1	25	2	
Cca	150-180	19,5	85,0	2,8	5,4	3,9	2,9				8,3	50	2,5	

Profil : Pact - Tourdan (secteur Amont : proximité avancée maximum glaciaire)

Hz.	Profondeur cm	Granulométrie %						Matière organique %				pH eau	CO ₂ Ca %	
		TF	SG	SF	LG	LF	A	MO	C	N	C/N		total	actif
Ap1	0-20	34	8,6	23,6	38,1	15,8	10,7	3,2	1,87	0,16	11,8	6,78	0	-
Ap2 (A ₂)	20-60	34	19,2	14,7	28,2	22,2	13,4	2,2	1,34	0,13	10,6	7,5	0	-
AB1	60-100	15	19,2	12,1	17,7	24,7	25,2	1,0	0,56	0,07	8,3	6,1	0	-
B ₂₁ t	100-170	35	14,4	5,9	5,9	10,9	62,9				4,6	0	-	
B ₂₂ t	170-250	35	13,1	5,1	4,1	10,0	67,7				4,65	0	-	
B ₂₃ t	250-300	35	22,0	6,5	4,9	9,9	56,7				4,9	0	-	
B ₂ t	300-350	30	38,2	14,2	4,2	7,9	35,5				5,0	0	-	
C1	1200	15	55,5	36,4	3,9	1,8	2,4				8,6	36,3	1,6	
C2	1500	15	81,9	13,6	0,5	1,7	2,3				8,9	16,7	1,0	

Hz.	Cations échangeables me/100 g					Taux Sat.	Fe ₂ O ₃ %		P ₂ O ₅ % assim.
	Ca	Mg	K	Na	T		total CIH	libre Deb.	
Ap1	4,2	0,3	0,38	0,1	6,0	82	2,00	1,23	0,12
Ap2	4,2	0,3	0,38	0,09	6,8	72	2,01	1,24	0,10
B ₁	9,1	0,8	0,50	0,08	17,1	61	4,78	2,95	0,02
B ₂₁ t	11,9	2,5	0,41	0,15	21,5	70	4,89	3,89	0,01
B ₂₂ t	10,8	3,2	0,35	0,12	25,2	56	3,99	2,96	
BC	31,9	0,2	0,13	0,08	11,2	Sat.	2,50	2,01	
Cca	26,7	0,1	0,03	0,05	1,8	Sat.	1,13	0,91	

Hz.	Cations échangeables me/100 g					Taux sat.	Fe ₂ O ₃ %	
	Ca	Mg	K	Na	T		total CIH	libre Deb.
A ₁₁	8,5	0,87	0,82	0,06	11,5	89,1	1,53	1,30
A ₁₂ (A ₂)	8,2	1,52	1,06	0,05	10,8	Sat.	2,18	1,69
AB ₁	7,5	0,90	0,76	0,09	12,9	71,7	3,15	2,08
B ₂₁	10,7	1,95	0,27	0,09	27,7	46,9	7,29	5,34
B ₂₂	12,5	2,55	0,46	0,11	29,8	49,7	7,37	5,99
B ₂₃	12,5	2,40	0,47	0,09	25,8	53,9	6,43	5,20
B ₃	9,5	2,55	0,86	0,22	15,7	63,6	4,40	3,90
C1	28,5	0,24	0,04	0,05	2,2	Sat.	1,14	0,65
C ₂					1,7	Sat.	0,93	0,78

(ex. profil Agnin); dans les zones cultivées (ex. profil Pact Tourdan), les apports d'engrais suffisent à provoquer une remontée des taux de saturation, au moins dans les horizons de surface. Au sein de ce complexe, le calcium domine toujours largement tous les autres cations échangeables alors que le magnésium n'atteint des teneurs importantes (2 à 5 meq/100g) que dans le milieu ou à la base des horizons B, aussi bien dans les stades n° 2 que dans les stades n° 3.

Capacité d'échange

Pour les sols des moyennes terrasses, la capacité d'échange rapportée à la fraction argile est un peu inférieure à 100 meq/100 g dans les horizons de surface et passe à des valeurs un peu supérieures dans le milieu des horizons B.

Au vu des chiffres de la capacité d'échange, la tendance que nous venons d'observer ne se maintient que dans les sols des paliers inférieurs des hautes terrasses. Dans les termes plus vieux, la capacité d'échange diminue assez fortement, aussi bien dans les horizons de surface où elle passe à des valeurs voisines de 50 meq/100 g d'argile que dans les horizons B où elle n'atteint même pas ces valeurs. Tous ces faits sont à relier à l'évolution dans la nature minéralogique des argiles que nous allons examiner maintenant plus en détail.

32. EVOLUTION DE LA FRACTION ARGILEUSE.

Les tableaux 4.5 et 4.6 permettent de suivre l'évolution de la fraction argileuse dans les 2 stades qui caractérisent cette phase évolutive. Nous avons choisi deux groupes d'exemples situés respectivement dans la plaine de Valence et dans la Bièvre-Valloire.

Quantité d'argile présente

Au travers des exemples présentés, la progression des phénomènes d'argilisation aux dépens des galets cristallins apparaît de façon assez spectaculaire. Cette production d'argile commence à se manifester dès les stades 2, où les teneurs en argile atteignent 6 % ou même 8 % de la masse globale des matériaux; toutefois, elle s'exprime pleinement dans les stades 3 puisque les quantités d'argile passent alors à 15 % et même à 25 % de la masse globale du sol.

La distribution des teneurs en argile à l'intérieur même des différents horizons permet également de retrouver la progression des phénomènes d'entraînement d'argile en suspension et la différenciation morphologique qui constituent d'autres caractéristiques propres à cette phase évolutive. Cette différenciation est encore peu nette et surtout irrégulière dans sa répartition spatiale pour le stade 2 (elle est bien exprimée dans la plaine de Valence : profil Alixan; elle l'est beaucoup moins pour les sols de la Bièvre-Valloire; ex. Lapeyrouse), mais elle s'affirme et se généralise dans le stade d'évolution 3, surtout dans les termes les plus anciens (cf. profil Pact-Tourdan). Il y a lieu de souligner que les horizons les plus pauvres en argile par rapport à la masse globale du sol sont le plus souvent situés au

sommet des horizons B (horizons B₁) et non dans les horizons qualifiés de A₂ dans la description morphologique des profils. Ceci est à relier à une dynamique de progression différentielle des phénomènes de désagrégation et des phénomènes d'altération chimique. Comme la désagrégation physique est plus importante dans les horizons de surface, la production de terre fine est plus forte que dans le sommet des horizons B qui se retrouvent ainsi en déficit d'argile par rapport aux horizons de surface.

Evolution minéralogique proprement dite

Sur le plan de la nature des argiles présentes, les phénomènes de transformations minéralogiques sont beaucoup mieux affirmés que dans le stade 1 précédent.

Ainsi, pour les sols des moyennes terrasses, dans les horizons B nous notons la présence d'un mélange d'argiles constitué de kaolinite, d'illite et de smectite associés au quartz et à la goethite. Dès le sommet des horizons B, de même que dans les horizons de surface, les smectites font place à un intergrade smectite-vermiculite plus ou moins hydroxylé (Al³⁺). Des quantités importantes de quartz restent toujours présentes, mais la goethite n'est plus décelée aux rayons X.

Dans ces différents matériaux, ce sont essentiellement les phénomènes de transformation des illites qui se manifestent et qui sont responsables du développement des smectites présentes au sein des horizons B. Dans les horizons de surface, des intergrades alumineux aux caractères cristallographiques mal définis peuvent apparaître soit comme des produits d'agradation de ces smectites, soit comme le résultat de processus incomplet de dégradation des illites.

Des phénomènes d'évolution comparables se retrouvent sur les hautes terrasses dans les termes les moins vieux (ex. : sols du Mindel 2 de Fouillouse). Par contre, des différences bien nettes apparaissent pour les termes les plus vieux (ex. : Mindel 1 de Pact-Tourdan en Bièvre-Valloire), pour lesquels l'évolution minéralogique des argiles est plus franchement caractérisée avec disjonction nette entre les horizons de surface et les horizons B sous-jacents. Dans les horizons B, les phénomènes de transformations des illites en smectites (smectites de transformation) sont généralisés à l'ensemble des horizons B et affectent ainsi des masses de matériaux beaucoup plus considérables. Mais, au plan quantitatif, c'est à dire si on raisonne en pour cent de la quantité d'argile présente, les proportions de smectites ont plutôt subi de légères diminutions, ce qui explique que la capacité d'échange ramenée à la fraction argile subisse elle aussi une diminution sensible. Dans les horizons de surface, l'évolution est beaucoup plus nette que dans les termes précédents; il apparaît une vermiculite alumineuse aux caractéristiques très affirmées qui se maintient jusqu'au sommet des horizons B.

Il existe donc bien une nette différence de degré dans l'évolution minéralogique des argiles entre le stade 2 et le stade 3; surtout sensible dans les horizons de surface, cette rupture évolutive peut être considérée comme un signe précurseur des phénomènes de dégradation qui vont s'affirmer dans les stades ultérieurs.

Tabl. 4 - 5

ÉVOLUTION DE LA FRACTION ARGILEUSE DANS LES SOLS DES MOYENNES TERRASSES

a) - Exemple de la région de Valence (confluent Rhône - Isère) :
profil Aixan - St-Marcel (menuiserie)

Teneur en argile %		Types d'horizons (cm)	Minéralogie R. X.	A. T. D.
dans la fraction terre fine	par rapport à la masse globale de l'horizon			
10,1	4,5	Ap (0-20)	I + V	$Fe_2O_3 \cdot nH_2O$
12,4	4,3	AB (20-60)		K
13,4	3,9	B ₁ (60-80)	(M + V) _{Al}	$Fe_2O_3 \cdot nH_2O$
11,0	3,5	B ₂₁ (110-120)		$Fe_2O_3 \cdot nH_2O$
18,7	3,8	B ₂₂ (130-140)	I	
21,7	5,9	B ₂₃ (170-190)		
31,8	8,6	B ₂₄ (200-220)	M	$Fe_2O_3 \cdot nH_2O$
16,2	1,8	BC (220-250)	M _{Al}	$Fe_2O_3 \cdot nH_2O$
5,2	0,7	C ₁ (260)	V	$Fe_2O_3 \cdot nH_2O$
12,1	1,1	C ₂ (500)	M	$Fe_2O_3 \cdot nH_2O$

b) - Exemple de la Bièvre - Valloire :
profil Lapeyrouse - Mornay (carrière)

Teneur en argile %		Types d'horizons (cm)	Minéralogie R. X.	A. T. D.,
dans la fraction terre fine	par rapport à la masse globale de l'horizon			
16,4	3,9	ApA ₁ (0-20)	(M + V) _{Al}	
21,7	5,2	AB (30-60)	M _{Al}	K
22,4	4,5	B ₁₁ (60-85)		
18,4	3,2	B ₁₂ (65-150)	V _{Al}	
18,4	2,9	B _{21t} (150-300)	M	
23,3	4,1	B _{22t} (300-350)	M _{Al} V _{Al}	K
4,1	0,6	C (500)	M V	

Tabl. 4 - 6

**ÉVOLUTION DE LA FRACTION ARGILEUSE
DANS LES SOLS DES HAUTES TERRASSES**

a) - Exemple de la région de Valence (confluent Rhône - Isère) :
profil Fouillouse (carières Sandon)

Teneur en argile %		Types d'horizons (cm)	Minéralogie R. X.	A. T. D.
dans la fraction terre fine	par rapport à la masse globale de l'horizon			
13,4	7,8	Ap (0-30)		Fe ₂ O ₃ .nH ₂ O + M. O. amorphes
13,9	7,4	AB (30-50)		Fe ₂ O ₃ .nH ₂ O + M. O. amorphes
32,8	14,8	B ₁ B ₂ (50-70)		
44,4	18,5	B ₂₁ t (70-90)		
37,0	16,3	B ₂₂ t (90-140)		Fe ₂ O ₃ .nH ₂ O
3,1	0,6	C (500)		

b) - Exemple de la Bièvre - Valloire :
Profil Pact - Tourdan

Teneur en argile %		Types d'horizons (cm)	Minéralogie R. X.	A. T. D.
dans la fraction terre fine	par rapport à la masse globale de l'horizon			
10,7	3,6	Ap1 (0-20)		Fe ₂ O ₃ .nH ₂ O + M. O. amorphes
13,4	4,5	Ap2-A ₂ (20-60)		Fe ₂ O ₃ .nH ₂ O + M. O. amorphes
25,2	2,25	AB ₁ (60-100)		Fe ₂ O ₃ .nH ₂ O + M. O. amorphes
62,9	22,0	B ₂₁ t (100-170)		Fe ₂ O ₃ .nH ₂ O
67,7	23,7	B ₂₂ t (170-250)		Fe ₂ O ₃ .nH ₂ O
56,7	19,8	B ₂₃ t (250-300)		
35,5	10,65	B ₃ t (300-350)		
2,4	0,38	C ₁ (1200-1500)		

33. EVOLUTION DU FER, DE LA SILICE ET DE L'ALUMINIUM.

331. Evolution du fer.

Morphologie

Les observations microscopiques montrent que malgré la production et la libération d'importantes quantités de fer à partir des constituants ferro-magnésiens, les processus d'individualisations particulières du fer restent assez limités.

Néanmoins, dans les horizons B de ces stades évolutifs, les colorations d'ensemble de la masse plasmique qui sont situées dans les nuances d'intensité beaucoup plus fortes que celles observées pour le stade 1 sont déjà l'indication d'une progression des processus de fixation du fer sur les argiles au fur et à mesure de leur formation (faits confirmés par les analyses totales d'argiles). Et, dans ces situations, le fer fixé suit alors l'argile dans toutes ses migrations dans le profil.

A la base des horizons B des sols des hautes terrasses (stade n°3), nous voyons apparaître des zones ou pellicules de concentrations préférentielles qui se disposent parallèlement aux revêtements argileux. Ces formes ne constituent pas vraiment des individualisations du fer, mais elles apparaissent véritablement comme des formes en excès par rapport à celles qui peuvent se fixer réellement sur les réseaux externes des argiles. D'ailleurs, corrélativement à ces manifestations, nous voyons également se développer des amas ferrugineux, non consolidés, aux contours diffus et aux formes variées, soit au sein du plasma lui-même, soit en bordures des micas en voie d'altération. (cf. pl. V - photos 19 et 20)

Dans les horizons de surface de ces mêmes termes évolutifs, l'excès de fer existant est encore plus net puisque les quantités d'argile présente dans la fraction terre fine sont plus faibles. Une grosse partie du fer a pu migrer en solution vers les horizons B, et une proportion non négligeable des produits ferrugineux libérés a subi une véritable mise en réserve au sein de certains éléments grossiers caillouteux (grès à fine porosité, silix très fins, silixites) qui fonctionnent comme de véritables structures-pièges. Ils constituent des pseudo-concrétions ferrugineuses qui restent peu abondantes par rapport à la masse totale de l'horizon, mais qui sont ainsi soustraites à la fraction terre fine elle-même.

Etudes chimiques

En employant les mêmes méthodes d'extraction du fer que celles utilisées pour le stade n° 1, nous pourrions suivre l'évolution des diverses formes du fer ainsi extraites dans les stades 2 et 3, qui correspondent aux phases maximales de développement des processus d'altération rubéfiante.

Le tableau 4.7 résume les résultats des extractions effectuées sur la fraction terre fine pour trois profils qui représentent des exemples-types des stades d'évolution 2 et 3. On se reportera également aux figures 4.2 , 4.3 et 4.4.

Tabl. 4 - 7

**ÉVOLUTION DES FORMES DU FER DANS LES SOLS
DES MOYENNES ET DES HAUTES TERRASSES RHODANIENNES
(exprimé en Fe₂O₃ pour cent de terre fine)**

Profils	Horizons Couleur/Type	Teneur en argile %	A	D	E	$\frac{D}{A} \times 100$	$\frac{E}{A} \times 100$	Teneur en fer par rapport à l'argile			$\frac{A-D}{A} \times 100$	$\frac{D-E}{A} \times 100$	$\frac{E}{A} \times 100$
			Fer total fusion %	Fer libre Endredy %	Fer fac. extr. Ség. %	Taux libér. du fer	Taux fer fac. extr.	Fe total $\frac{A}{A} \times 100$ Arg.	Fe libre $\frac{D}{A} \times 100$ Arg.	Fe fac. extr. $\frac{E}{A} \times 100$ Arg.	Fer des min. primaires %	Fer cristallisé %	Fer fac. extr. %
STADE n° 2 : Allixan (Valence)													
Br jaune foncé	10YR4/4 Ap	10,1	2,24	1,41	1,10	62,9	49,1	22,4	14,1	10,9	37,0	13,8	49,1
Brun fort	7,5YR6/6 AB	12,4	2,87	1,68	1,48	58,5	51,6	23,1	13,6	11,9	41,4	7,0	51,6
Rouge orangé	5YR5/8 B1	13,4	4,50	2,82	2,62	62,7	58,2	33,8	21,0	19,6	37,3	4,4	58,2
"	5YR5/8 B21	11,0	4,44	2,82	2,62	63,5	56,7	40,4	25,6	22,9	36,5	6,7	56,7
"	5YR5/8 B22	16,7	7,08	5,03	4,53	71,0	64	42,4	30,1	27,1	29,0	7,0	64
"	5YR4/8 B23	21,7	6,36	5,20	4,70	81,8	73,9	29,3	23,9	21,6	18,2	7,9	73,9
"	5YR4/8 B24	31,8	6,62	5,37	4,37	81,1	66,0	20,8	16,9	13,7	18,9	15,1	66,0
"	5YR4/6 BC	16,2	4,97	3,61	3,51	72,6	70,6	30,7	22,3	21,7	27,4	2,0	70,6
Br jaune foncé	10YR4/4 C1	5,2	2,88	1,48	1,25	55,2	46,6	51,5	28,5	24,0	44,8	8,6	46,6
Brun pâle	10YR7/4 C2	12,1	2,06	1,36	1,0	66,0	48,5	17,0	11,2	8,2	34	17,5	48,5
STADE n° 3 : Fouillouse (Valence)													
Brun foncé	7,5YR3/2 Ap	13,4	2,39	1,66	1,36	69,5	56,9	18,4	12,8	10,1	30,6	12,5	56,2
Brun rouge	5 YR4/4 AB	13,9	2,94	1,70	1,30	57,8	44,2	21,0	12,1	9,4	42,2	13,6	44,2
Rouge	2,5YR4/8 B1P2	32,8	5,20	3,76	3,30	72,3	63,5	15,7	11,4	10,1	27,7	8,8	63,5
Rouge	2,5YR4/8 B21t	44,4	5,81	4,50	3,70	77,6	63,7	13,2	10,2	6,9	22,5	13,8	63,7
Rouge	10 R 4/6 B22t	37,0	6,92	4,58	4,00	66,2	57,8	18,7	12,4	10,8	33,8	8,4	57,8
Brun pâle	10YR7/4 C	3,1	1,39	0,70	0,60	50,3	43,1	44,8	22,5	19,3	49,6	7,2	43,1
STADE n° 3 : Agnin (Blèvre-Valloire)													
Brun foncé	7,5YR2/0 Ao	6,4	1,65	0,96	0,35	60,6	21,2	25,8	15,0	5,5	39,4	39,4	21,2
Brun foncé	10YR4/3 A1	8,0	2,00	0,98	0,40	49,0	20,0	25,0	12,2	5,0	51,0	29,0	20,0
Brun fort	7,5YR5/8 A2	9,4	1,89	0,96	0,55	50,8	29,1	20,1	10,2	5,8	49,2	21,7	29,1
Jaune rouge	7,5YR6/8 AB	10,2	2,12	1,28	0,76	60,7	35,3	20,8	12,5	7,4	39,8	25,0	35,4
Rouge	2,5YR5/8 B21t	16,5	4,36	3,28	2,68	75,2	61,5	26,4	19,9	16,2	24,8	13,7	61,5
Rouge	2,5YR5/8 B22t	44,8	6,06	4,70	3,50	77,6	67,7	13,5	10,5	7,8	22,4	19,8	57,8
Rouge	2,5YR5/8 B23t	36,9	6,64	5,41	3,91	81,5	58,9	18,0	14,7	10,6	18,5	22,8	58,9
Brun pâle	10 YR 7/4 C	0,8	3,07	2,06	1,65	67,1	53,7	383	257	206	32,9	13,3	53,7

Résultats et commentaires

Par rapport aux termes précédents, un certain nombre de points sont particulièrement caractéristiques de cette phase évolutive.

a) - Comme le laissaient prévoir les observations morphologiques, nous retrouvons bien au niveau analytique des différences très nettes de teneurs en fer entre les horizons de surface et les horizons B. Ces différences vont d'ailleurs en s'accroissant au fur et à mesure que progresse la différenciation morphologique elle-même, c'est à dire lorsqu'on passe du stade 2 au stade 3. D'un côté, il y a un appauvrissement en fer qui s'effectue aux dépens des horizons de surface; et d'un autre côté se produit un enrichissement des horizons B consécutif aux phénomènes d'accumulation et aux processus d'altération in situ.

b) - Nous assistons à une augmentation considérable des valeurs absolues des teneurs en fer au sein des horizons B. Cette augmentation se manifeste dès le stade 2; les chiffres traduisent grossièrement un doublement, voire un triplement par rapport aux valeurs qu'on pouvait observer dans les stades d'évolution 1. Il y a donc concentration relative du fer au sein de la fraction terre fine de ces sols.

c) - Dans ces mêmes horizons B, les taux de libération du fer atteignent ou dépassent 80 % et la proportion de fer facilement extractible (Fe.F.E.) est elle aussi très voisine puisqu'elle se situe autour de 60 à 70 %. Ces formes de fer dominent donc très nettement dans les horizons B des sols rouges étudiés.

d) - Les rapports Fer libre/Argile x 100 ou Fe.F.E./Argile x 100 qui renseignent sur la production relative de fer et d'argile au sein des horizons B passent par un maximum très net au stade 2. Ils retombent ensuite au stade 3 à des valeurs voisines de celles que nous avons pu observer au stade 1 précédent. Ceci indique clairement que la production ou la libération du fer à partir des minéraux primaires précède nettement la fabrication massive d'argile au sein des horizons B des sols rouges étudiés. Il s'agit là d'un résultat important qui peut être considéré comme une des caractéristiques fondamentales de ces phases évolutives, mais aussi des processus d'altération rubéfiante de ces matériaux.

332. Evolution de l'aluminium.

En partant des mêmes exemples que ceux étudiés pour le fer, le tableau 4.8 rassemble les principales variations des teneurs en aluminium au sein des stades évolutifs considérés.

Tabl. 4 - 8

ÉVOLUTION DE L'ALUMINIUM DANS LES SOLS DES MOYENNES ET DES HAUTES TERRASSES RHODANIENNES (exprimé en Al₂O₃ pour cent de terre fine)

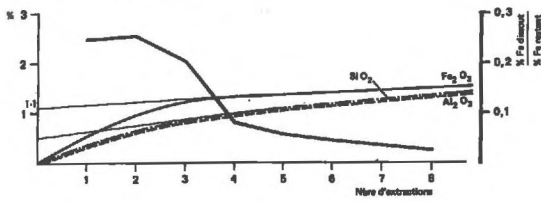
Profils	Types d'horizons	Teneur en argile %	A		D		E		D/A x 100		E/A x 100		Teneur en Al par rapport à l'argile		
			Al total	Al libre	Al libre	Al. fac	Taux libér.	Taux d'Al	Al total	Al libre	Al fac. extr.				
			FH + Cl O ₄ H	Tamm + Deb	extr. Ség.	d'Al	fac. extr.	$\frac{A}{Arg.} \times 100$	$\frac{D}{Arg.} \times 100$	$\frac{E}{Arg.} \times 100$					
STADE n° 2 : Alixan (Valence)															
	Ap	10,1	6,1	0,24	0,5	3,9	8,2	60,4	2,4	4,9					
	B ₁	13,4	12,3	0,42	1,0	3,4	8,1	91,8	3,1	7,5					
	B ₂₂	16,7	16,4	0,25	1,1	1,5	6,7	98,2	1,5	6,6					
	B ₂₄	31,8	13,5	0,30	0,5	0,9	3,7	42,5	0,9	1,6					
	BC	16,2	11,3	0,48	0,8	2,9	7,1	69,7	2,9	4,9					
	C ₁	5,2	7,0	0,20	0,3	3,8	4,3	135	3,9	5,8					
	C ₂	12,1	5,2	0,25	0,25	2,1	4,8	43	2,1	4,8					
STADE n° 3 : Fouillouse (Valence)															
	Ap	13,4	4,9	0,20	0,4	4,1	8,2	36,6	1,4	3					
	AB	13,9	5,5	0,10	0,25	1,8	4,5	39,6	0,7	1,8					
	B ₁ B ₂	32,8	12,0	0,40	0,5	3,3	4,2	36,6	1,2	1,5					
	B ₂₁ ^t	44,4	12,9	0,30	0,5	2,3	3,9	29,1	0,7	1,1					
	B ₂₂ ^t	37,0	19,0	0,20	0,55	1,1	2,9	51,4	0,5	1,5					
	C	3,1	3,1	0,10	0,10	3,2	3,2	100	3,2	3,2					
STADE n° 3 : Agnin (Blèvre-Valloire)															
	A ₀	6,4	4,3	0,20	0,25	4,7	5,8	67,2	3,1	3,9					
	A ₁	8,0	4,6	0,27	0,30	5,9	6,5	57,5	3,4	3,7					
	A ₂	9,4	5,1	0,33	0,40	6,5	7,8	54,2	3,5	4,2					
	AB-B ₁	10,2	5,8	0,43	0,60	7,4	10,3	57,4	4,2	5,9					
	B ₂₁ ^t	16,5	9,9	1,16	0,70	11,7	7,1	60	7	4,2					
	B ₂₂ ^t	44,8	15,5	1,23	0,50	7,9	3,2	34,6	2,7	1,1					
	B ₂₃ ^t	36,9	14,7	1,35	0,40	9,2	2,7	39,8	3,7	1,1					
	C	0,8	3,5	0,3	0,2	8,6	5,7	437	37,5	25					

Fig. 4 - 2

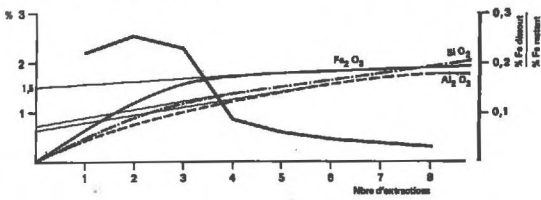
Fe, Si, Al, FACILEMENT EXTRACTIBLES (SEGALEN) DES SOLS DES MOYENNES TERRASSES (STADE D'ÉVOLUTION N° 2)

Profil Alixan - Région de Valence

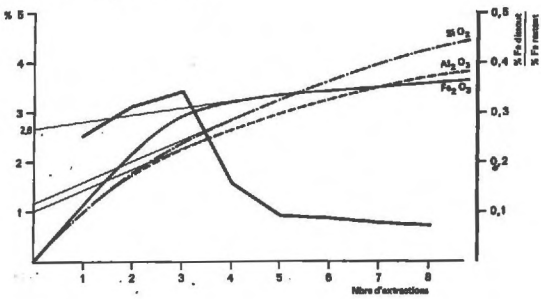
Horison Ap (0-20 cm)



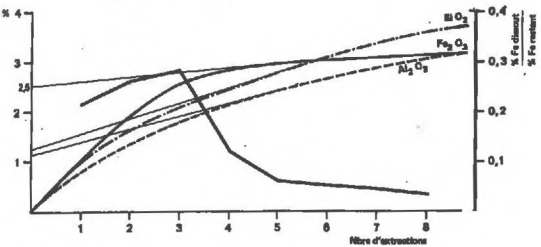
Horison AB (20-60 cm)



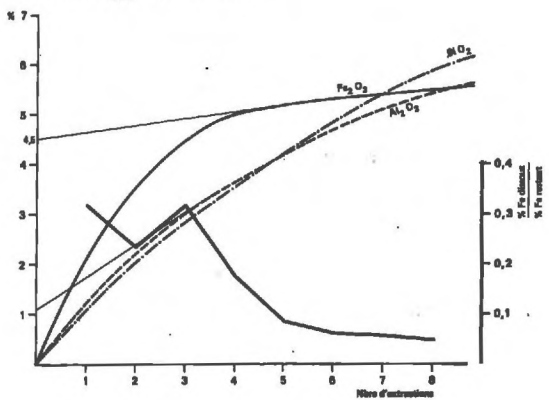
Horison B1 (60-80 cm)



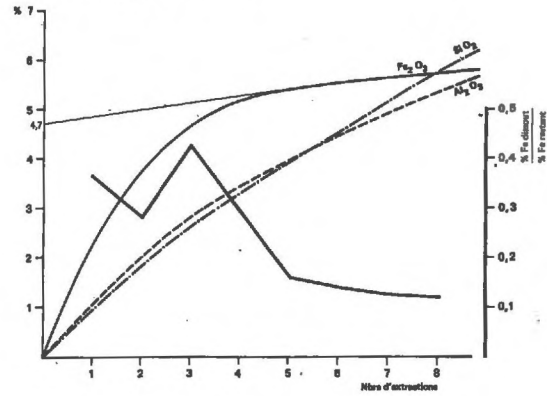
Horison B21 (110-120 cm)



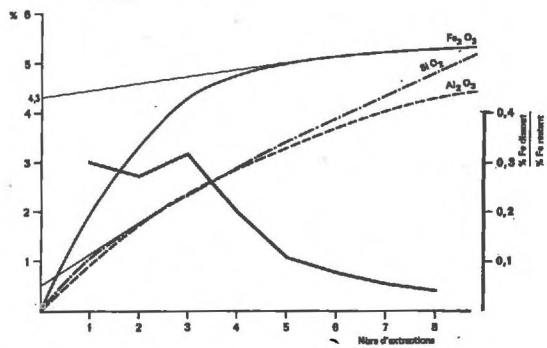
Horison B22t (130-140 cm)



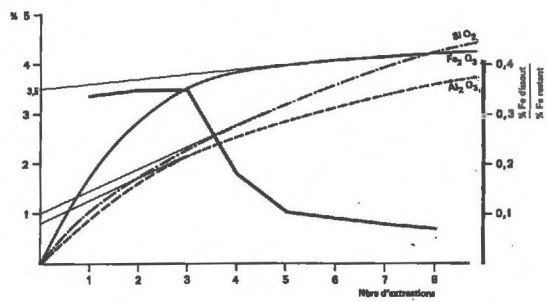
Horison B23t (170-190 cm)



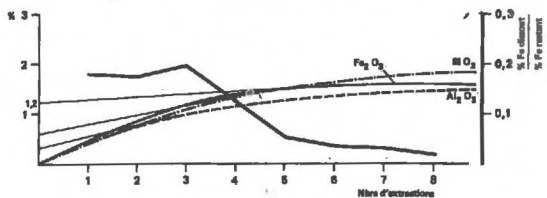
Horison B24t (200-220 cm)



Horison BC (220-250 cm)



Horison C1 : matériau-mère (260 cm)



Horison C2 : matériau-mère (500 cm)

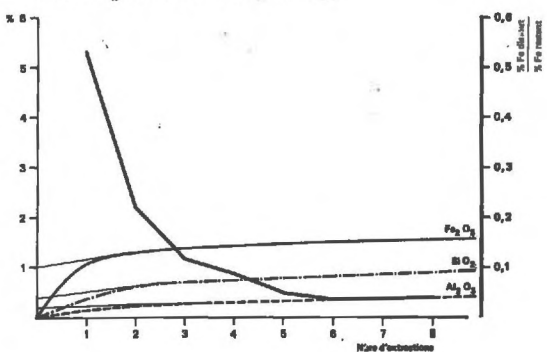


Fig. 4 - 3

**Fe, Si, Al, FACILEMENT EXTRACTIBLES (SEGALEN)
DES SOLS DES HAUTES TERRASSES
(STADE D'ÉVOLUTION N° 3)**

a -- Profil Fouillouse -- Région de Valenca

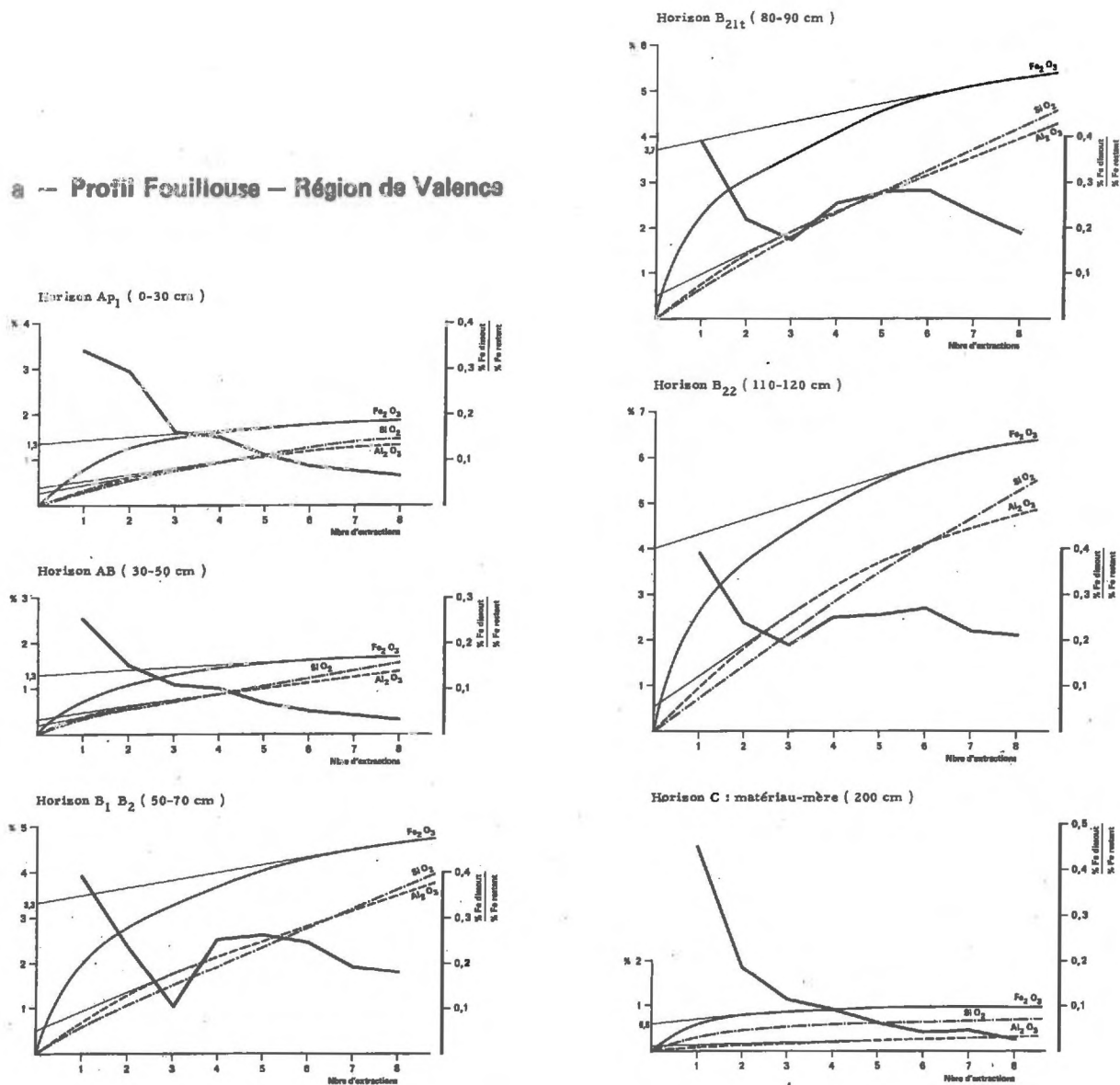
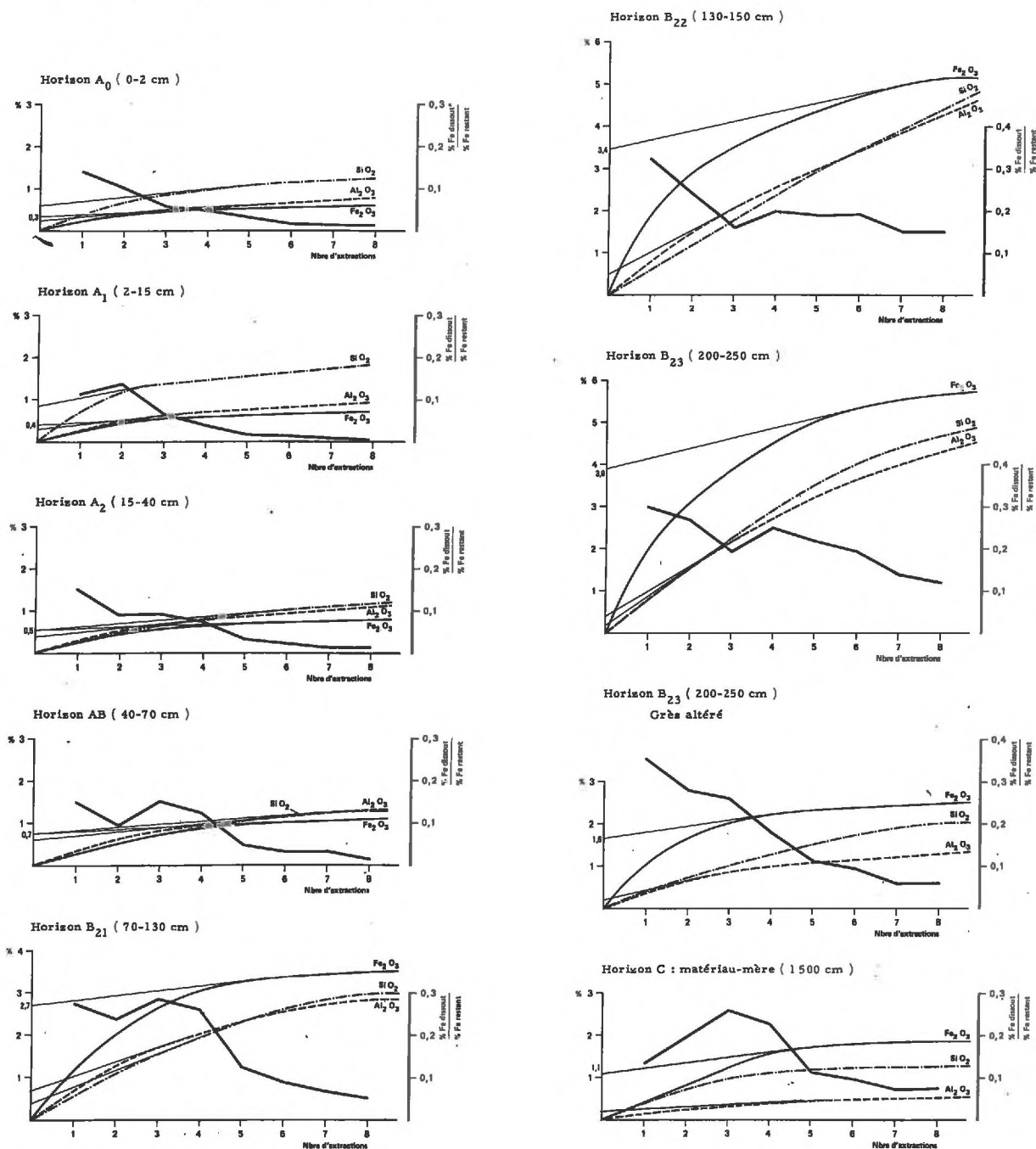


Fig. 4 - 4

**Fe, Si, Al, FACILEMENT EXTRACTIBLES (SEGALEN)
DES SOLS DES HAUTES TERRASSES
(STADE D'ÉVOLUTION N° 3)**

b - Profil Agnin - Bièvre - Valloire



Commentaires généraux

Au sein des horizons de surface, les teneurs en aluminium total restent voisines de celles observées dans la fraction terre-fine du matériau-mère. Par contre, les horizons B reflètent des augmentations très nettes de ces valeurs, qui sont d'ailleurs plus fortes à la base des horizons B qu'au sommet.

Si nous comparons ces teneurs en aluminium total aux taux d'argile présents dans la fraction terre fine (rappports Al total/Argile x 100), il n'apparaît pas de relations systématiques et généralisables dans ces termes évolutifs par rapport au stade 1. En revanche, au sein d'un même stade évolutif ou d'un même profil, les rapports les plus bas s'observent plutôt dans les horizons les plus argileux. Ceci tendrait à montrer que les pertes les plus importantes en aluminium se produisent lors des phénomènes d'altération des minéraux primaires, c'est à dire lors des processus d'argilisation proprement dits. Mais cette évolution ne se maintient pas dans les stades les plus évolués (Agnin) où une tendance inverse semble apparaître qui se poursuit au stade 4.

En ce qui concerne l'aluminium dit libre, nous retrouvons des résultats du même type que ceux déjà mis en évidence dans le cas du premier stade. Toutefois, il y a lieu d'y apporter quelques nuances. Dans le stade 2 et dans le stade 3 le moins évolué, les résultats des extractions d'Al libre par la méthode "Tamm + Deb" sont toujours plus faibles que ceux obtenus par la méthode Ségalen. C'est l'inverse qui se produit dans le cas du stade 3 le plus évolué et le phénomène est particulièrement net au sein des horizons B de ces sols. De toute façon, les valeurs d'Al libre et d'Al facilement extractible restent dans l'ensemble assez faibles et d'un ordre de grandeur très voisin de celles observées dans les premiers termes évolutifs.

Néanmoins, on enregistre des variations de détail non pas tant dans les résultats eux-mêmes mais surtout dans la forme des courbes d'extraction obtenues par la méthode Ségalen (cf. fig. 4.2, 4.3, 4.4). Elles reflètent une opposition assez nette entre horizons de surface et horizon B.

C'est toujours dans les horizons de surface ou au sommet des horizons B (stades 2 et 3) que nous avons pu mettre en évidence une certaine proportion d'Al facilement extractible (voisine de 1 %). Les argiles présentes sont alors en cours de transformation et sont constituées d'un mélange de smectite et vermiculite plus ou moins hydroxylées.

A la base des horizons B, où les caractéristiques cristallographiques des minéraux argileux sont en général bien typées (smectites bien cristallisées), les quantités d'aluminium facilement extractibles sont très faibles ou nulles.

C'est donc bien dans les termes les moins argilifiés et où les phénomènes de transformations minéralogiques sont encore actifs qu'existe une certaine quantité d'Al facilement extractible; elle reste néanmoins toujours assez faible. Dans les termes où l'argilification est plus nettement affirmée, nous n'observons pratiquement pas ou plus d'Al facilement extractible.

Ainsi, au cours de cette phase évolutive, au fur et à mesure que se développent les phénomènes d'altération et la fabrication d'argile de type 2/1 à caractère gonflant, une grosse partie de l'aluminium libéré et présent dans les solutions paraît être immédiatement réutilisé pour être intégré aux réseaux argileux au fur et à mesure de leur formation. Les pertes en aluminium ne se produisent donc pas en solution mais paraissent davantage intervenir par entraînement et migrations en suspension.

333. Evolution de la silice.

Nous conservons évidemment les mêmes exemples pour suivre l'évolution de la silice. Les résultats concernant ces termes évolutifs sont rassemblés dans le tableau 4.9 .

Tabl. 4 - 9

**ÉVOLUTION DE LA SILICE DANS LES SOLS
DES MOYENNES ET DES HAUTES TERRASSES RHODANIENNES
(exprimée en SiO₂ pour Cent de terre fine)**

Profils	Types d'horizons	Teneur en argile %	SiO ₂ total	SiO ₂ non quartz	SiO ₂ fac. extr. Ség.
<u>STADE n° 2 : Alixan</u> (Valence)					
	Ap	10,1	82,5	17,1	0,5
	B ₁	13,4	69	17,7	1,15
	B ₂₂	16,7	60,1	11,0	0,3
	B ₂₄	31,8	64,9	14,8	0,5
	BC	16,2	67,2	15,2	1,0
	C ₁	5,2	56,9	20,2	0,6
	C ₂	12,1	46,5	-	0,3
<u>STADE n° 3 : Fouillouse</u> (Valence)					
	Ap	13,4	84,5	41,9	0,2
	AB	13,9	83,1	19	0,2
	B ₁ B ₂	32,8	73,9	11,5	0
	B ₂₁ ^t	44,4	67,6	31,8	0
	B ₂₂ ^t	37,0	80,8	30	0
	C	3,1	43	22	0,4
<u>STADE n° 3 : Agnin</u> (Bièvre-Valloire)					
	Ao	6,4	76,6	-	0,6
	A ₂	9,4	88,9	29	0,5
	AB - B ₁	10,2	74,9	7	0,75
	B ₂₁ ^t	16,5	88,8	-	0,4
	B ₂₂ ^t	44,8	69,2	5	0
	B ₂₃ ^t	36,9	62,3	35,3	0,2

Les résultats apparaissent quelque peu disparates et difficiles à généraliser au plan des processus. Néanmoins, un certain nombre de faits peuvent être soulignés.

a) - Il y a enrichissement très net en silice totale dans la fraction terre fine des sols par rapport à celle du matériau-mère. Cet enrichissement est évidemment corrélatif de la désagrégation des cailloutis et des graviers cristallins observée plus haut; il correspond surtout à une augmentation des fractions quartzueuses. Pour la fraction "silice non quartz" les évolutions manquent d'homogénéité. Mais les résultats dans ce domaine seront repris et discutés en détail dans la 3ème partie, car un bilan des pertes implique de prendre en compte la masse globale du matériau originel.

b) - En ce qui concerne la silice facilement extractible Ségalen, nous observons des résultats un peu homologues de ceux que nous venons de commenter pour l'aluminium. D'après les formes des courbes d'extraction (cf. figure n° 4.2, 4.3 et 4.4), c'est seulement dans les horizons de surface, par conséquent dans les horizons les moins riches en argile que nous mettons en évidence des formes de silice que l'on peut considérer comme facilement extractible. Le phénomène est surtout net dans le stade 2, où les teneurs observées restent cependant faibles (inférieures ou égales à 1 %). Dans le stade 3, les teneurs existantes sont encore plus faibles (de l'ordre de 0,5 %). Au sein des horizons B, les courbes d'extraction prennent l'allure de droite. Dans ces conditions, il paraît évident qu'on extraie progressivement la silice des minéraux argileux présents et qu'il n'existe pas de formes de silice facilement extractible.

C'est donc bien au départ des phénomènes d'altération lorsque se produisent les premiers phénomènes de transformation à partir des minéraux primaires qu'existent les quantités les plus importantes de "silice libre" et que peuvent survenir les pertes les plus fortes en cet élément.

4 - CONCLUSIONS CONCERNANT CETTE PHASE EVOLUTIVE.

Au cours de cette phase évolutive apparaissent un certain nombre de points importants relatif au développement des processus d'évolution étudiés. Parmi les traits essentiels, nous retiendrons :

a) - L'approfondissement considérable des profils qui s'accompagne au plan morphologique de l'individualisation progressive d'horizons caractéristiques : horizons lessivés ou appauvris en surface, horizons B de plus en plus riches en argile et typiques par leurs épaisseurs croissantes, leur couleur rouge de plus en plus affirmée, leur structure massive et leur compacité qui va en augmentant.

b) - L'organisation micromorphologique de ces 2 types d'horizons acquiert des caractéristiques de plus en plus différenciées qui apparaissent comme le reflet d'un équilibre dynamique entre les phénomènes d'altération chimique et les mouvements d'entraînement de matière en phase solide (argile en particulier). Les points essentiels sont alors :

- au sein des horizons appauvris, la dominance de la fraction squelette par suite de l'abondance des phénomènes de soustraction de matière;
- au sein des horizons B, la dominance du plasma d'altération dans la partie sommitale et du plasma d'illuviation dans la partie médiane et basale. L'organisation plasmique de ces horizons B passe par un optimum net dans le stade d'évolution n° 2; mais il s'agit d'une phase à caractère transitoire, car les phénomènes de pression et de gonflement corrélatifs à la production et à l'accumulation d'argile sont responsables de phénomènes de brassage interne qui vont contribuer à sa propre destruction.

c) - Les éléments grossiers caillouteux et graveleux sont eux-mêmes le siège de transformations importantes :

- dissolution complète des éléments calcaires sur la totalité de l'épaisseur des profils,
- maturation progressive des éléments cristallins aboutissant d'abord à leur fragilisation puis à leur désagrégation physique plus ou moins complète qui se manifeste jusque dans le milieu des horizons B,
- phénomènes d'altération chimique dans les mêmes portions d'horizons corrélatifs à ces phénomènes de désagrégation avec production massive d'argile à partir des minéraux primaires,
- mise en réserve d'une partie des produits ferrugineux libérés lors des phases d'altération à l'intérieur de systèmes poreux formés par les galets de type siliceux, siliceux et grès décalcariés qui apparaissent bien comme des structures-pièges fonctionnelles.

d) - Importance exceptionnelle des processus de libération du fer qui précèdent nettement la phase de fabrication massive d'argile, puisque la production de fer passe par un maximum au stade 2, alors que c'est seulement au stade 3 qu'on assiste aux phénomènes d'argilisation les plus importants.

Au sein des produits ferrugineux ainsi extraits des minéraux primaires, il y a toujours une large prépondérance des formes dites libres ou facilement extractibles, c'est à dire des formes qui sont soit mal, soit très finement cristallisées.

Au niveau des processus, ce décalage entre production de fer et production d'argile joue un rôle capital pour orienter l'évolution pédologique dans le sens rubéfiant; il favorise en effet directement les possibilités d'individualisation et de cristallisation du fer, avant que ces formes soient elles-mêmes adsorbées sur les réseaux des argiles fabriquées ultérieurement.

e) - En ce qui concerne, enfin, les phénomènes d'argilisation proprement dits, le rôle des héritages est beaucoup plus réduit qu'au stade précédent. La production d'argile est davantage la conséquence de phénomènes importants de transformation qui sont de 2 types :

- phénomènes d'évolution à partir des minéraux primaires originels : transformation des biotites en vermiculite et des feldspaths en séricite (illite);
- phénomènes de transformation à partir des minéraux argileux secondaires eux-mêmes aboutissant :
 - . dans les horizons de surface, à une vermiculitisation et même à l'apparition de vermiculite alumineuse prenant des caractères de chlorites secondaires encore peu nets;
 - . dans les horizons B, à un développement des minéraux gonflant de type smectite surtout net à la base et dans la partie médiane de ces horizons.

Chapitre 5

PHASE DE TRANSITION :

LES SOLS DES TRES HAUTES TERRASSES (Stade 4)

Les stades d'évolution 2 et 3 que nous venons d'analyser correspondent à des sols déjà bien développés avec des horizons B fortement rubéfiés et fortement argilifiés, présentant des caractères de compacité nettement affirmés. A partir de ces stades, la progression des processus rubéfiants devient moins nette et une stagnation relative de l'évolution pédologique paraît se manifester. En réalité, l'évolution se poursuit bien, mais les caractères en sont peut être un peu moins spectaculaires que ceux qui s'étaient extériorisés dans la phase précédente; et nous pouvons dire qu'une tendance nouvelle s'amorce, même si elle est encore peu affirmée. Nous nous proposons de mettre en évidence les aspects essentiels de cette phase de transition, notamment dans les domaines morphologiques et physico-chimiques. La présentation des caractéristiques chimiques et minéralogiques sera détaillée dans le chapitre suivant pour faciliter les comparaisons avec les termes d'évolution ultérieurs.

1 - CHANGEMENTS D'ORGANISATION DES PROFILS PAR RAPPORT AUX SOLS ROUGES DES STADES PRECEDENTS.

11. MORPHOLOGIE DES SOLS DES TRES HAUTES TERRASSES (Stade 4).

De façon générale, nous avons vu que dans la moyenne vallée du Rhône, les très hautes terrasses (niveaux Günz-Donau ?) étaient moins bien conservées que les niveaux inférieurs. Malgré tout, il existe dans l'ensemble de la vallée un certain nombre de situations où nous les retrouvons (cf. fig. 1.3 et 1.4) et où elles forment des surfaces bien individualisées.

Les observations présentées ici partent d'exemples situés sur deux terrasses géographiquement éloignées (plateau de Louze en Valloire et terrasse des Trappistines dans la plaine de Montélimar), mais correspondant à des situations morphologiques représentatives. Par ailleurs, avec ces deux exemples, nous illustrons bien les variations extrêmes de compo-

sition des matériaux originels que nous pouvons rencontrer dans le bassin rhodanien (pôle à composante siliceuse renforcée pour Louze, pôle à composante rhodanienne classique pour les Trappistines).

Pour chacun des 2 types de matériaux, seul le développement d'ensemble des profils peut être différent, mais la succession générale des horizons reste voisine. Les variations affectent essentiellement l'épaisseur des horizons eux-mêmes.

Les caractéristiques de ce 4ème stade d'évolution sont rappelées dans la description du profil ci-contre.

Ainsi, sur le plan purement morphologique, nous pouvons souligner les points suivants (cf. fig. 3.1):

- approfondissement assez généralisé des horizons appauvris de surface qui se manifeste par le dédoublement généralisé de ces horizons avec présence d'un horizon A_2 et d'un horizon à graviers (A_2)B. L'horizon A_2 , toujours visible sous landes ou sous témoins forestiers, a un développement assez régulier (20-30 cm). L'horizon à graviers (A_2)B est d'épaisseur beaucoup plus variable comprise entre 30 cm et 80 cm selon la composition pétrographique des matériaux originels (la plus forte épaisseur s'observe toujours quand la composante siliceuse est plus importante);
- approfondissement des horizons B, dont l'importance dépend aussi de la composition du matériau originel, l'épaisseur observée allant de 5 mètres (composante rhodanienne moyenne) à plus de 8 mètres (cas d'une forte composante siliceuse);
- tendance au remplissage général de la porosité inter-cailloutis (colmatage) au sein de ces mêmes horizons B qui s'exprime encore de manière très irrégulière à la fois sur le plan spatial et dans ses manifestations mêmes. Elle se traduit néanmoins par l'existence assez constante d'un bariolage plus ou moins contrasté dans le sommet des horizons B qui correspond à une première extériorisation du phénomène de dégradation;
- formes d'individualisation du fer se présentant sous formes de concentrations ferrugineuses au sein des graviers et fragments de grès dans les horizons de surface.

12. DONNEES MICROMORPHOLOGIQUES.

Les observations faites sur les lames minces réalisées au sein des mêmes profils apportent un certain nombre de données permettant de visualiser quelques uns des aspects essentiels des phénomènes de dégradation qui s'amorcent au cours de ce stade évolutif. Nous décrirons successivement les horizons majeurs qui ont été différenciés plus haut, en insistant pour chacun d'eux sur les traits les plus importants.

a) - Horizon de surface A_1A_2

L'aspect d'ensemble reflète une nette dominance de gravillons et de sables limoneux, c'est à dire une prépondérance du squelette moyen et grossier sur le plasma, peu abondant et de teintes peu vives. L'assemblage est granulaire.

S tade d'évolution n° 4

- Ao 0-3 cm : Horizon humifère brun gris à gris très foncé (10 YR 3/2). Humus de type mor-moder.
- Ao A₁ 3-15 cm : Brun gris très foncé (10 YR 3/2), Sec. Non calcaire. Horizon humifère avec sable fin limoneux, cailloux et blocs de quartz et quartzite à patine noire ou rose. Structure fragmentaire peu nette, à tendance grumeleuse liée au chevelu radicaire important. Forte porosité. Activité biologique moyenne à forte. Galeries et trous de vers. Racines nombreuses fines et grosses verticales. Volume des vides entre agrégats très important. Friable. Meuble. Limite distincte et régulière.
- A₂ 15-35 cm : Brun fort (7, 5 YR 5/6) en frais, devenant jaune pâle (2, 5 Y 7/4) en sec. Non calcaire. Sable fin limoneux à sable quartzeux avec nombreux blocs de quartz et quartzites. Structure continue à débit polyédrique subanguleux. Poreux avec porosité entre éléments. Fragile. Meuble. Très nombreuses racines moyennes et grosses verticales et quelques grosses racines horizontales. Nombreuses galeries. Activité biologique moyenne. Limite distincte et régulière.
- AB 35-60 cm : Jaune rougeâtre (7, 5 YR 5/8) et orangé (5 YR 5/8). Frais. Non organique. Graviers très abondants avec cailloux et blocs arrondis de quartz et quartzites, avec grès altérés ferruginisés. Terre fine de texture sablo-limoneuse. Structure peu différenciée à débit polyédrique subangulaire moyen. Présence de taches orangé sur fond jaunâtre sans orientation préférentielle, à contraste plus important à la base de l'horizon. Porosité globale moyenne. Quelques galeries. Racines fines et moyennes associées aux faces des éléments grossiers. Activité biologique moyenne. Limite graduelle et irrégulière.
- B₁ 80-120 cm : Rouge jaunâtre (5 YR 5/8). Non organique. Non calcaire. Cailloux et blocs arrondis de quartz et quartzites dominants ; quelques grès et rares granites très altérés. Encore quelques gravières. Terre fine de texture sablo-limono-argileuse. Structure fragmentaire peu nette à tendance polyédrique subangulaire moyenne. Poreux. Agrégats à pores nombreux vésiculaires et tubulaires. Revêtements argilo-ferriques très minces brun rouge sur les faces des agrégats. Friable et meuble. Quelques radicules fines. Activité biologique faible. Limite graduelle et irrégulière.
- B₂₁ 120-280 cm : Rouge (2, 5 YR 4/8 à 10 R 4/6). Frais. Non organique. Non calcaire. Cailloux roulés et blocs de quartz et quartzites encore dominants ; grès plus abondants, altérés en ocre et rouge, granites altérés également en plus grand nombre. Terre fine de texture argileuse à argilo-limoneuse. Structure massive à débit polyédrique subangulaire moyen et fin. Faces de pression et revêtements argileux d'épaisseur moyenne sur les cailloutis, Revêtements argileux fins sur les faces structurales. Activité biologique réduite à nulle. Agrégats à pores peu nombreux. Peu poreux dans la masse. Compact. Tendance au colmatage. Niveau maximum d'argilisation au sommet de cet horizon. Limite diffuse et irrégulière.
- B₂₂ 280 - 500-700 cm : Rouge orangé (5 YR 4/6). Frais. Non organique. Non calcaire. Cailloux et blocs abondants de quartzites, quartz, grès et cristallins. Cristallins altérés. Terre fine de texture argilo-sableuse à sable moyen. Caractère de moins en moins argileux quand on s'enfonce dans le profil. Structure massive à débit polyédrique peu net. Bariolage consécutif à la présence des éléments grossiers altérés ou en voie d'altération. Encore des faces de pression autour des éléments grossiers caillouteux. Activité biologique nulle. Porosité faible. Collant. Compact. Limite diffuse et irrégulière.
- A₂⁺-BC 700-800 cm : Orangé à rouge orange (5 YR 5/8). Frais. Non organique. Non calcaire. Nombreux galets de même type que dans horizon ci-dessus. Présence de quelques galets calcaires ramollis. Terre fine de texture sablo-argileuse. Nombreuses paillettes de micas. Friable. Boulant. Structure non différenciée. Limite diffuse et ondulée.
- C + de 800 voire 1000 cm : Cailloutis roulés avec présence d'éléments calcaires et sables jaunes calcaires et micacés. Structure particulière. Très forte porosité en grand entre éléments caillouteux.

Le squelette moyen est constitué par plusieurs types d'éléments :

- . gravillons et sables grossiers de 1 à 3 mm (20 % environ) formés de silex, quartzites, grès quartzeux et quartz en proportion à peu près équivalente;
- . sables grossiers quartzeux, anguleux de 300 à 400 μ (30 à 40 % environ) et finement craquelés;
- . sables fins et limons quartzeux avec éléments de 100 μ (20 à 30 %) et éléments de 10-20 μ (20 % environ).

Tous ces éléments sont répartis sans organisation particulière sous forme d'amas plus ou moins denses et plus ou moins tassés, reliés entre eux par des chenaux et des éléments plasmiques conférant à l'ensemble une porosité moyenne. Nous pouvons observer quelques minéraux lourds difficilement identifiables et des plagioclases rarissimes (moins de 10 par lame) localisés dans les fractions sableuses grossières.

Le plasma est très peu abondant, peu dense et peu coloré. Généralement, il prend la forme de fines pellicules brun à brun jaune réparties autour des grains du squelette. Exceptionnellement, dans certains pores de circulation, existent des concentrations argileuses peu denses, colorées dans les teintes plus vives (brun rouge).

Caractéristiques essentielles de l'horizon

Par rapport aux stades précédents, les graviers siliceux du squelette moyen sont pratiquement tous vidés (ou en voie de vidage) de l'argile ferrugineuse qu'ils avaient pu contenir. Celle-ci ne subsiste que partiellement dans la partie inférieure de certains éléments. Par contre, un grand nombre de concentrations ferrugineuses sont encore présentes dans ces fractions graveleuses. Ces concentrations se présentent sous forme d'amas noirâtres, opaques, floconneux aux contours diffus et peu nets dont les tailles peuvent varier de 200 à 300 μ pour les graviers quartzeux, à moins de 10-20 μ pour les graviers siliceux à porosité plus fine.

La plupart des éléments quartzeux et siliceux sont finement craquelés. Lorsqu'on observe ces figures, on peut toujours suspecter les techniques de préparation de lames; mais, même si c'était le cas, leur fréquence et leur généralisation sont en elles-mêmes l'indice d'une grande sensibilité aux phénomènes de fragmentation et de fragilisation. Cette possibilité de débit en fractions de plus en plus fines, allant de la taille des sables fins jusqu'aux limons grossiers, rend évidemment ces composants siliceux de plus en plus accessibles aux extractifs, de sorte qu'on peut presque déjà parler d'une plus grande mobilité possible de la silice. Dans le cas du plateau de Louze, ce sont les silexites qui présentent la plus grande sensibilité à ce phénomène, alors qu'aux Trappistines ce sont les graviers quartzeux.

b) - Horizon A₂B à graviers.

Nous retrouvons dans cet horizon les mêmes traits que ceux déjà décrits pour l'horizon de surface proprement dit, mais la distribution d'ensemble squelette/plasma est quelque peu différente. Sur le plan général, l'horizon est constitué par des éléments grossiers représentés par des ga-

lets fragmentés ou non et des graviers liés par des ponts de sables limoneux extrêmement lâches, constituant un ensemble à très forte porosité, où le plasma peu dense est irrégulièrement réparti et discontinu. (cf. pl. I - photo 4)

Éléments grossiers. Au sein des lames elles-mêmes, les seuls éléments visibles sont constitués de graviers et gravillons (5 à 10 mm) qui comprennent eux-mêmes :

- . des quartzites intacts ou peu altérés (30 %) avec petits éléments siliceux en voie de mobilisation (figures de désorientation en L.P.);
- . des silex apparemment sains (30 %) présentant un système de porosité secondaire entièrement vidé, à l'exception de rares pores encore remplis d'argiles ferrugineuses;
- . des silex ou grès siliceux à porosité interne plus fine entièrement ferruginisés ayant un aspect brun foncé (30 %).

Le squelette moyen se compose surtout d'éléments de quartz et silex d'une taille de 200 à 300 μ (40-50 %) et de sables et limons quartzeux (50-100 μ et 10-20 μ).

Le plasma a une répartition irrégulière. Dans certains secteurs localisés, le plasma est relativement abondant par rapport au squelette avec assemblage de type aggloméro-plasmique : le plasma est alors coloré en brun (fer) ou en brun rouge (argile ferrugineuse). Mais dans la majorité de l'horizon, le plasma constitue un ensemble très lâche, à allure floconneuse, réparti autour des éléments du squelette avec un assemblage de type intertextique voire squelsepique.

En définitive, les traits pédologiques essentiels de l'horizon sont constitués par :

- . son extrême porosité,
- . la dominance de la fraction squelette, notamment de la fraction graveleuse provenant des phénomènes de fragmentation d'éléments plus grossiers,
- . une dynamique différentielle d'appauvrissement qui se manifeste au sein des graviers eux-mêmes par la sortie des argiles ferrugineuses en dehors des éléments siliceux à porosité grossière (figures d'exsudation plasmique) et par le maintien du fer piégé dans les éléments à porosité généralement plus fine.

c) - Passage à l'horizon B.

Cet horizon qui est beaucoup plus développé dans les matériaux du type Louze à composante originelle plus siliceuse occupe une position de transition entre les horizons lessivés précédents et les horizons B d'accumulation et d'altération dont la description suit. Il y a opposition assez nette entre 2 types d'éléments : squelette grossier caillouteux et graveleux d'une part, plasma organisé avec éléments sablo-limoneux en inclusion d'autre part.

Les éléments grossiers graveleux sont de façon partielle l'objet de structures pièges avec phénomènes de remplissage plus ou moins importants d'argile ferrugineuse fortement rubéfiée et assez bien orientée : reliques d'anciens phénomènes d'altération au sein de cet horizon. Mais la plupart des éléments (80 %) sont vides notamment les quartz, quartzites et silex vrais. Seuls les grès siliceux ou silexites peuvent encore partiellement être remplis d'argiles ferrugineuses.

Le squelette est constitué de sable et sable limoneux quartzueux, toujours noyé dans un ciment plasmique floconneux, assez peu argileux mais encore riche en matière organique et en fer : l'assemblage est intertexturale lâche.

Le plasma peut être de 2 types :

- plasma brun floconneux qui constitue une fine pellicule revêtant les grains du squelette, avec localisation préférentielle de fer mal cristallisé le long de certains chenaux;
- plasma argileux brun rouge, fortement orienté, localisé dans les pores de circulation de plus gros diamètres et qui représente toujours une masse très faible par rapport à l'ensemble de l'horizon.

Les traits pédologiques dominants sont constitués par la coexistence de figures de lessivage et d'accumulation qui montrent que l'horizon est bien en cours d'évolution.

- Le stock de matériel argilifié et rubéfié qui s'était accumulé à l'intérieur de certains éléments siliceux est en cours de transfert vers les horizons plus profonds.
- L'hétérogénéité de l'organisation plasmique au sein de l'horizon prouve également que les phénomènes de transport d'argile sont encore fonctionnels, bien que la plus grosse masse d'altéro-plasma ait déjà été évacuée.
- Les phénomènes de fragmentation des éléments quartzueux et siliciques sont pratiquement nuls par rapport à ceux observés en surface.

d) - Sommet de l'horizon B₂t d'accumulation.

Sur le plan de l'organisation micromorphologique, cet horizon représente un changement important par rapport au précédent, puisqu'il révèle une prépondérance très nette du plasma. Les éléments grossiers eux-mêmes sont abondants mais noyés au sein de cette masse plasmique argileuse, dans laquelle le squelette moyen ou fin occupe une place relativement faible.

Les éléments grossiers caillouteux et graveleux les plus répandus au sein de cet horizon sont :

- des quartzites ou grès quartzites plus ou moins fendillés, avec fentes souvent remplies d'argiles ferrugineuses et cutanes de contraintes sur le pourtour extérieur des éléments;
- des silexites remplis d'argiles ferrugineuses très bien orientées et aussi d'argiles jeunes non colorées sans orientation par rapport aux vides qui les contiennent, à côté des silex très propres et vides de tout produit argileux, presque entièrement éteints en L.P. ;

- enfin des roches cristallines et surtout cristallophylliennes du type gneiss, schistes, micaschistes, chloritoschistes. Leur altération très importante conduit à des éléments micacés en paillettes et à des éléments amorphes ou non organisés (éteints en L.P.).

Le squelette moyen ou fin est très peu important par rapport au plasma. Sa répartition est très hétérogène et en grande partie liée à la distribution des éléments grossiers altérables. C'est ainsi qu'on observe de nombreuses paillettes de micas en voie d'ouverture et d'argillisation au voisinage des galets cristallophylliens, alors qu'à ces éléments micacés s'ajoutent des sables grossiers quartzeux (300-400 μ) au voisinage des cristallins (fragmentation par arénisation). L'assemblage plasma-squelette est du type porphyrosquelique.

Le plasma argileux lui-même possède une organisation du type omnisépique et localement de type vosépique. Il occupe 60 à 80 % de la masse de l'horizon dans les zones argilifiées, où il prend 2 formes essentielles :

- plasma illuvial fortement orienté et très coloré/^{constitué} de revêtements argileux simples ou complexes, d'épaisseur irrégulière, associés à de gros papules. Ces argiles sont généralement réparties le long des fissures ou dans les zones de circulation préférentielle (perthuis fauniques ou galeries de racines). Cette organisation est la résultante de phénomènes de lessivage ancien à partir des horizons supérieurs ainsi que de mouvements dus au gonflement et aux variations des pressions internes. Dans ces argiles très riches en fer sont visibles des amas zonés aux contours diffus qui prennent une orientation parallèle à celle acquise par les argiles elles-mêmes;
- un plasma très mal orienté et peu coloré provenant pour la plus grande partie de l'altération sur place des éléments de type feldspaths et micas. Une partie assez faible provient de la décoloration des argiles formées lors des phases précédentes (cf. pl. VI - photo 23) : c'est le début des phénomènes de déferrification.

Traits pédologiques marquants. Cette portion d'horizon est avant tout caractérisée par la prépondérance du plasma argileux, où sont juxtaposées des organisations d'accumulation par lessivage assez largement dominantes et des organisations d'altération qui prennent naissance à partir des minéraux primaires issus des éléments grossiers originels. L'altération des minéraux phylliteux secondaires est encore très faiblement amorcée. Au sein de ces horizons, la dynamique des argiles et celle du fer restent encore assez comparables.

e) - Milieu des horizons B₂t : zones d'altération active.

Du seul fait de la différence de composition du matériau originel, les profondeurs auxquelles se situent les zones d'altération active peuvent varier du simple au double, comme on l'a signalé pour le développement total des profils. Au plan de l'organisation micro-morphologique elle-même, l'influence de la roche-mère se retrouve aussi puisque les possibilités d'argilisation sont bien différentes dans les deux cas. Dans les matériaux à composante plus siliceuse, l'argile produite se trouve diluée sur une épaisseur plus grande, si bien que globalement la masse d'argile produite peut être identique ou voisine; ponctuellement, on observe, toutefois, des teneurs en argiles qui peuvent être très variables.

Situées toujours à la partie inférieure des horizons d'accumulation majeurs, ces zones actives d'altération présentent une organisation typique où l'importance du plasma et du squelette est généralement voisine. Mais, il s'agit d'un équilibre précaire, quasi-instantané, car l'argile migre au fur et à mesure de sa fabrication et contribue elle-même à faire évoluer l'horizon vers des types d'organisations différentes.

Le squelette grossier comprend tous les types d'éléments grossiers qui étaient présents dans le matériau originel, à l'exception des calcaires.

Ainsi, l'intégration des éléments granitiques à la matrice fine est fonction de leur dimension originelle. Certains d'entre eux s'altèrent profondément sans se désagréger et sans subir de phénomènes de remplissage d'argiles venant des parties supérieures ou voisines de l'horizon. D'autres subissent au contraire d'importants phénomènes de fissuration et de désagrégation, créant des fentes par lesquelles pénètrent les argiles existant au sein même de l'horizon; ces éléments sont évidemment vite intégrés à la matrice. Le comportement des principaux minéraux constitutifs peut se schématiser comme suit :

- les quartz sont en général fissurés et présentent une tendance nette au débit en éléments plus petits;
- les micas peuvent évoluer de 2 façons : soit ils perdent leur fer avant exfoliation et se trouvent donc souvent autoprotégés (l'altération est alors figée), soit ils perdent leur fer en même temps qu'ils s'ouvrent, s'exfolient et donnent des argiles micacées par microdivision;
- les feldspaths de type calcosodiques sont rapidement et profondément altérés ; les feldspaths potassiques (orthose - microline) résistent plus longtemps et subissent une séricitisation plus lente.

Les éléments gréseux sont remplis de fer et d'argiles ferriques dans toutes les porosités accessibles. Certains grès fins contiennent des amas verdâtres du type glauconite, qui font penser à des néogénèses possibles de ce minéral. Ils sont entourés de façon assez systématique de cutanes de contraintes qui sont d'épaisseur irrégulière.

Le squelette moyen est constitué par des éléments issus des matériaux grossiers les plus proches. Les éléments siliceux se fragmentent assez peu, ce sont donc les granites qui en se désagrégeant fournissent l'essentiel du squelette moyen de ces horizons. On observe en général un mélange d'éléments quartzeux, feldspathiques et micacés, dont la taille évolue des sables grossiers aux sables limoneux selon le stade d'altération atteint par les feldspaths et les micas.

Le plasma forme avec ce squelette moyen un assemblage de type intertextique. Il peut être de deux types :

- plasma d'altération provenant directement des minéraux altérables présents dans les éléments grossiers (feldspaths, micas et autres ferromagnésiens). C'est l'argile jeune, peu colorée (jaune pâle) et mal orientée;
- plasma de lessivage qui migre à partir des éléments précédents et qui provient aussi de la partie supérieure de l'horizon B₂t. Ce sont des revêtements argileux, bien orientés et bien colorés parce que riches en fer.

Traits pédologiques majeurs. Par rapport à l'horizon précédent, nous observons grossièrement les mêmes figures pédologiques, mais leur importance relative s'inverse. Ici, les phénomènes d'altéro-plasmation deviennent dominants par rapport aux phénomènes de lessivage, dont la masse ou le volume diminuent. Il n'empêche que, compte-tenu de la proportion moindre de plasma, l'organisation micromorphologique d'ensemble de l'horizon repose en grande partie sur ces figures de lessivage qui sont actuelles ou plus récentes et qui lui confèrent son allure caractéristique.

Par rapport au stade 3, nous avons nettement pu faire la distinction entre les phénomènes de lessivage anciens qui se traduisent par des organisations d'accumulation plutôt situées à la partie supérieure des horizons B_{2t} (cf. horizon précédent) et les phénomènes de lessivage plus actuels qui sont responsables de la dynamique de progression des processus et de l'approfondissement des sols. Ces points sont bien mis en évidence ici; ce qui nous montre que les sols observés ne sont pas des sols "fossiles" et figés, mais bien des vieux sols encore en voie de fonctionnement, transformation et approfondissement.

D'ailleurs, il faut souligner que lorsque nous étudions les niveaux encore plus profonds du profil pour atteindre les parties basales des horizons B de ces stades d'évolution, l'argile d'illuviation représente la masse plasmique essentielle. C'est elle qui imprime à ces secteurs (horizons B₂₃ et B₃ leur allure caractéristique avec assemblage intertextural lâche. Il y a donc remplissage progressif des porosités interélémentaires avant même que se manifestent les symptômes nets de fabrication d'argile par altération au sein ou aux dépens des cailloutis existants dans ces niveaux.

f) - Schéma des caractéristiques micromorphologiques.

L'ensemble des caractéristiques que nous venons d'explicitier pour les différents horizons est regroupé en guise de conclusions sous forme d'un tableau (tableau 5.1)

2 - TRAITS ESSENTIELS JALONNANT LA PROGRESSION DES PROCESSUS D'EVOLUTION

Les observations faites aux plans macroscopique et microscopique pour le stade d'évolution 4 permettent de confirmer certains points déjà évoqués lors de l'étude des stades précédents. De plus, elles apportent aussi un certain nombre d'éléments nouveaux sur la progression des processus d'évolution pédologique.

21. CONFIRMATIONS.

Parmi les confirmations que nous ne ferons que rappeler brièvement, citons essentiellement les données intéressant la différenciation générale des profils ainsi que l'organisation plasmique caractéristique des horizons majeurs. On assiste au sein de ce stade évolutif à une accentuation des processus déjà bien affirmés dans les stades précédents, à savoir l'approfondissement, le développement et une caractérisation plus accusée de ces horizons :

Tabl. 5 - 1

**CARACTÉRISTIQUES MICROMORPHOLOGIQUES DU STADE D'ÉVOLUTION N° 4 :
LES SOLS DES TRES HAUTES TERRASSES**

Horizons / Caractéristiques	Caractéristiques morphologiques Éléments grossiers	Squelette moyen ou fin	Plasma Assemblage, Sép. plasmique	Traits pédologiques	Degré d'altération
Horizon de surface A ₁ A ₂ (0-25 cm)	Galets de quartz, quartzites, silexites et silex + graviers et gravillons	Sable quartzeux + sables grossiers de silex, quartzites et quartz	Brun peu dense Ass. granulaire dense Squelette >> Plasma	- Vidange de l'argile ferrique des graviers - Maintien du fer dans ces éléments	Fragmentation mécanique des éléments siliceux Quartz craquelés Pas de minéraux altérables visibles
Horizon à graviers AB (25-55 cm)	Idem + nombreux graviers siliceux	Idem	Squelette >>> Plasma Ass. granulaire très lâche	Idem + très forte porosité en grand	Idem
Sommet B ₁ (55-110 cm)	Galets siliceux à même composante que ci-dessus + graviers quartzeux et siliciques	Sable + sable limoneux quartzeux	Squelette ≠ Plasma Rouge et brun Ass. intertextique lâche	Organisation plasmique hétérogène : revêtements argileux plus rouges, Plasma non orienté brun	Pas ou peu de fragmentation
Sommet B _{2t} (> 110 cm)	Galets siliceux à même composante + quelques roches cristallines	Sable grossier quartzeux + sable et limon micacé	Squelette << Plasma Ass. porphyro-squelique Plasma argileux omnisépique	- Cutanes rouges + papules - Amas de fer amorphe - Plasma désorienté jaune encore peu important	- Très forte fragmentation des cristallins - Ouverture des micas l'élite - Argilisation des feldspaths ou dissolution simple
Milieu B _{2t} (> 120 ou 220 cm)	Roches cristallines + galets siliceux de même composante qu'en A	Sable grossier quartzeux plus feldspathique, plus micacé avec quelques sables	Squelette < Plasma Ass; porphyrosquelique Passage à intertextique à la base, Plasma argileux omnisépique passant à squelvosépique	Abondance des phénomènes d'altéropasmation + Argilanes rouges bien orientés et fonctionnels	

- les horizons AB graveleux acquièrent une organisation typique d'horizons lessivés et appauvris;
- les horizons B eux-mêmes voient leur organisation plasmique se différencier, au point qu'une distinction nette apparaît entre les niveaux dits d'accumulation, les niveaux d'altération et les niveaux d'approfondissement (illuviation fonctionnelle).

22. ELEMENTS NOUVEAUX.

221. Pour les horizons lessivés, trois points importants sont à souligner :

a) - L'apparition de phénomènes de vidange différentielle des structures pièges. Les éléments grossiers (galets et surtout graviers et gravillons) de type silex, silexites, quartzites, grès quartzites, grès, dont la porosité initiale ou secondaire s'était bourrée de fer ou d'argiles ferriques au cours des stades évolutifs précédents, se vident assez brutalement des produits argilo-ferriques qui avaient pu s'y piéger et s'y mettre en réserves. Ceci traduit évidemment, au plan des processus, des possibilités nouvelles de mobilisation de ces argiles. Au contraire, le fer n'est encore que peu ou pas du tout affecté par ces phénomènes de départ et reste piégé à l'intérieur des structures où il avait pu être emprisonné dans les stades antérieurs.

Tout se passe donc comme si, dans ces horizons lessivés, on assistait à un début de disjonction entre la dynamique des argiles et celle du fer.

b) - Les phénomènes de fragmentation et de désagrégation intéressent souvent ces galets que nous venons de citer et aboutissent essentiellement pour ce stade 4 à un débit en éléments de la taille des graviers et des sables grossiers. Ces phénomènes supposent évidemment un stade de fragilisation suffisamment poussé des éléments siliceux. Ils représentent en tout cas, une augmentation considérable des surfaces de contact entre éléments siliceux et solution du sol, ce qui contribue à augmenter dans des proportions équivalentes les possibilités de dissolution ultérieures de la silice dans ces horizons.

c) - La progression des phénomènes d'appauvrissement ou de lessivage qui se traduisent par un approfondissement des horizons supérieurs descendant plus bas dans le profil et gagnant peu à peu sur le sommet des anciens horizons B eux-mêmes.

222. Pour les horizons B, par rapport aux stades évolutifs précédents, il y a une augmentation en importance et en intensité des phénomènes d'altération, car il faut descendre très bas dans la partie médiane de ces horizons B pour trouver des structures et des organisations d'altéro-plasmation fonctionnelles et caractéristiques.

Comme le préfiguraient assez bien les sols des niveaux mindéliens les plus anciens, nous observons dans ce stade 4 une double diffé-

renciation plasmique, qui se retrouve à la fois dans les niveaux d'accumulation et dans les niveaux d'altération. Cette différenciation s'exprime de manière beaucoup plus nette que dans les stades précédents par l'existence d'une organisation plasmique complexe.

Dans les niveaux d'accumulation, le plasma illuvial est largement dominant, il résulte de phénomènes de lessivage anciens, il a subi des transports importants et surtout il a toujours été fortement perturbé et remanié par le jeu des phénomènes de pression interne et de mouvements mécaniques. L'altéro-plasma est peu abondant; il est l'objet de phénomènes de décoloration localisée, qui permettent de penser à une déferrification partielle des minéraux argileux secondaires.

Dans les niveaux d'altération, l'illuvio-plasma a une importance moindre, il a subi des phénomènes d'entraînement et de transport plus limités et plus récents (ou actuels); son organisation et son orientation par rapport aux structures primaires ont été perturbées. L'altéro-plasma est évidemment très important; dans ces stades, il est surtout en liaison avec les minéraux feldspathiques (feldspaths potassiques), qui sont à une phase optimale d'altération.

Ainsi, au sein des horizons B eux-mêmes, mais à un degré moindre que dans les horizons de surface, nous assistons à une disjonction progressive entre l'argile et le fer mise en évidence par les faits décrits ici et qui préfigure des possibilités d'orientation nouvelle des phénomènes d'évolution dans les stades ultérieurs.

3 - PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES.

Les principaux traits que nous venons d'évoquer se traduisent au plan physique et chimique par des caractéristiques bien nettes qui permettent elles aussi de jalonner la progression de l'évolution.

31. FRAGMENTATION DES ELEMENTS GROSSIERS : EVOLUTION DES GRAVIERS ET DE LA TERRE FINE.

Pour quantifier l'importance des phénomènes de fragmentation des divers types d'éléments grossiers et afin d'apprécier la production corrélative de graviers et de terre fine, nous conserverons les mêmes exemples (Ex. n° 1 - profil des Trappistines ou Bois de la Viale; Ex.n° 2 profil du plateau de Louze). Les résultats d'ensemble des comptages sont rassemblés dans la figure 5.1 et font apparaître que :

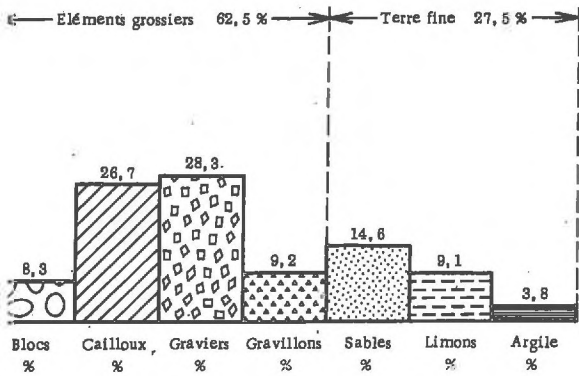
- au sein des horizons B, on assiste à un épuisement progressif des éléments cristallins. Sur le plan global, les transformations des constituants qui interviennent ne sont pas très différentes de celles mentionnées lors des stades précédents. Toutefois, les exemples présentés permettent de mettre en évidence et d'apprécier l'influence de la composition pétrographique du matériau originel. Les différences d'argilisation que nous notons ici sont spectaculaires; bien sûr elles sont exagérées, car il s'agit de références quasi-ponctuelles (prélèvements localisés à l'intérieur d'une portion d'horizon B), alors qu'il faut se reporter à la masse globale d'argile produite en prenant en compte l'épaisseur totale de ces horizons B,

Fig. 5 - 1

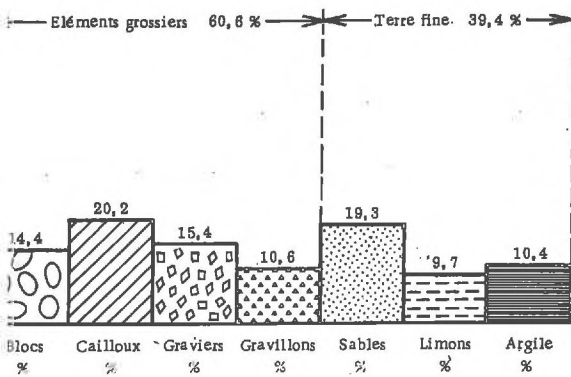
**ÉVOLUTION DES ÉLÉMENTS GROSSIERS ET DE LA TERRE FINE
DANS LES SOLS DES TRÈS HAUTES TERRASSES
(en pour cent de poids)**

Ex. 1 : sol du Bois de la Viale (Donzère)

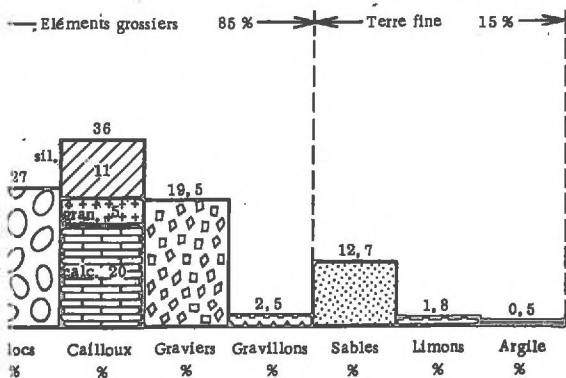
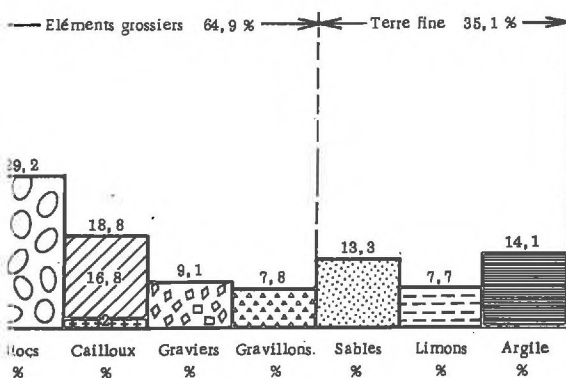
(épaisseur 0, 30 m)



(épaisseur 0, 30 m)



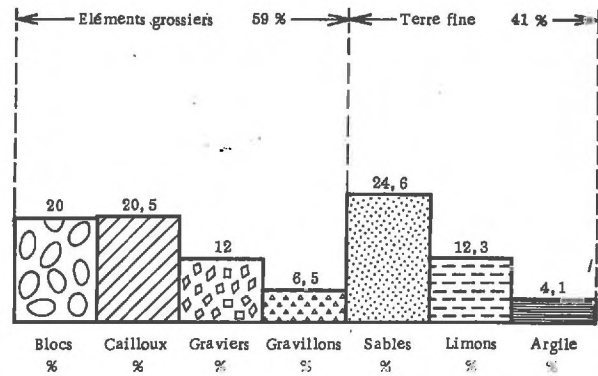
(épaisseur 4 à 5 m)



Ex. 2 : sol du Plateau de Louze

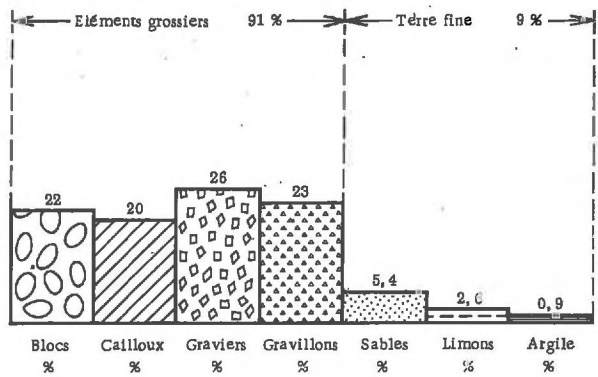
(épaisseur 0, 50 m)

Horizons A₁ A₂



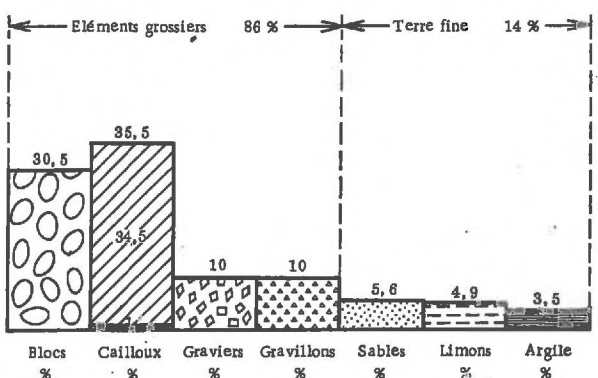
(épaisseur 0, 50 à 0, 70 m)

Horizon AB à graviers

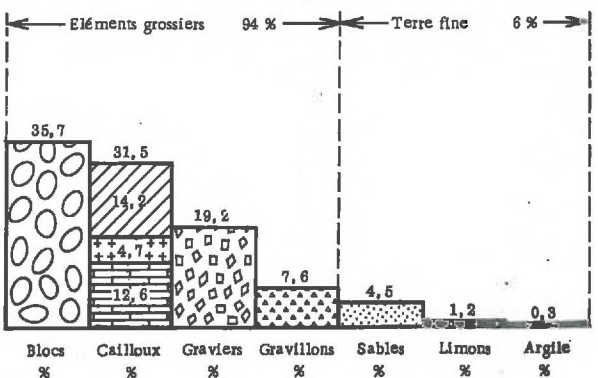


(épaisseur 8 à 10 m)

Horizon B_{2t}



Horizon C



- au sein des horizons de surface, nous observons une disparition complète des matériaux cristallins. Le fractionnement de ces éléments ne suffit d'ailleurs pas à expliquer à lui seul la forte augmentation que nous pouvons constater pour les fractions allant des graviers aux sables. Et, cela confirme donc de manière indirecte le début d'une fragmentation des éléments siliceux, fait que nous avons déjà largement souligné lors des études morphologiques.

32. CARACTERISATION ANALYTIQUE DE LA FRACTION TERRE FINE.

Sur un plan global, l'essentiel des données analytiques relatives à la fraction "terre fine" de ce stade évolutif n° 4, est illustré par les exemples rassemblés ci-contre dans le tableau 5.2.

321. Granulométrie.

Dans les sols de ces niveaux, nous n'observons pas d'enrichissement marqué en argile au sein des horizons B par rapport aux teneurs déjà observées dans les stades précédents et notamment dans les sols développés sur les niveaux mindéliens, les plus anciens. Dans les sols développés sur des matériaux originels à composante rhodanienne modale, les degrés d'argilisation au sein des horizons B restent très voisins, voire légèrement inférieurs; ce qui dénoterait un début de remobilisation des argiles, dans ces niveaux colmatés. Pour les sols développés sur des matériaux originels à caractère plus siliceux, l'argilisation est moindre, mais il faut rappeler que l'épaisseur des horizons B est beaucoup plus considérable (souvent doublée). C'est donc d'avantage la répartition de l'argile au sein des profils qui est différente plutôt que la masse totale d'argile existante.

Pour se fixer des points de repère, si nous essayons de comparer le degré relatif de lessivage à partir des indices d'entraînement d'argile calculés entre A et B, nous voyons qu'ils restent du même ordre de grandeur que ceux calculés dans les niveaux mindéliens supérieurs. Pour les sols sur matériaux à composante rhodanienne, ils sont en effet compris entre 1/4 et 1/5, alors qu'ils sont plutôt situés autour de 1/3 pour les matériaux à composante plus siliceuse.

Les sables restent toujours dominants au sein des horizons de surface. Les limons sont mieux répartis dans les profils que dans les stades évolutifs précédents. Il apparaît même un enrichissement relatif en limons fins dans les horizons B des termes à composante originelle siliceuse. Ce qui permet de penser qu'on assiste à un début d'entraînement mécanique de ces fractions depuis les horizons de surface jusqu'aux horizons B, qui préfigurerait une tendance évolutive qui va s'affirmer ultérieurement. Toutefois, cette tendance n'est encore pas généralisée, puisqu'elle ne se manifeste pas dans les termes issus de matériaux à composante rhodanienne classique.

322. Réaction des sols. Saturation du complexe absorbant

La réaction des sols prend un caractère acide d'autant plus marqué que les matériaux originels ont une composante siliceuse importante.

Tabl. 5 - 2

**CARACTÉRISTIQUES ANALYTIQUES DES SOLS DES TRES HAUTES TERRASSES :
STADE D'ÉVOLUTION N° 4**

Profil K1 : Bois de la Viale (Trappistines) - Donzère

Hz.	Profondeur cm	Granulométrie %						Matière organique %				pH eau	CO ₃ Ca %	
		TF	SG	SF	LG	LF	A	MO	C	N	C/N		total	actif
Ao A1	0-15	27,5	28,4	27,8	15,8	16,9	8,0	3,1	1,81	1,04	17,5	6,1	-	-
A ₂	15-30	27,5	32,1	28,7	14,2	15,6	8,8	0,6	0,37	0,03	13,2	5,2	-	-
AB	30-50	39,4	25,7	22,7	11,2	13,0	26,5	0,9	0,51	0,04	13,0	5,5	-	-
B ₂₁ ^t	50-90	37	24,5	15,0	6,5	8,8	44,6	0,6	0,39	0,04	9,8	5,6	-	-
B ₂₂ ^t	90-120	35	28,7	16,2	5,7	9,7	39,7	-	-	-	-	5,9	-	-
B ₂₃ ^t	120-150	35	31,5	20,5	6,0	10,3	31,7	-	-	-	-	6,3	-	-
B ₂₄ ^t	150-250	32	31,1	19,1	6,1	10,0	33,7	-	-	-	-	7,3	-	-
BC	250-300	30	51,3	19,3	5,3	8,1	16,0	-	-	-	-	8,6	-	-
C ₁	800	15	85,9	9,9	1,4	1,1	1,7	-	-	-	-	9,1	13,9	9
C ₂	1200	15	72,8	19,8	3,3	1,7	2,4	-	-	-	-	8,8	18,8	12

Hz.	Cations échangeables me/100 g					Taux Sat.	Fe ₂ O ₃ %		P ₂ O ₅ % assim.
	Ca	Mg	K	Na	T		total CIH	libre Deb	
AoA1	5,0	0,60	0,19	0,04	8,2	71,1	1,18	1,04	0,020
A ₂	1,25	0,21	0,13	0,04	5,3	30,7	1,14	0,65	0,004
AB	6,5	0,92	0,10	0,09	14,8	51,4	2,86	2,08	0
B ₂₁ ^t	13,75	2,03	0,15	0,11	25,4	63,1	4,64	3,51	0
B ₂₂ ^t	14,0	2,30	0,15	0,12	23,8	69,6	4,71	3,64	0,003
B ₂₃ ^t	14,0	2,30	0,13	0,13	19,1	86,7	3,96	2,86	0,006
B ₂₄ ^t	21,0	2,37	0,14	0,14	20,8	Sat.	3,78	3,51	0,006
BC	34,5	0,56	0,06	0,09	11,7	Sat.	2,43	1,43	-
C ₁	-	-	-	-	2,2	-	0,53	0,26	-
C ₂	-	-	-	-	3,4	-	0,71	0,39	-

Profil V14 : LOUZE (Chateau d'eau) -Bièvre-Valloire

Hz.	Profondeur cm	Granulométrie %						Matière organique %				pH eau	CO ₃ Ca %	
		TF	SG	SF	LG	LF	A	MO	C	N	C/N		total	actif
Ao	0-3	41	19,1	20,1	10,8	14,0	7,9	28,1	16,0	0,8	20,1	4,2	-	-
AoA1	3-25	41	25,9	23,5	14,7	14,8	8,0	13,1	6,5	0,36	18,4	4,7	-	-
A ₂	25-50	25	28,8	29,9	15,5	14,0	10,3	1,5	0,8	0,03	23,8	4,8	-	-
AB	50-80	8,6	28,7	30,3	14,0	14,0	12,5	0,5	0,3	0,03	10	4,85	-	-
B ₁	80-150	13,6	33,5	25,6	14,6	17,6	8,7	-	-	-	-	5,0	-	-
B ₂₁ ^t	200	13,6	23,5	17,7	5,1	28,2	25,5	-	-	-	-	5,3	-	-
B ₂₂ ^t	280	13,6	29,0	16,4	6,5	20,3	27,8	-	-	-	-	5,25	-	-
C	1500	6,0	48,1	28,5	11,2	11,8	0,9	-	-	-	-	8,9	52,3	5

Hz.	Cations échangeables me/100 g					Taux Sat.	Fe ₂ O ₃ %	
	Ca	Mg	K	Na	T		total	libre
Ao	6,0	0,6	0,4	0,04	28	25,1	-	-
AoA1	1,75	0,2	0,2	0,02	12	18,2	1,00	0,57
A ₂	0,50	0,04	0,05	0,02	5,7	10,7	1,14	0,57
AB	0,5	0,05	0,06	0,02	5,8	10,8	1,14	0,57
B ₁	1,0	0,07	0,04	0,02	5,2	21,7	1,86	1,43
B ₂₁ ^t	7,0	3,3	0,3	0,07	21,1	50,6	5,30	4,29
B ₂₂ ^t	4,0	1,9	0,2	0,07	14,3	43,1	4,15	3,15

- Dans les sols développés sur matériaux à composante rhodanienne, les pH restent compris entre 5 et 6. Une certaine désaturation du complexe apparaît dans les horizons de surface, mais elle est surtout nette au sein des horizons A₂; dans les horizons B, la désaturation reste peu marquée et n'atteint jamais 60 %, le taux de désaturation remonte ensuite très vite dans les horizons inférieurs des profils.
- Dans les sols développés sur matériaux de type Louze, les pH descendent en-dessous de 5. La désaturation du complexe est très forte dans l'ensemble des horizons de surface où les rapports S/T se cantonnent autour de 30 %. Même dans les horizons B, la désaturation est encore très sensible puisque les rapports S/T ne remontent guère au-delà de 50.

On assiste donc bien au cours de cette phase évolutive à une lixiviation intense des bases, qui aboutit à une désaturation progressivement croissante du complexe préparant les phénomènes de dégradation qu'on va observer dans les phases ultérieures.

323. Capacité d'échange.

La capacité d'échange de la fraction argile subit assez peu de variations par rapport aux termes développés sur les niveaux mindéliens anciens. On observe toujours des valeurs voisines de 50 meq/100g d'argile au sein des horizons de surface et des valeurs légèrement supérieures qui se situent entre 60 et 80 meq/100g d'argile dans les horizons B.

4 - CONCLUSIONS RELATIVES A CETTE PHASE DE TRANSITION.

Cette phase marque l'amorce d'une nouvelle tendance évolutive de la pédogénèse sur les matériaux étudiés. Les caractéristiques qui apparaissent au sein des profils de sols sont encore incomplètement affirmées. Un certain nombre de points semblent néanmoins particulièrement importants car ils constituent autant de jalons préparatoires à des phénomènes mieux caractérisés.

a) - Le stade n° 4 correspond à une stabilisation relative dans l'intensité même des processus d'altération et d'argilisation, la progression de ces phénomènes s'y manifeste malgré tout à deux niveaux essentiels :

- d'abord une individualisation plus nette des horizons de surface et une accentuation des caractères marquant leur appauvrissement en éléments fins (argile et aussi limons);
- ensuite un approfondissement de ces mêmes horizons de surface et un approfondissement encore beaucoup plus considérable des horizons B eux-mêmes (5 à 10 mètres d'épaisseur).

b) - La tendance au remplissage complet des porosités au sein des horizons B apparaît nettement mais n'est pas encore généralisée. Elle a d'abord pour cause l'augmentation des teneurs en argile au sein de

ces horizons mais nous pensons que ce phénomène est aussi en rapport direct avec la présence d'argiles plus mobiles, à la suite des intenses phénomènes de lixiviation des bases.

c) - Les observations micromorphologiques ont permis de mettre en évidence 3 points essentiels concernant la dynamique de progression des processus d'évolution, à savoir :

- vidange au moins partielle des argiles emprisonnées dans les structures-pièges (grès, silexites, quartzites) présentes au sein des horizons de surface, alors que le fer s'y maintient provisoirement;
- début de fragmentation et de désagrégation des éléments grossiers siliceux en éléments graveleux et même sableux;
- différenciation plasmique des horizons B encore plus accentuée que celle que nous avons pu observer dans les termes mindéliens les plus évolués. L'augmentation des proportions d'argile jaune, non ou peu ferrifère, est l'indice d'un début de disjonction de l'argile et du fer.

d) - Au plan analytique, les phénomènes d'acidification et de désaturation du complexe absorbant qui sont surtout nets dans les horizons de surface et moins affirmés dans la masse des horizons B sont eux aussi des indices qui vont dans le même sens que les faits que nous venons de résumer brièvement. Nous verrons dans le chapitre qui suit si cette orientation évolutive nouvelle se retrouve aux niveaux minéralogique et géochimique.

Chapitre 6

PHASE ULTIME D'EVOLUTION :

LES SOLS DES NIVEAUX VILLAFRANCHIENS (Stade 5)

Nous avons vu que les niveaux villafranchiens correspondent sur le plan régional à des entités morphologiques assez bien caractérisées, notamment en Bièvre-Valloire et dans les secteurs Nord de Valence. Ces niveaux sont néanmoins complexes, car ils passent progressivement vers l'amont à des surfaces qu'il est difficile de différencier des surfaces d'aplanissement mio-pliocènes. Les sols développés sur ces formations représentent donc bien les plus anciens stades d'évolution quaternaires que nous connaissions dans la région mais englobent peut être aussi des termes encore plus vieux (fini-tertiaires), qu'il y aurait lieu de dissocier de la séquence étudiée. Toutefois, si ces vieux sols tertiaires existent réellement, ils correspondent à des témoins d'extension très limitée, qui ont été forcément remaniés par les remblaiements quaternaires et qui, en tout état de cause, n'ont pu conserver l'intégralité de développement de leur profil pédologique.

Deux stades d'évolution ont été plus spécialement distingués sur ces niveaux : un sol en voie de dérubeffaction et un sol entièrement jaune ou lutéfié. Nous les décrirons en insistant sur les particularités propres à chacun de ces stades, puis nous nous efforcerons de dégager au travers des traits communs et des différences signalées, les faits évolutifs marquants qui caractérisent ces sols par rapport aux stades précédents.

1. - CARACTERES SPECIFIQUES DE L'ORGANISATION DES SOLS AU COURS DE CES DERNIERS STADES D'EVOLUTION.

11. ASPECTS MORPHOLOGIQUES : SOLS EN VOIE DE DERUBEFFACTION ET SOLS JAUNES.

Nous avons rarement pu observer des profils complets car cela nécessitait de pouvoir descendre et prélever à des profondeurs parfois supé-

rieures à 15 m. Seule la partie sommitale des profils (3 à 7 m) a donc en général été systématiquement analysée et caractérisée. Ce n'est que dans quelques situations exceptionnelles (puits) que l'on a pu explorer l'ensemble du profil.

En ce qui concerne la description des sols en cours de dérubi-faction, nous nous appuyons essentiellement sur des profils situés sur le plateau de Bonnevaux (Nord de la Bièvre-Valloire), alors que pour les sols lutéfiés, nous intégrons à la fois des profils implantés dans ces mêmes situations, mais aussi de nombreux profils répartis sur le plateau du Chambarran (secteurs aval et secteurs amont).

111. Présentation du profil type du stade évolutif n° 5 en voie de dérubi-faction.

Stade d'évolution n° 5

- Ao A₁ 0-6 cm : Litière humifère. Brun foncé (10 YR 4/3). Sec. Non calcaire. Cailloutis roulés de quartz et quartzites de dimensions comprises entre 1 et 10 cm, avec terre fine sablo-limoneuse. Structure fragmentaire peu nette en humide, à tendance grumeleuse autour des racines en sec (Grumeaux de 1 à 5 mm). Forte porosité globale mais agrégats à pores peu nombreux. Porosité du type interélémentaire. Fragile. Meuble. Nombreuses racines et radicelles fines et grosses horizontales. Quelques galeries. Activité biologique forte. Transition graduelle et irrégulière.
- A₁ Fe 6-40 cm : Brun foncé (10 YR 3/3). Frais. Non calcaire. Sable limoneux avec cailloutis roulés de quartz et quartzites, quelques grès de 1 à 2 cm. Structure fragmentaire peu nette. Tendence polyédrique fine. Concrétions et pisolites ferrugineux de 1 à 2 mm. Friable. Meuble. Nombreuses racines et radicelles. Activité biologique forte. Transition distincte et régulière.
- (A₂)AB Fe 40-50 cm : Brun jaunâtre (10 YR 5/8) avec petites taches rouges de 1 mm² (10 R 4/8). Frais. Non calcaire. Sable argileux et caillouteux. Cailloutis de quartz et quartzites avec nombreux grès très altérés. Structure fragmentaire peu nette à débit polyédrique grossier. Nombreuses concrétions ferrugineuses bien indurées. Quelques racines moyennes et fines horizontales. Peu poreux. Agrégats sans pores visibles. Peu friable. Activité biologique moyenne. Transition graduelle et irrégulière.
- B₂₁ 50-70 cm : Jaune brunâtre (10 YR 5/8), 70 % avec taches rouge jaunâtre (5 YR 5/6). Frais. Non calcaire. Argilo-caillouteux avec cailloutis de quartz, quartzites et grès très abondants. Présence de grès très altérés. Très peu poreux. Agrégats sans pores visibles. Structure massive. Compact. Quelques racines grosses et moyennes horizontales. Activité biologique faible. Transition diffuse et irrégulière.
- B₂₂ 70-120 cm : Bariolé. Rouge (10 R 4/6) 30 %, jaune (10 YR 7/8) -40 % et gris brun clair (10 YR 6/2) -30 %. Frais. Non calcaire. Argilo-caillouteux avec nombreux grès rubéfiés et grès altérés en ocre jaune. Quelques blocs roulés de quartz et quartzites. Structure massive. Très compact. Non poreux. Quelques passées et zones de circulations préférentielles dans secteurs plus graveleux. Agrégats sans pores visibles. Pas de racines. Activité biologique nulle. Limite diffuse et irrégulière.
- B₂₃ 120-200 cm : Bariolé. Rouge (10 R 4/6) -20 %, jaune (10 YR 5/8) -50 % et gris brun clair (10 YR 6/2) -30 %. Frais. Non calcaire. Argilo-caillouteux avec gros blocs de quartzites et quartz roulés. Zones décolorées et fortement déferrifées dans passées préférentielles de circulation de l'eau. Apparition de rares fantômes de granites désagrégés, très pourris et altérés. Nombreux grès rubéfiés sur place avec aureoles jaunâtres. Structure massive. Très compact et tassé. Non à très peu poreux. Faces de pression visibles autour des galets. Non à très peu friable. Pas de racines. Limite diffuse et irrégulière.
- B₂₄ 200-400 cm : Jaune orangé (5 YR 5/6 à 4/6) dominant avec quelques taches plus rougeâtres (2,5 YR 4/6) localisées dans les zones plus sableuses. Les langues de dégradation ont pratiquement disparu. Galets de quartzites et quartz nombreux (40 %) avec fantômes de cristallins de plus en plus nombreux et mieux individualisés à la base de l'horizon. Pas de traces de galets calcaires encore bien visibles. Terre fine de texture argilo-sableuse. Structure massive. Encore compact et tassé. Peu friable. Activité racinaire nulle. Passage graduel et irrégulier.
- B₂₅ 400-500 cm : Jaunâtre à brun jaunâtre (10 YR 7/6 à 5/8). Non calcaire. Très caillouteux avec gros quartzites roulés et quartz (50 %) de 50 cm de diamètre. Présence de galets de cristallins de grosses dimensions (30-40 cm) : granites, gneiss, micaschistes, altérés, à cœur bien individualisés, friables ; certains sont mous (selon nature pétrographique originelle). Fantômes mous et argilifiés de calcaires rouge, jaunâtre, noir, devenant assez nombreux. Matrice fine peu abondante argilo-sableuse très hétérogène (localement plus sableuse et graveleuse près des cristallins, plus argileuse près des anciens calcaires). Nombreux enduits ferro-manganiques sur les faces des galets et des unités structurales. Structure massive, débit polyédrique peu net. Porosité très faible. Passage diffus et irrégulier.

- B₂₆ 500-1000 cm : Jaunâtre (10 YR 5/6). Non calcaire. Très caillouteux à galets de toute nature. Nombreux quartzites de petite taille à côté de blocs. Nombreux cristallins arénisés et mous, de fortes dimensions (10-30 cm). Nombreux fantômes calcaires ramollis et argilisés. Ensemble fortement teinté en noir ou brun foncé par des enduits ferro-manganiques sur faces des galets dans la matrice fine. Grès altérés nombreux. Amphibolites complètement arénisées mais encore vertes. Matrice argilo-sableuse. Structure massive. Moins tassé. Moyennement friable. Porosité moyenne à faible. Passage graduel et irrégulier.
- B₃₁ 1000-1500 cm : Jaunâtre à jaune ocre (10 YR 5/6 à 4/6). Non calcaire. Même type de cailloutis que ci-dessus. Présence de quelques phtannites à partir de 1200. Enduits ferro-manganiques en lits discontinus, zones de concentrations très fortement teintées. Matrice fine sablo-argileuse. Structure fragmentaire peu nette à tendance polyédrique moyenne. Friable. Peu cohérent. Passage diffus et discontinu.
- B₃₂ 1500-1800 cm : Jaunâtre plus clair (10 YR 5/6). Non calcaire. Toujours même type de cailloutis avec granites encore fortement altérés. Apparition à la base de lentilles décimétriques de poudingue à galets calcaires avec minces cortex sur les galets. Ces zones consolidées sont très discontinues dans cette portion d'horizon et jouxtent des zones fortement altérées. Zones d'approfondissement du sol encore fonctionnelles par destruction progressive de l'ancien poudingue calcaire.
- A₂-BC 1800-2000 cm : Zones de transition avec poches pouvant atteindre 2 à 3 mètres pénétrant dans le matériau-mère. Présence de galets calcaires mais matrice fine encore décalcarisée et en proportion peu importante. Forte porosité entre cailloutis. Passage brutal au matériau avec terre fine calcaire (sur le plan de la réaction à l'acide).
- C + de 2000 cm : Matériau-mère sablo-caillouteux avec cailloutis composite (comprenant quartzite, quartz, silex, calcaires, cristallins). Matrice sableuse calcaire jaunâtre. Très poreux, très filtrant. Bouillant. Pas de cohésion. Le passage au poudingue consolidé se fait à des profondeurs encore supérieures, difficiles à chiffrer avec précision ; elles sont de toutes façons très variables selon la situation morphologique par rapport au sommet du plateau.

112. Cas du sol entièrement lutéfié.

Par rapport au sol que l'on vient de décrire, les sols entièrement lutéfiés possèdent un développement de profil très similaire à plusieurs points de vue : succession générale des divers horizons, épaisseur moyenne de ces horizons et importance des phénomènes d'argilisation et d'altération observés.

Les principales différences morphologiques tiennent :

- d'abord à la couleur propre des horizons de surface et de la partie sommitale des horizons B. Cette couleur est assez uniformément jaune orangé (5 YR 4/6 - 5 YR 6/8) sans aucune trace ou aucune manifestation du caractère rubéfiant. Le bariolage des horizons B existe mais sous une forme beaucoup moins spectaculaire parce que moins contrastée,
- ensuite à la structure des mêmes horizons qui prend un caractère massif encore plus accentué avec une porosité plus faible et un colmatage encore plus marqué,
- enfin, à l'individualisation du fer qui est beaucoup mieux marquée et qui apparaît soit sous la forme d'amas ou d'enduits noirâtres liés aux éléments graveleux, soit sous la forme de concrétions plus ou moins indurées visibles depuis les horizons de surface jusqu'au sommet des horizons B.

113. Aspects morphologiques essentiels des sols des niveaux villafranchiens.

Par rapport au stade 4 précédent, la morphologie des sols des niveaux villafranchiens traduit un certain nombre de différences fondamentales

que nous pouvons résumer comme suit :

- a) - Amincissement des horizons de surface qui perdent leur caractère d'horizon très appauvri. Ceci paraît être lié à une double cause :
- . possibilité d'auto-destruction de ces horizons consécutive aux processus de dégradation acide, mais aussi à l'affinement général des éléments du squelette qui deviennent ainsi de plus en plus sensibles aux processus d'entraînement mécanique;
 - . existence possible de phénomènes de décapage et de troncature du fait de l'extrême sensibilité à l'entraînement par le vent des particules limoneuses produites par l'altération. Cette deuxième hypothèse théorique paraît à l'heure actuelle à exclure, car sur ces niveaux, d'après les observations de terrain, on constate plutôt le phénomène inverse, c'est à dire celui de l'accumulation éolienne.
- b) - Hyper-développement des horizons B qui peuvent dépasser 15 et même 20 mètres d'épaisseur. Dans les 5 premiers mètres supérieurs, ces horizons B acquièrent un caractère massif et compacté en raison de leur argilisation intense et des importants phénomènes de colmatage qui s'y développent.
- c) - Existence de phénomènes de dérubiéfaction et de déferrification dans la partie supérieure de l'horizon B et même dans toute la partie sommitale des profils avec acquisition de teintes jaune orangé ou jaune ocre (2,5 YR 6/4 à 10 YR 5/8) et de teinte grisâtre ou gris bleuté (10 YR 6/2).

L'apparition de cet aspect bariolé typique est due aux processus combinés d'engorgement et de dégradation acide; mais les plages déferrifiées et décolorées ont une répartition différente de celle des langues de dégradation souvent décrites dans les sols limoneux (JAMAGNE M. - 1969, 1973; BEGON J.C. et JAMAGNE M. - 1971) et semblent plutôt en liaison avec l'altération de certains types de cailloutis et à la dynamique de circulation de l'eau à l'intérieur de ces zones d'altérites.

d) - Aspects particuliers des évolutions et des transformations subies par les cailloutis, qui varient selon leur nature pétrographique originelle. Les traits essentiels peuvent se résumer comme suit :

- . les quartz et les quartzites se conservent sur l'ensemble du profil et ne subissent que de faibles modifications morphologiques : pour les premiers, développement des phénomènes dits "de carie" surtout visibles dans les horizons de surface, pour les seconds acquisition d'une patine brun à brun rouge surtout répandue dans les horizons les plus superficiels.
- . pour les grès calcaires, les calcaires à trame siliceuse et les silex eux-mêmes, il y a lieu de distinguer 2 niveaux dans le profil.

Dans les niveaux supérieurs (compris entre la surface et 2 à 3 mètres de profondeur), ces éléments ont subi des phénomènes d'altération intenses se traduisant par leur fragilisation et leur ramollissement complets (on peut les couper au couteau) : entre 0 et 150 cm, ces éléments se composent d'une partie centrale encore faiblement colorée en jaune ou ocre alors que

la périphérie ou le cortex est constitué d'une auréole blanchâtre complètement déferrifiée; au-delà de 150 jusqu'à 250 à 300, ces éléments fonctionnent comme pièges à fer et à argile ferrique. Dans les niveaux plus profonds, ces types d'éléments sont beaucoup moins altérés : ainsi, au fur et à mesure qu'on s'enfonce dans le profil, nous les retrouvons de mieux en mieux conservés, la trame siliceuse reste intacte, les galets sont durs mais ils restent décalcarisés jusqu'à la base.

. les calcaires marneux et les calcaires crayeux ne se retrouvent pas dans les profils avant 350-400 cm, car ils sont complètement intégrés à la matrice. Au-delà de ces profondeurs, nous ne retrouvons que des fantômes d'éléments calcaires complètement ramollis et argilisés sur place : ils ont alors un aspect blanc, grisâtre ou gris bleuté. Toutes ces zones d'altération des calcaires marneux forment des plages claires, dont l'aspect morphologique est tout à fait similaire aux zones décolorées que nous avons signalées au sein des horizons supérieurs (bariolage). Et ceci nous permet de penser que ces éléments calcaires sont bien en grande partie responsables de la genèse de ces faciès bariolés caractéristiques de ces stades d'évolution.

. Enfin, pour les éléments cristallins, on observe la gradation suivante :

- jusqu'à 150 cm, les éléments cristallins ne sont jamais reconnaissables et ils sont profondément intégrés à la matrice. Seule l'abondance locale de paillettes de micas blanc permet de soupçonner leur emplacement primitif;

- entre 150 et 250 cm, quelques éléments de très grandes dimensions sont visibles, mais ils sont toujours très mal conservés, la forme du galet même n'étant pas préservée; seuls certains fragments ont pu résister localement;

- au-delà de 250 cm, les granites peuvent avoir conservé leur forme, mais ils sont toujours altérés et pourris jusqu'au coeur.

12. CARACTERISTIQUES MICROMORPHOLOGIQUES DES SOLS DES NIVEAUX VILLAFRAN- CHIENS.

Les observations micromorphologiques permettent de confirmer et surtout de préciser certains aspects fondamentaux que nous venons d'évoquer pour ce stade d'évolution n° 5.

121. Horizons de surface.

Sur le plan de l'aspect général, ces horizons sont caractérisés par une dominance du squelette sableux fin et limoneux par rapport à un plasma très mal individualisé.

Les éléments grossiers sont constitués uniquement d'éléments siliceux. A côté des galets de quartz et de quartzites qui n'ont pas été pris en compte dans les lames, on observe des graviers et gravillons, qui sont le plus souvent fortement ferruginisés.

Le squelette moyen et fin est représenté par des sables (100-150 μ) et des limons (5 à 20 μ) quartzeux pour 80 % . Parmi les éléments de sables plus grossiers de 500-600 μ , ce sont encore les quartz qui dominent, de formes très irrégulières, peu craquelés et peu fissurés; mais on observe aussi des silex, quartzites et grès siliceux, qui sont alors souvent ferruginisés. (pl.VII - photo 29).

Le plasma est peu abondant, floconneux, peu riche en fer et coloré surtout par la matière organique. Il est réparti en fines pellicules autour des éléments du squelette donnant un assemblage de type granulaire dans le sommet des horizons passant à un assemblage de type intertextique vers la base. La porosité d'ensemble de la lame est irrégulière. La base de l'horizon est plus tassée et plus compacte, avec une porosité par canaux et fissures de retrait mais avec une porosité interagrégats peu importante.

Les caractéristiques essentielles de ces horizons de surface
sont :

- la dominance très nette du squelette sur le plasma, lui même peu individualisé et coloré surtout par la matière organique;
- la taille même des éléments du squelette (à dominante de limon) qui révèle un état de fragmentation plus poussé que dans les stades précédents;
- la tendance à la ferruginisation de nombreux éléments du squelette grossier et moyen. Les individualisations ferrugineuses peuvent constituer 10 % de la masse globale de l'horizon et revêtent plusieurs formes :
 - . grosses concrétions ou pédorelictés, assez fortement indurées de 2 à 5 mm de diamètre, dont le noyau central est souvent constitué d'un fragment d'éléments grossiers siliceux; (pl.VII - photo 30)
 - . petites concrétions entièrement ferrugineuses de la taille des sables de 200 à 400 μ ;
 - . enfin, petite amas qui paraissent peu indurés de 50-60 μ et qui représentent des formes d'individualisations du fer en cours de constitution (comparer avec horizon B; cf.pl.VII - photo 28).

Au sein de ce type d'horizon, il n'existe pas de différences essentielles entre les termes lutéfiés et ceux en cours de dérubication.

122. Horizons intermédiaires entre A et B.

Du fait de leur position charnière entre les horizons de surface franchement lessivés et les horizons B d'accumulation, ces horizons intermédiaires possèdent des caractéristiques propres qui peuvent varier selon les stades évolutifs observés.

- Ainsi, au sein des termes lutéfiés, ces horizons présentent des caractéristiques morphologiques qui les rapprochent beaucoup de celles des horizons lessivés de surface décrits précédemment.

On observe toujours une dominance du squelette sur le plasma avec assemblage granulaire et présence de concentrations ferriques importantes, soit localisées au sein des éléments grossiers graveleux ou du squelette sableux, soit individualisées sous formes de nodules. Le squelette, constitué de sables limoneux et de sables quartzeux présente de nombreuses figures de fragmentation et de désagrégation (quartz cariés et angles émoussés, quartz éclatés) conduisant à la fabrication de limons fins. Enfin, le plasma floconneux, peu coloré, est toujours dominant, mais on observe dans certains pores quelques revêtements argileux plus colorés et encore rubéfiés. L'assemblage est de type intertextique, assez compact avec faible porosité entre éléments du squelette et présence de fissures et chenaux.

- Au sein des termes en cours de dérubéfaction, les caractéristiques micro-morphologiques sont assez différentes, puisque l'ensemble est beaucoup plus argileux avec dominance du plasma sur le squelette et assemblage de type aggloméro-plasmique.

Le squelette est encore constitué de sables grossiers et de limons quartzeux mais il est englobé dans un plasma complexe. Le plasma est, en effet, constitué de secteurs argileux encore bien orientés et bien colorés, riches en fer, de secteurs en voie de déferrification où l'orientation des argiles est encore conservée et enfin de secteurs argileux décolorés pratiquement dépourvus d'orientation.

Caractéristiques essentielles de ce type d'horizon

Dans les termes lutéfiés, ces horizons sont caractérisés par une organisation plasmique classique d'horizons lessivés. L'argile et une grosse partie du fer ont déjà été éliminées et exportées dans les horizons plus profonds. Le fer s'individualise sous forme de nodules et de concrétions.

Dans les termes en voie de dérubéfaction, l'organisation de ces horizons n'a pas encore atteint un stade d'équilibre. Les phénomènes de déferrification et de désorientation plasmique témoignent de possibilités de migration au moins partielle du fer et de quantités importantes d'argile. L'horizon est en cours de dégradation partielle.

Dans les 2 cas, ces manifestations correspondent à une dissociation des liaisons fer-argile. Au sein du squelette, on assiste à une augmentation progressivement croissante de la masse de la fraction limoneuse à la suite des phénomènes de fragmentation.

123. Sommet des horizons B en voie de dégradation.

Cette portion d'horizon est d'abord caractérisée par l'abondance du plasma dans lequel sont noyés un squelette sableux grossier et quelques éléments graveleux ferruginisés associés à de nombreux blocs et galets.

Les éléments grossiers sont assez abondants, puisqu'ils peuvent constituer près de 40 % de la masse de l'horizon. Il s'agit de gros éléments du type blocs et cailloux roulés de quartzites, quartz, silex et silexites (graviers et gravillons) constitués essentiellement de silex, silexites et grès à ciment siliceux fin souvent entièrement ferruginisés et entourés de cutanes de contrainte. Le squelette moyen (30 %) est constitué d'éléments

sableux de 250 à 300 μ largement dominants (70 à 80 %) formés de quartz cariés, de silexites et de grès siliceux associés à des limons quartzeux.

Le plasma qui domine fortement (70 %) forme avec les éléments précédents un assemblage de type porphyrosquelique : il est composé d'argile et de limon fin. Il constitue un ensemble assez compact, de faible microporosité, la porosité étant surtout représentée par un ensemble de fentes et fissures localisées autour des unités structurales. L'organisation plasmique est complexe, et on y trouve juxtaposées :

- des zones constituées d'un plasma argileux, jaune orangé (environ 40 %) massives, encore riches en fer, d'allure omnisépique, constituées de revêtements argileux complexes, recoupés et rebrassés par les mouvements de gonflement et de pression internes. A l'intérieur de ces zones peuvent exister des revêtements argileux encore fortement colorés en rouge dans les sols encore en voie de dérubiéfaction;
- des zones argileuses jaunâtres (20 %) présentant des concentrations noires ou brunes de fer (pl.VII - photo 28), constituant des amas floconneux aux bords flous (fer amorphe) qui aboutissent progressivement à la formation d'argiles zonées et rubanées (cf. pl.VI - photos 24, 25, 26).
- des zones plasmiques presque complètement décolorées (40 %) et fortement déferrifiées, souvent localisées autour des plus gros pores et des fissures. Il s'agit soit de revêtements argileux (argilanes), soit de revêtements limoneux (silanes) d'orientations très irrégulières. (cf.pl.VIII - photos 31, 32, 33, 34).

Au total, les caractéristiques essentielles du sommet de l'horizon B des sols des niveaux villafanchiens sont représentées par :

- la dominance du plasma et son caractère composite (argile + limon),
- une organisation plasmique complexe qui est la conséquence de mouvements assez importants des fractions limoneuses fines au sein de ces horizons, mais aussi de possibilités d'altération des minéraux argileux eux-mêmes;
- des phénomènes de déferrification du plasma argileux qui peuvent revêtir des aspects multiples suivant la façon dont évolue le fer qui s'individualise en :
 - . formes amorphes avec amas diffus, floconneux, mal individualisés,
 - . figures d'argiles rubanées où le fer exsudé garde encore une certaine orientation ou zonage reflétant celle des structures dont il est issu,
 - . formes piégées à l'intérieur des porosités internes ou fissurales des éléments grossiers siliceux.

Cet ensemble de caractères s'applique, à quelques nuances près, aussi bien aux termes lutéfiés qu'aux termes en voie de dérubiéfaction. Nous constatons que dans les deux cas, aucune structure primaire n'est bien conservée au sein de ces horizons et nous assistons à un début d'évolution des minéraux secondaires phylliteux.

124. Horizons B : passage aux zones d'altération.

Dans cette portion d'horizon B_{2t}, il y a lieu de faire la distinction entre 2 zones qui sont superposées dans les profils et qui présentent des caractéristiques micromorphologiques quelque peu différentes; ce sont : les zones de transition et les zones d'altération actives.

a) - Zones de transition vers les niveaux d'altération.

Comme dans l'horizon supérieur, les seuls éléments grossiers primaires qui subsistent encore sont à composante siliceuse, mais les cailloutis cristallins ou cristallophylliens sont intégrés à la matrice d'altération ou ne se présentent pas sous forme d'éléments reconnaissables. Pour ce qui concerne l'organisation plasmique de ces niveaux, nous retrouvons également des caractères homologues mais il y a lieu d'y apporter quelques nuances.

- Ainsi, dans les sols en voie de dérubiéfaction où le plasma est toujours largement dominant, nous observons bien une organisation complexe. Mais les zones encore fortement rubéfiées, constituées d'un plasma argileux rouge orangé et omnisépique occupent une importance plus grande (souvent plus de 20 % en volume) relativement aux autres zones orangées ou blanchies dont l'organisation est similaire de celle déjà décrite. Les zones blanchies ou déferrifiées se composent de deux domaines très inégaux :

- des revêtements argileux fortement biréfringents et orientés dans certains pores ou fissures, ils représentent les argiles en cours de transport (lessivage);
- des argiles complètement désorientées qui pourraient correspondre à des argiles de néogénèse (part de néoformation à partir des éléments contenus dans la solution du sol; pl.IX - photos 35, 36).

- Dans les sols lutéfiés, la répartition des domaines plasmiques est peu différente de celle décrite pour l'horizon supérieur. On a encore un plasma argileux jaune orangé omnisépique, des argiles rubanées et un plasma limoneux décoloré. Mais, dans ces niveaux, il apparaît clairement que les zones limoneuses de remplissage des fissures et des fentes représentent les produits de désagrégation des éléments siliceux (silex, silexites, grès siliceux) - cf.pl. VIII - photos 31, 32 -

b) - Zones d'altération active.

La caractéristique essentielle de ces zones est qu'on peut y retrouver un ensemble à peu près complet des divers types d'éléments grossiers présents dans le matériau originel (à l'exception des calcaires bien entendu). Ces éléments grossiers sont dans un état d'altération qui est variable selon la nature pétrographique et selon la dimension initiale de ces éléments.

Les quartzites à grains grossiers ne présentent pratiquement pas de traces nettes d'altération. Les bords sont francs, même les pénétrations d'argiles par remplissage sont nulles ou limitées en liaison avec le type de porosité propre à ces éléments. Les inclusions ou impuretés sont souvent intactes.

Les silex, silexites ou grès siliceux à grains fins sont généralement remplis d'éléments argilo-ferrugineux, occupant la porosité secondaire acquise à la suite de phénomènes de dissolution qui ont précédé (dissolution d'un ciment calcaire pour les grès par exemple). En revanche, pour les éléments ferrugineux imprégnant les structures de certains grès, deux cas semblent possibles : soit il s'agit d'un fer diagénétique qui est actuellement en voie de dissolution partielle, soit il s'agit d'un fer à caractère amorphe et mal cristallisé qui imprègne un système de porosité que le fer aurait lui-même pu contribuer à créer (épigénie possible de la silice par le fer). (D. NAHON - 1976)

Quant aux éléments cristallins et cristalloylliens, ce sont eux qui présentent les figures d'altération les plus spectaculaires (pl.X - photos 43 à 46). Les éléments cristalloylliens du type micaschistes ou schistes sont peu reconnaissables, même les granites-gneissiques sont déjà pratiquement intégrés à la matrice d'altération : les micas noirs sont complètement ouverts et argilifiés, seuls les muscovites ont bien résisté mais sont aussi en cours d'exfoliation.

Pour les granites et les matériaux cristallins en général, leur état d'altération varie surtout avec l'importance des teneurs relatives en constituants ferro-magnésiens et en feldspaths par rapport aux teneurs en quartz. Lorsque les feldspaths sont très abondants, la désagrégation est très rapide; des fissures apparaissent alors, par où pénètrent les argiles plasmiques; il devient donc difficile de faire la part entre les argiles d'altéro-plasmation issues des minéraux primaires et celles qui proviennent des phénomènes de remplissage. Lorsque la trame quartzreuse est plus importante, les granites résistent un peu mieux et plus longtemps et il peut apparaître un certain gradient dans l'ordre de disparition des minéraux primaires présents au sein des éléments cristallins.

Pour les feldspaths, ce sont toujours les feldspaths potassiques du type orthose et microline qui se conservent le plus longtemps (macle, angle d'extinction encore observable). Les feldspaths calco-sodiques subissent très rapidement, soit des phénomènes de dissolution pure et simple, soit des phénomènes d'argilification assez spectaculaires (cf. pl. IX - photos 35 à 40) dont certaines figures font penser à des possibilités de néoformation de kaolinite (argiles très désorientées, sans fer, qui remplissent des fissures en continuité avec les minéraux feldspathiques voisins).

Pour les biotites, on observe tous les cas intermédiaires possibles. Ainsi, dans un granite à biotite où cette dernière se trouve sous forme de gros éléments de 200 à 300 μ , on rencontre : 20 % de biotite encore saine (simple perte de pléochroïsme), 50 % de biotite où le fer s'exsude déjà largement, en même temps qu'on observe tous les stades depuis le début d'ouverture, enfin 30 % peuvent être considérés comme complètement argilifiés avec intégration déjà partielle au plasma (stades illite-vermiculite et certainement montmorillonite).

Le plasma est toujours largement dominant au sein de cet horizon. L'élément du squelette du type sables grossiers et limons quartzeux compose avec lui un assemblage du type porphyroscelique. L'organisation plasmique est elle-même complexe et comprend :

- un plasma argileux rouge (30-40 %) composé d'argilanes anciens et de papules recoupés, fortement chargé en fer. Son orientation est irrégulière

et discontinue. Il comporte en inclusions des éléments de sables et graviers quartzeux et siliciques (silex, quartzites) avec quelques concrétions ferriques;

- un plasma argileux jaune non ou peu orienté, de biréfringence plus faible qui représente un plasma déferrifié qui a pu être remobilisé ou un plasma jeune d'altéro-plasmation en liaison avec l'altération des éléments ferromagnésiens;
- un plasma argileux blanchâtre, pauvre en fer qui est toujours faiblement orienté et d'aspect bulleux. C'est un plasma encore plus jeune, en cours de genèse actuelle; il est en liaison fréquente avec les formes d'altération des minéraux feldspathiques. Le plasma limoneux est beaucoup moins abondant et son importance diminue et s'annule progressivement au fur et à mesure qu'on descend dans l'horizon.

En définitive, les caractéristiques essentielles de l'horizon sont constituées par :

- les phénomènes d'altération des cailloutis cristallins et cristallophyl-liens;
- une organisation plasmique complexe en cours d'évolution, liée aux phénomènes d'altéro-plasmation fonctionnels des cailloutis cités;
- une organisation plasmique plus ancienne, qui est localement bien conservée et qui est représentée par les zones d'argiles rouges encore fortement chargées en fer et fortement orientées. Ces vestiges des phénomènes d'altération rubéfiante et d'accumulation par lessivage peuvent se retrouver encore mieux conservés quand on s'enfonce plus profondément dans les profils de sols en voie de dérubarification. Au contraire, dans les sols lutéfiés, sur toute l'épaisseur du profil qui peut dépasser 20 m en certains points, on ne retrouve pratiquement plus que très localement ces formes de rubéfaction anciennes.

13. ENSEIGNEMENTS DE L'ETUDE MORPHOLOGIQUE.

L'ensemble des observations microscopiques a été reporté dans un tableau général (tabl. 6.1) qui met bien en évidence des changements profonds survenus dans l'évolution pour ces sols des niveaux villafranchiens. Pour l'essentiel, les faits les plus marquants ont trait au développement des profils, à l'organisation des horizons et aux phénomènes d'altération proprement dits.

131. Au plan du développement des profils, les faits morphologiques et micromorphologiques convergent et montrent que par rapport aux stades évolutifs précédents :

- l'importance relative des horizons lessivés est moindre, alors que celle des horizons B augmente et devient largement prépondérante;
- la distinction même entre horizons lessivés et horizons B est moins accusée;
- il se produit une pénétration nette de l'horizon A au sein de l'horizon B.

132. Au plan de l'organisation et de la différenciation générale des horizons, deux points sont à souligner :

- Dans les horizons lessivés de surface, nous assistons sur le plan physique à l'affinement du squelette où la fraction "limon quartzeux" tend à devenir nettement prépondérante, et sur le plan chimique au développement des phénomènes d'individualisations et de ségrégations du fer, que nous retrouvons au sein de certains éléments grossiers siliceux ou sous formes de nodules et concrétions.

- Pour ce qui concerne les horizons B, il y a lieu de distinguer deux niveaux. Le sommet de l'horizon B présente une organisation plasmique complexe et composite, qui résulte d'une part d'importants mouvements de limons qui pénètrent assez profondément au sein de ce niveau et d'autre part de phénomènes de remobilisation du fer et des argiles elles-mêmes. Dans les zones plus profondes, on observe le maintien de structures d'accumulation résultant des processus antérieurs de lessivage et de rubéfaction, à côté de structures associées aux phénomènes d'altération des éléments cristallins.

133. Au plan des phénomènes d'altération pédologique, l'ensemble des faits que nous venons de résumer témoigne bien d'une dynamique évolutive nouvelle, qui se traduit par :

- une véritable mobilisation des fractions "limons quartzeux" qui migrent depuis les horizons de surface jusqu'au sommet des horizons B;
- une dégradation des structures argileuses résultant de la première phase d'évolution rubéfiante. Cette dégradation se traduit d'abord par une exsudation du fer hors des réseaux argileux à l'intérieur desquels il était jusqu'alors resté lié, puis à une véritable individualisation de ce fer; mais cette dégradation conduit aussi à des possibilités de redémarrage et de migration des argiles ainsi déferrifiées.

Dans les niveaux plus profonds des horizons B, les phénomènes d'altération observés permettent d'envisager des possibilités de néoformation d'argiles à partir des fractions feldspathiques.

Toutes les observations citées se rapportent essentiellement à la partie sommitale des profils développés sur ces niveaux villafranchiens (3 à 5 premiers mètres). C'est dans ces niveaux que paraît se produire une véritable réactivation des pédogénèses qui étaient restées relativement figées depuis la fin du stade 3. A la suite des phénomènes de colmatage des horizons B, se produit bien une véritable dégradation des anciens sols rouges qui débute par le sommet des sols. Les termes en voie de dérubiéfaction représenteraient des phases évolutives transitoires (la dérubiéfaction progressant des horizons de surface vers la base de l'horizon). Dans la même optique, les sols lutéfiés pourraient représenter les termes entièrement dérubiéfiés donc des phases évolutives succédant aux termes précédents. (cf. fig. 3.1)

Tabl. 6 - 1

CARACTÉRISTIQUES MICROMORPHOLOGIQUES DU STADE D'ÉVOLUTION N° 5 :
LES SOLS DES NIVEAUX VILLAFRANCHIENS

Caractéristiques Horizons	Caractéristiques morphologiques Éléments grossiers	Squelette moyen ou fin	Plasma Ass. Sép. plasmique	Traits pédologiques	Degré d'altération
Horizons de surface lessivés	Galets de quartzites et quartz Graviers et gravillons, silexites et quartzites	Squelette >> Limons et sables quartzeux + quelques sables grossiers quartzeux	Plasma Ass. granulaire à inter- textique. Plasma brun floconneux	Graviers et gravillons de silexite. et grès ferruginisés, Quartz carriés et ferruginisés	
Horizons intermédiaires entre A et B	Idem	Sables limoneux et sables quartzeux	Termes lutéfilés Squelette > Plasma Ass. granulaire Termes en voie de déru- béfaction. Squelette < Plasma Ass. aggloméro-plasmique	- Éléments graveleux ferruginisés et nodules ferrugineux - Quartz craquelés et fragmentation des sables en limons	
Sommet Horizon B en voie de dégradation	Blocs et galets siliceux de quartzites, silexites et quartz	Squelette << Sables grossiers de quartz et silexites + limons quartzeux	Plasma Ass. porphyrosquelique Plasma argileux + plasma limoneux	- Plasma composite - Argiles rubanées - Amas de fer amorphe	Déferification des argiles et désorien- tation
Horizon B zones de transition	Idem Éléments cristallins désagrégés	Idem	Squelette << Plasma Plasma argileux rouge omnisépique + argiles rubanées + plasma limoneux abondant	Graviers siliceux fragmentés	Idem ci-dessus
Horizon B zones d'altération active (2-3 mètres)	Blocs et galets siliceux + éléments cristallins et cristallophylliens de grande taille	Squelette << Sables grossiers et sables limoneux quartzeux	Plasma Ass. porphyro-squelique	- Cutanes rouges ou jaunes avec papules - Argile peu colorée et non orientée - Plasma limoneux peu important	- Transformation des argiles micacées - Néogonèses argileuses à partir des feldspaths

2 - CARACTERISTIQUES ANALYTIQUES DE CES STADES D'EVOLUTION.

La nouvelle orientation évolutive que nous venons de détecter aux niveaux morphologiques et micromorphologiques est confirmée au plan analytique par un ensemble de faits que nous nous proposons maintenant de présenter.

21. EVOLUTION DES FRACTIONS GROSSIERES ET PRODUCTION DE TERRE FINE.

La figure 6.1 résume les aspects essentiels des évolutions de ces 2 types de composants du sol. En dehors du matériau-mère, ce stade évolutif comporte 3 parties bien distinctes qui participent de façon différente au fonctionnement même du sol : les parties basales et médianes des horizons B, les parties sommitales, enfin les horizons de surface.

a) - Les parties basales et médianes des horizons B correspondent aux zones d'altération encore actives, où nous observons une dissolution complète des éléments calcaires et une désagrégation progressive des éléments cristallins qui se traduit notamment :

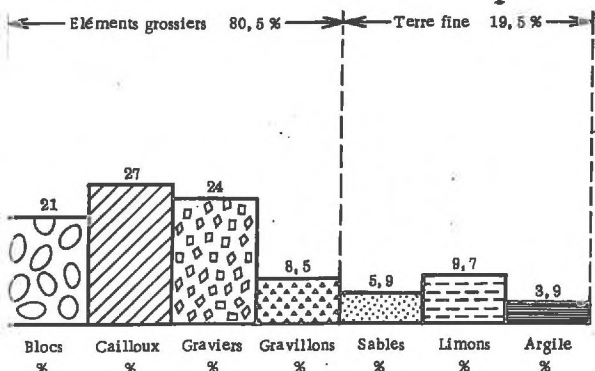
- par une diminution nette des teneurs en éléments grossiers par rapport au matériau-mère, alors que les fractions "graviers et gravillons" restent stables;
- par une augmentation corrélative des fractions "terre fine" qui intéresse assez peu la fraction "sables" mais qui se reporte sur les fractions "limons" et "argile". Dans les parties basales de ces horizons, ce sont les phénomènes d'altération in situ qui sont responsables des augmentations des teneurs en argile, alors que pour la partie médiane de ces horizons les phénomènes d'entraînement mécanique viennent s'ajouter aux précédents qui jouent un rôle tout aussi important.

b) - Dans la partie sommitale des horizons B, selon les termes évolutifs, nous assistons à des augmentations plus ou moins considérables des masses d'argile présentes par rapport à celles existant dans les parties inférieures de l'horizon. Or, c'est plutôt le phénomène inverse qui s'était manifesté dans les stades précédents; nous avons noté un début de départ des argiles et nous l'avons considéré comme une phase préparatoire à l'approfondissement des horizons de surface (notamment stades 3 et 4). Ces augmentations observées ne peuvent donc s'expliquer par la seule accumulation d'argile provenant des horizons de surface mais semble bien traduire une orientation nouvelle, que nous mettons en parallèle avec les figures de néoformation d'argile observées en micromorphologie, et surtout fréquentes dans ces secteurs faisant transition entre les horizons de surface et le sommet des horizons B colmatés.

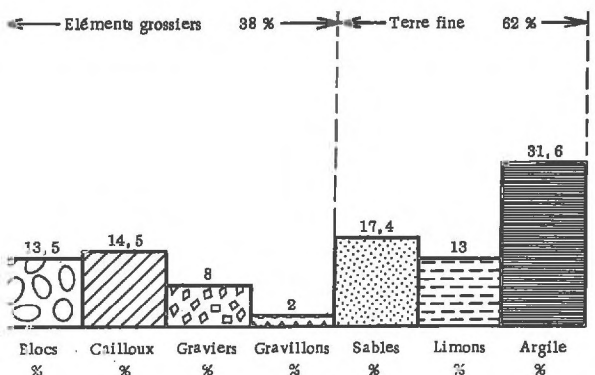
c) - Enfin, dans les horizons de surface, deux autres tendances apparaissent :

- l'appauvrissement marqué en terre fine par rapport aux horizons sous-jacents, qui se répercute sur l'ensemble des fractions constitutives; il est la conséquence des phénomènes d'entraînement mécanique, mais aussi des processus de dégradation;

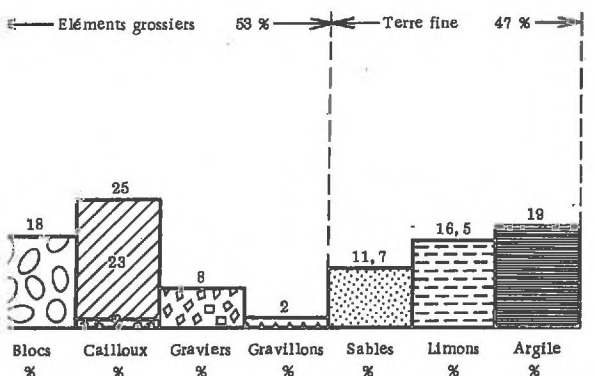
Horizon A₂ (épaisseur 0 à 0,40 m)



Horizon B₂ (épaisseur 0,40 à 0,80 m)
partie sommitale



Horizon B₂ (épaisseur 1,50 à 3 m)
partie moyenne



Horizon B₂ (épaisseur 8 à 10 m)
passage à la partie basale

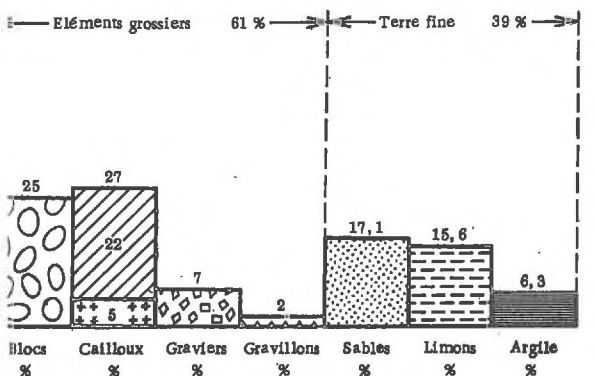
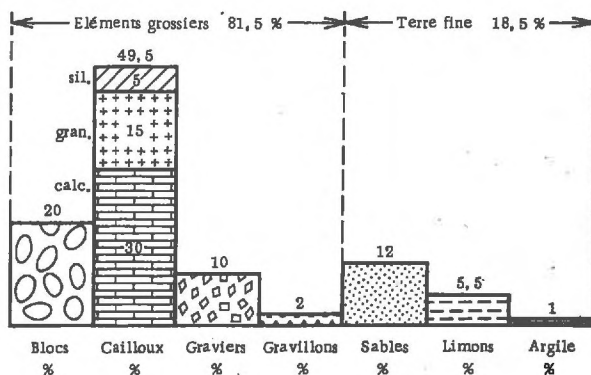


Fig. 6 - 1

ÉVOLUTION DES ÉLÉMENTS GROSSIERS
ET DE LA TERRE FINE
DANS LES SOLS
DES NIVEAUX VILLAFRANCHIENS
(en pour cent de poids)

Horizon C (matériau-mère)



- une fragmentation nette des éléments grossiers siliceux résiduels déjà largement observée au stade 4 précédent et qui se retrouve dans cette phase évolutive, où elle se traduit par une augmentation très nette des teneurs en éléments graveleux.

22. CARACTERISATION ANALYTIQUE DE LA FRACTION "TERRE FINE".

Le tableau 6.2 rassemble des données relatives et 2 profils types qui représentent assez bien les 2 termes évolutifs principaux observés sur ces niveaux villafranchiens.

221. Granulométrie.

Dans ce domaine, l'essentiel des résultats a déjà été mentionné dans les paragraphes qui précèdent. Néanmoins, nous remarquerons que les augmentations des teneurs en limons que paraissent refléter les résultats de la seule fraction "terre fine" (tabl. 6.2) ne sont qu'apparentes, car elles sont à restituer par rapport à la masse globale du sol. Et dans ces conditions, les résultats présentés ne sont plus en contradiction avec ceux commentés plus haut.

Si nous comparons l'importance relative des phénomènes d'argilisation au sein des 2 stades "villafranchiens", nous constatons que les sols en voie de dérubiéfaction sont toujours beaucoup plus argilifiés dans le sommet des horizons B que les sols déjà lutéfiés. Ainsi, nous observons une certaine tendance à l'homogénéisation de la distribution d'argile au sein des profils, qui intervient de plusieurs façons :

- par pénétration des horizons de surface au sein des horizons B : il y a une véritable descente mécanique des fractions limoneuses au sein de ces horizons. Cette pénétration n'est que peu perceptible au travers des analyses granulométriques pratiquées sur les prélèvements moyens. Mais les prélèvements sélectifs effectués dans les langues mêmes de dégradation (cf. profil V10 - horiz. B₂₃G) mettent très bien en évidence le phénomène;
- par remise en mouvement des argiles à la suite de la dispersion corrélative des processus de dégradation acide : les résultats présentés mettent l'accent sur ce type de phénomènes, en révélant la différence nette entre les termes encore ubéfiés et les termes lutéfiés;
- enfin, par néogénèses possibles d'argiles à partir des solutions au sommet de ces horizons B.

222. Réaction du sol. Complexe absorbant.

Les 2 termes évolutifs traduisent également des degrés de dégradation croissants par rapport au stade 4 précédent, car ils présentent une réaction à caractère beaucoup plus acide et un complexe absorbant toujours nettement plus désaturé.

CARACTÉRISTIQUES PHYSICO - CHIMIQUES DES SOLS DES NIVEAUX VILLAFRANCHIENS : STADE 5

a) - Exemple de sol en cours de dérubéfaction : profil Vi 8

Horizons	Profondeur cm	Granulométrie %						Matière organique %				pH eau	CO ₃ Ca %	
		TF	SG	SF	LG	LF	A	MO	C	N	C/N		total	actif
Ao A1	0-3	20	22,6	16,7	18,3	17,6	16,2	8,6	4,7	0,3	16,1	5,3	-	-
A1 A2	10-40	19,5	21,5	22,0	18,5	23,6	7,5	8,9	3,4	0,2	16,1	5,2	-	-
AB	40-50	62	24,0	12,8	6,6	12,8	42,9	0,9	0,5	0,06	9,2	5,0	-	-
B21	50-70	54	20,8	11,9	4,7	11,8	50,8	-	-	-	-	5,0	-	-
B22g	70-120	54	1,5	4,6	11,7	22,8	59,4	-	-	-	-	5,0	-	-
B23g	180-200	47	21,7	10,8	4,8	11,9	51,0	-	-	-	-	6,7	-	-
B23G	210-220	100	15,8	16,1	6,6	16,9	44,3	-	-	-	-	5,1	-	-
B24	220-400	45	29,9	22,4	10,2	10,8	26,7	-	-	-	-	6,2	-	-
B25	400-500	40	20,0	13,5	10,0	21,5	35,0	-	-	-	-	7,1	-	-
B26	500-1000	35	31,5	14,9	9,2	14,6	29,8	-	-	-	-	6,1	-	-
B31	1000-1500	32	43,3	22,6	9,8	15,9	8,4	-	-	-	-	6,2	-	-
C	1900	18,5	53,0	25,4	8,0	10,2	3,4	-	-	-	-	8,2	12,4	5,0

Horizons	Cations échangeables me/100g					Taux sat.	Fe ₂ O ₃ %		P ₂ O ₅ % assim.
	Ca	Mg	K	Na	T		total CIH	libre Deb.	
Ao A1	4,0	0,6	0,30	0,07	13,0	38,0	-	-	-
A1 A2	4,0	0,5	0,20	0,04	11,9	39,8	2,29	2,00	0,016
AB	5,0	1,1	0,10	0,06	13,5	46,4	5,29	4,57	0,002
B21	7,0	1,55	0,13	0,07	16,3	53,7	5,00	4,86	0,001
B22g	8,2	2,0	0,13	0,09	18,8	55,4	5,15	4,86	0,001
B23g	10,5	1,15	0,10	0,4	14,8	82,1	6,15	5,86	-
B23G	9,2	1,3	0,10	0,15	14,4	74,6	1,29	0,86	0,005
B24	13,1	3,58	0,14	0,13	10,2	Sat.	5,03	3,03	-
B25	18,3	3,08	0,23	0,15	12,2	Sat.	4,49	2,57	-
B26	11,3	1,71	0,18	0,15	9,2	Sat.	4,23	2,27	-
B31	7,1	1,47	0,07	0,05	4,8	Sat.	4,94	3,24	-
C	-	-	-	-	3,8	Sat.	2,80	1,43	-

b) - Exemple de sol jaune : profil Bonnevaux Vi 10

Horizons	Profondeur cm	Granulométrie %						Matière organique %				pH eau	CO ₃ Ca %	
		TF	SG	SF	LG	LF	A	MO	C	N	C/N		total	actif
A11	0-15	25	16,7	14,1	23,5	24,2	16,9	4,6	2,6	0,17	15,1	4,6	-	-
A12	15-40	24	15,6	16,7	25,2	24,4	16,0	2,1	1,2	0,09	13,3	4,4	-	-
AB Fe	40-60	35	28,8	13,3	12,3	21,0	24,5	0,3	0,15	0,03	4,5	4,3	-	-
B21g	60-90	45	20,9	12,3	8,2	17,9	40,7	-	-	-	-	4,5	-	-
B22g	100-120	48	21,9	10,7	6,8	15,3	45,5	-	-	-	-	4,5	-	-
B22g	150-170	48	25,4	12,1	4,8	12,3	45,4	-	-	-	-	4,6	-	-
B23G	150-170	100	14,0	7,0	8,0	32,0	37,0	-	-	-	-	4,6	-	-
B24g	170-200	45	45,8	10,8	3,6	8,9	30,9	-	-	-	-	4,75	-	-

Horizons	Cations échangeables me/100 g					Taux sat.	Fe ₂ O ₃ %		P ₂ O ₅ % assim.
	Ca	Mg	K	Na	T		total CIH	libre Deb.	
A11	1,0	0,30	0,17	0,03	10,4	14,3	2,00	1,80	0,023
A12	0,5	0,10	0,12	0,06	9,1	8,6	2,14	1,86	0,013
AB Fe	0,75	0,28	0,09	0,02	10,4	10,9	3,29	2,68	0,018
B21g	3,24	1,27	0,14	0,07	17,8	28,5	4,57	4,00	0,038
B22g	6,0	2,0	0,17	0,07	21,6	38,1	4,43	3,57	0,008
B23g	7,7	1,8	0,15	0,1	21,0	40,4	4,29	3,15	-
B23G	-	-	-	-	-	-	1,2	0,4	-
B24g	6,2	1,2	0,08	0,1	10,2	46,5	3,29	2,43	-

c) - Exemple de sol jaune des plus hauts niveaux : profil Chambaran (amoat)

Horizons	Profondeur cm	Granulométrie %						Matière organique %				pH eau	CO ₃ Ca %	
		TF	SG	SF	LG	LF	A	MO	C	N	C/N		total	actif
A11	0-10	25	12,8	12,3	22,3	25,9	22,8	3,9	2,29	0,22	10,6	5,4	-	-
A12	10-20	24	13,5	10,4	23,9	25,2	23,5	3,2	1,89	0,19	9,8	5,3	-	-
AB	40	22	10,3	9,4	24,3	27,2	27,3	1,5	0,87	0,11	8,1	5,2	-	-
B211t	90	45	13,3	10,8	19,9	25,0	30,4	-	-	-	-	5,0	-	-
B212t	120	48	14,4	11,4	17,4	24,3	32,5	-	-	-	-	4,9	-	-
B213t	150	50	23,8	16,8	8,8	19,2	33,4	-	-	-	-	4,85	-	-
B221t	180	52	15,6	14,6	8,6	25,4	35,8	-	-	-	-	4,80	-	-
B222t	210	50	12,6	16,1	8,2	26,6	36,5	-	-	-	-	4,80	-	-
B223t	300	52	15,6	11,3	16,2	23,2	33,7	-	-	-	-	4,9	-	-
B23	500	-	20,6	16,6	8,6	30,0	24,2	-	-	-	-	4,6	-	-
B24	700	-	28,1	18,1	8,1	29,3	16,4	-	-	-	-	4,7	-	-
B25	900	-	19,7	20,7	8,7	34,4	16,5	-	-	-	-	4,8	-	-
B26	1200	-	21,2	23,2	7,7	32,1	15,8	-	-	-	-	4,8	-	-
B27	1500	-	30,9	14,5	7,6	29,2	17,8	-	-	-	-	5,7	-	-
B28	1800	-	24,7	17,0	4,6	39,4	14,3	-	-	-	-	5,3	-	-
B29	2000	-	27,5	14,3	6,0	35,8	16,4	-	-	-	-	5,8	-	-
B31	2200	-	29,4	19,5	8,2	29,8	13,1	-	-	-	-	5,5	-	-
B32	2300	-	18,9	14,4	13,2	36,8	16,7	-	-	-	-	5,4	-	-
C1	3000	20	23,7	41,7	21,2	10,2	3,2	-	-	-	-	8,7	62,5	5,0
C2	3000	19,5	11,0	39,3	26,2	20,8	12,6	-	-	-	-	8,5	19,6	2,0

Dans les termes en cours de dérubiéfaction, les pH restent voisins de 5 et c'est seulement dans les horizons de surface ainsi que dans le sommet des horizons B que le complexe absorbant est franchement désaturé (S/T voisin de 30-40 jusqu'à 1 à 2 mètres), puis nous observons des valeurs voisines de la saturation au fur et à mesure qu'on se rapproche de la base des profils.

Dans les sols jaunes, les pH sont souvent inférieurs à 5 (pH situés entre 4,5 et 4,8) et les taux de saturation exceptionnellement bas (S/T = 20) s'observent au sein même des horizons B jusqu'à 10 à 12 mètres de profondeur alors qu'ils remontent légèrement dans les horizons de surface (S/T voisins de 40 à 50). Et ce n'est qu'au delà de 15 à 20 mètres (cf. profil Chambaran amont) que nous retrouvons des taux de saturation voisins de ceux observés dans les sols en voie de dérubiéfaction. En ce qui concerne le complexe absorbant, tous les cations, à l'exception du calcium n'existent qu'en proportions très faibles. A ce sujet, notons que Ca^{2+} domine dans les horizons de surface (effet litière de chênes) ou dans la partie médiane ou basale des horizons B (altération active des feldspaths calcosodiques). Ailleurs, les teneurs en Ca^{2+} deviennent exceptionnellement basses.

223. Capacité d'échange.

Les capacités d'échanges révèlent elles aussi un changement assez important dans la composition minéralogique des argiles présentes au sein de la fraction "terre fine". En effet, dans les horizons de surface et dans la partie sommitale des horizons B, la capacité d'échange reste encore comprise entre 30 et 40 meq/100 g d'argile, mais dans la partie inférieure des horizons B des sols jaunes, ces valeurs tombent à 20-25 meq/100 g d'argile. Ceci suppose une augmentation très importante des proportions d'argile à basse capacité d'échange.

C'est un aspect sur lequel nous nous proposons maintenant de revenir au travers de l'étude minéralogique de la fraction argileuse.

23. EVOLUTION MINERALOGIQUE DE LA FRACTION ARGILEUSE.

Les exemples qui sont rassemblés dans les tableaux 6.3 à 6.5 bis illustrent assez bien les principales tendances évolutives observées pour la fraction argileuse au sein de ces derniers stades d'évolution 4 et 5.

- Dans le stade 4 qui marque l'amorce des processus de dégradation et de dérubiéfaction, on assiste à des évolutions minéralogiques assez peu différentes de celles déjà décrites pour le stade 3. Les tendances déjà notées dans ces sols se confirment assez largement.

. Ainsi, au sein des horizons B, ce sont les phénomènes de transformation des illites qui constituent encore les faits évolutifs majeurs. Ils conduisent soit à des smectites dans les termes développés sur matériaux de composante rhodanienne moyenne (tabl. 6.3 a), soit à des vermiculites dans les termes à composante plus siliceuse (tabl. 6.3 b). C'est l'importance des différences de drainage interne qui se manifeste, car les profils du second type présentent des horizons B à caractère beaucoup moins argilifié et moins confiné que ceux du premier type;

. Dans les horizons de surface, ce sont toujours les phénomènes de transformations qui jouent les rôles majeurs; ils conduisent à des vermiculites hydroxyalumineuses aux caractéristiques cristallographiques de mieux en mieux affirmées. Ces dernières tendent même à devenir dominantes au sein des horizons A₂.

- Les sols des niveaux villafranchiens et en particulier les sols jaunes (tabl. 6.5 bis) reflètent, en revanche, sur le plan de l'évolution minéralogique des argiles, des orientations qui peuvent être assez sensiblement différentes de celles observées pour les stades précédents. Toutefois, compte tenu du développement des sols, nous retrouvons, selon les niveaux des profils, des tendances évolutives diverses qui rassemblent un peu toutes celles que nous avons déjà mentionnées pour les stades précédents.

. Dans les niveaux profonds des horizons B, situés entre 15 et 20 m, le complexe absorbant est généralement voisin de la saturation et nous observons toujours des feldspaths dans les fractions sableuses et mêmes argileuses. Ici, ce sont les phénomènes de transformation ménagée qui dominent. Ils correspondent à la dissolution des éléments calcaires et à l'altération des feldspaths de type calcosodique et conduisent à une production d'argile peu importante : les argiles sont constituées par un mélange d'argile micacée-illite et de kaolinite associé à des interstratifiés non gonflants aux caractéristiques cristallographiques peu nettes et mal définies. Les faits qui viennent d'être mentionnés ainsi que la disparition progressive de ces minéraux dès que nous remontons au-dessus de 15 mètres permettent de penser que ces interstratifiés sont associés aux résidus argileux provenant de la dissolution des éléments calcaires. Ils sont d'ailleurs en grande partie entraînés hors du profil par lessivage au fur et à mesure de leur production et ne jouent donc qu'un rôle nul ou limité dans la composition des cortèges argileux des sols rhodaniens étudiés.

. Lorsqu'on remonte dans les profils, existe une zone intermédiaire ou de transition située entre 9 et 15 m, où nous observons un mélange simple d'argiles constitué de kaolinite et d'illite. Il s'agit des zones d'altération active, mais dans lesquelles les phénomènes de transformation intéressent essentiellement les minéraux primaires encore abondants au sein des éléments cristallins présents dans cette portion d'horizon et en voie de désagrégation mécanique. Mais, si les phénomènes d'argilisation sont encore de faible importance sur le plan de la masse d'argile produite, leur orientation est fondamentale puisqu'elle conduit à la formation de kaolinite en proportion importante, alors même qu'on observe aucun phénomène majeur de transformation aux dépens des argiles 2/1.

. Ce sont les niveaux compris entre 200 et 900 cm qui correspondent aux zones d'altération les plus actives et dans lesquels se produisent des phénomènes de transformation à partir des argiles 2/1. On assiste à une ouverture des illites, puis à la production de vermiculite, enfin à la formation de montmorillonite; pour l'ensemble de ces minéraux argileux, apparaissent des phénomènes plus ou moins importants d'hydroxylation. À ces niveaux, l'évolution des argiles dans les sols villafranchiens est donc très comparable à celle observée dans les stades 3 et 4.

. Dans la partie sommitale des horizons B, (entre 0,90 et 1,20 m) correspondant le plus souvent aux niveaux des profils les plus riches en argile, à côté des phénomènes de transformation déjà cités plus haut, apparaît une orientation assez nouvelle : nous pouvons mettre en évidence des smectites de néoformation (test de comportement ROBERT M. - 1975); elles sont surtout

Tabl. 6 - 3

**ÉVOLUTION DE LA FRACTION ARGILEUSE DANS LES SOLS
DES TRÈS HAUTES TERRASSES RHODANIENNES :**

a) - Exemple de la région de Donzère - Montélimar
Profil K1 (Bois de la Viale)

Teneur en argile %		Types d'horizons (cm)	Minéralogie RX	A. T. D.
dans la fraction terre fine	par rapport à la masse globale de l'horizon			
8,0	2,2	Ao A1 (0-15)		
8,8	2,4	A2 (15-30)		
26,5	10,4	AB (30-50)		
44,6	16,5	B ₂₁ ^t (50-90)		
39,7	13,8	B ₂₂ ^t (90-120)		
31,7	11,1	B ₂₃ ^t (120-150)		
33,7	10,8	B ₂₄ ^t (150-250)		
16,0	4,8	BC (250-300)		
1,7	0,25	C ₁ (800)		
2,4	0,36	C ₂ (1200)		

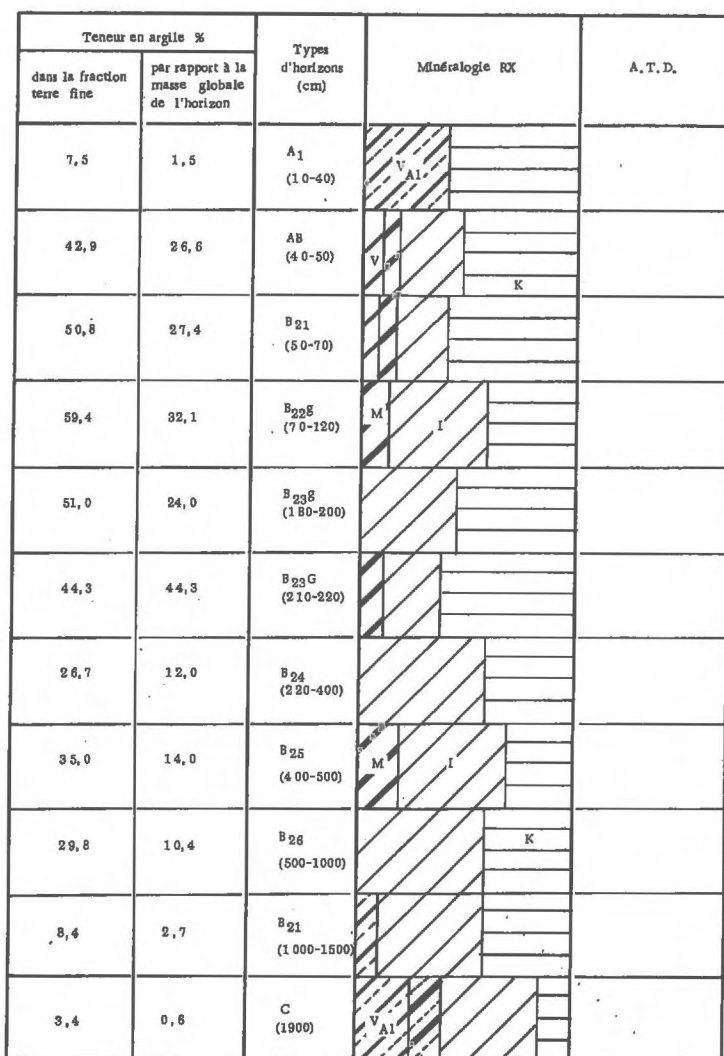
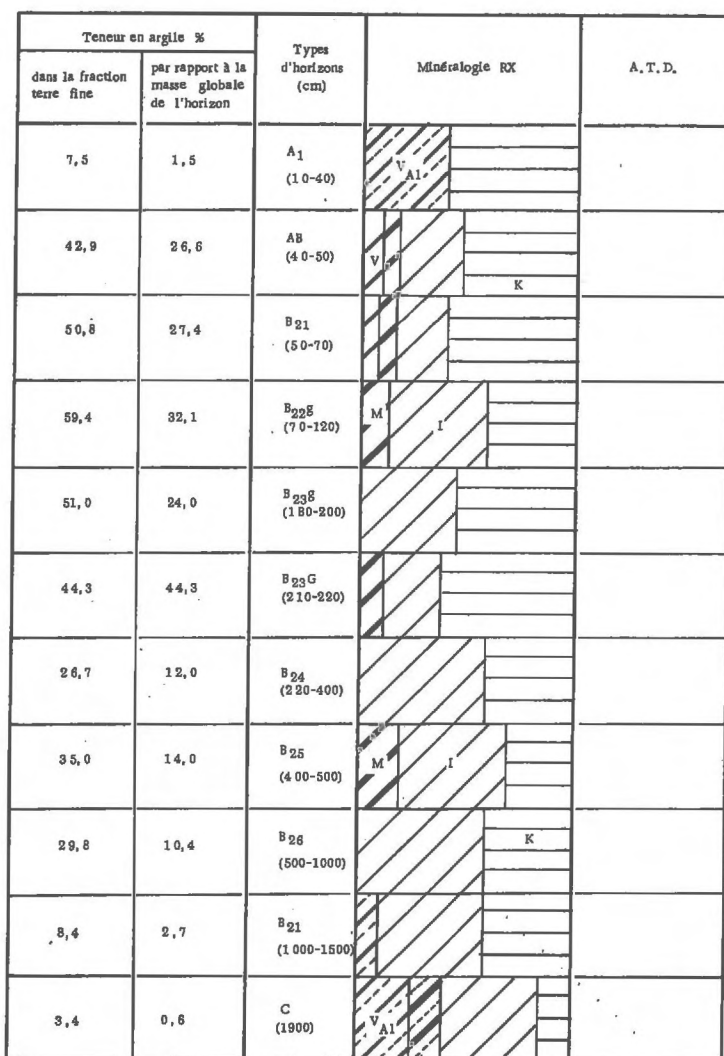
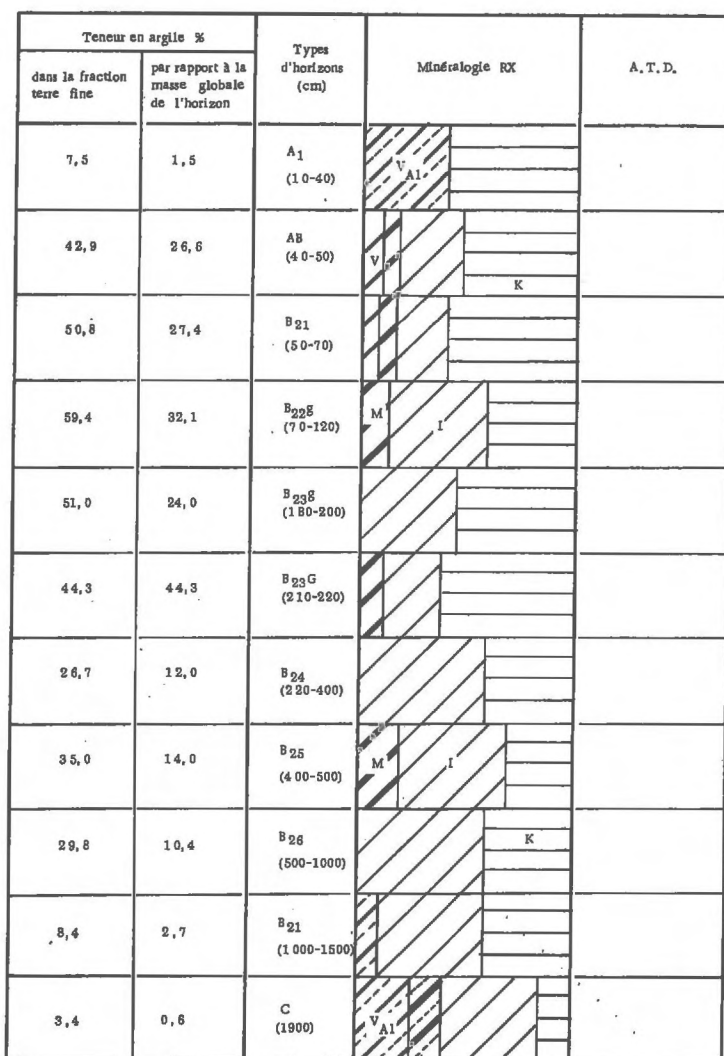
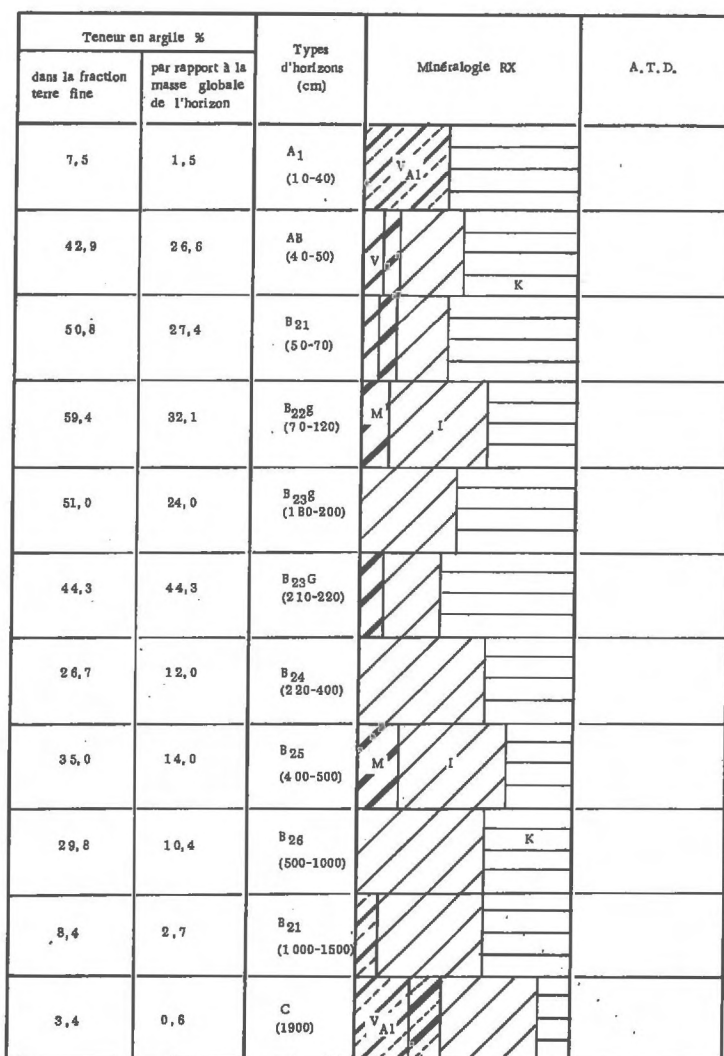
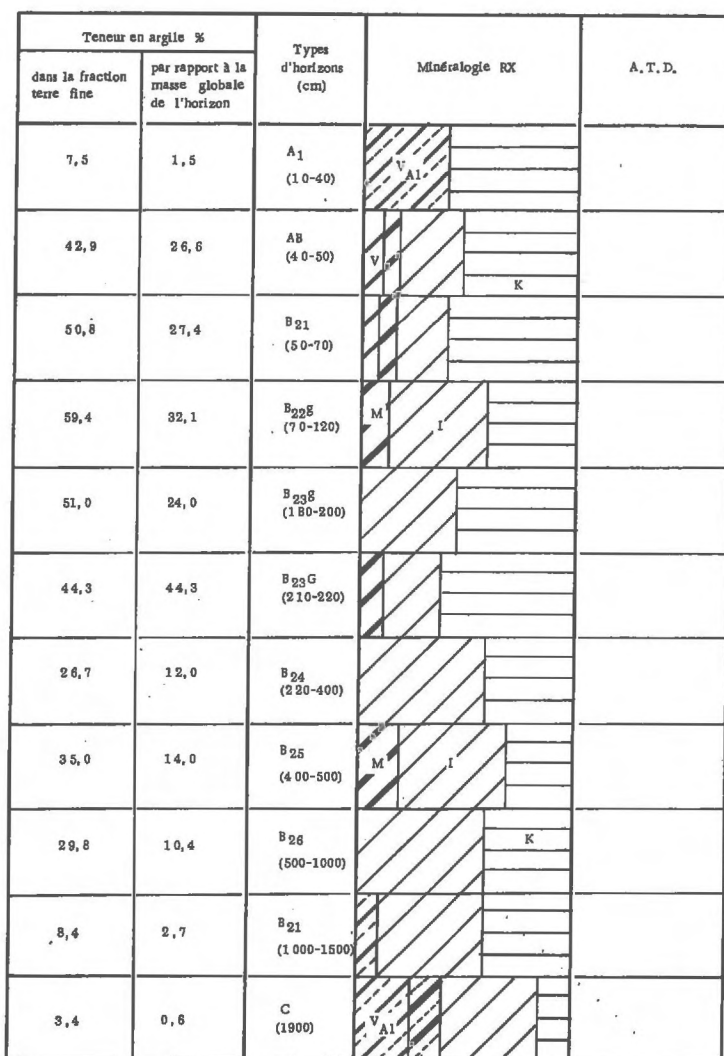
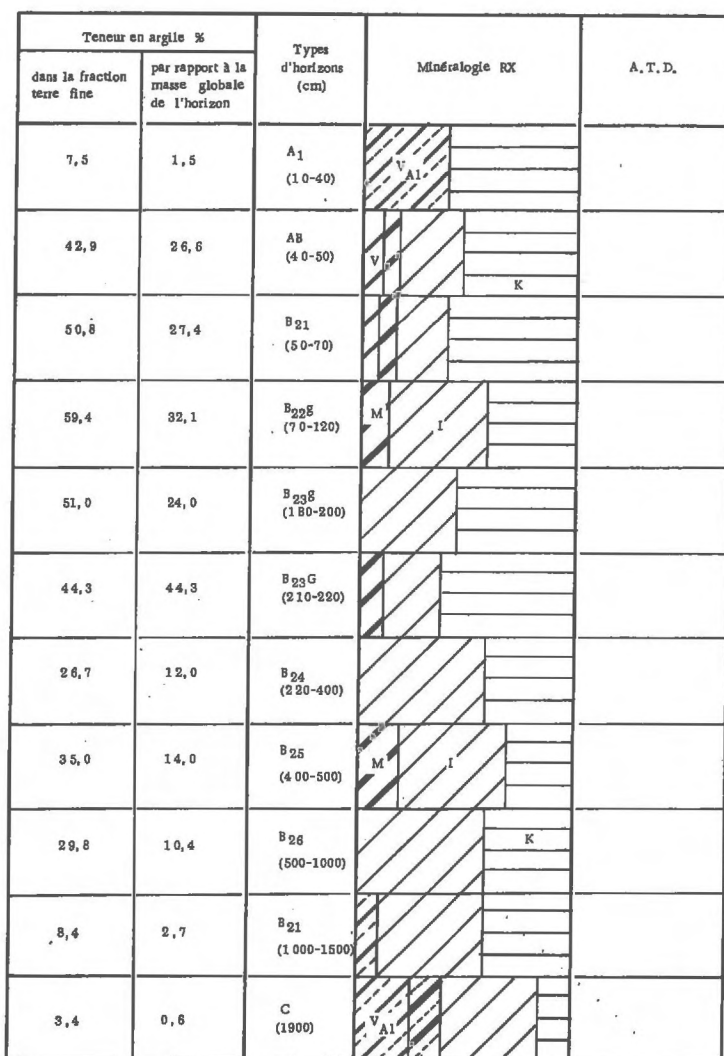
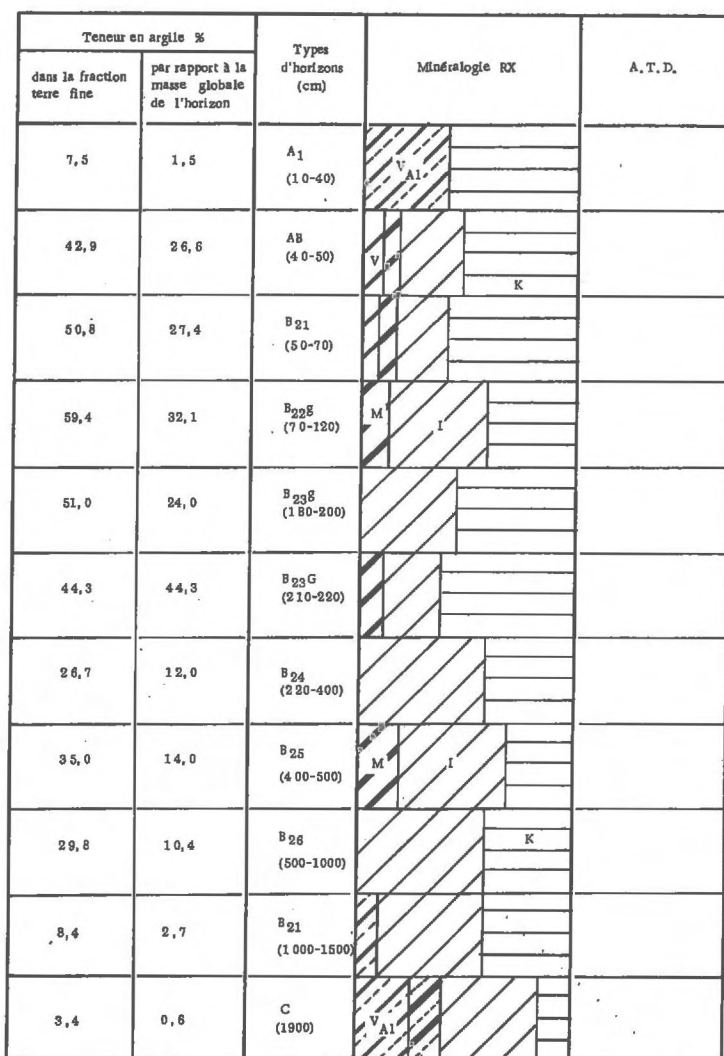
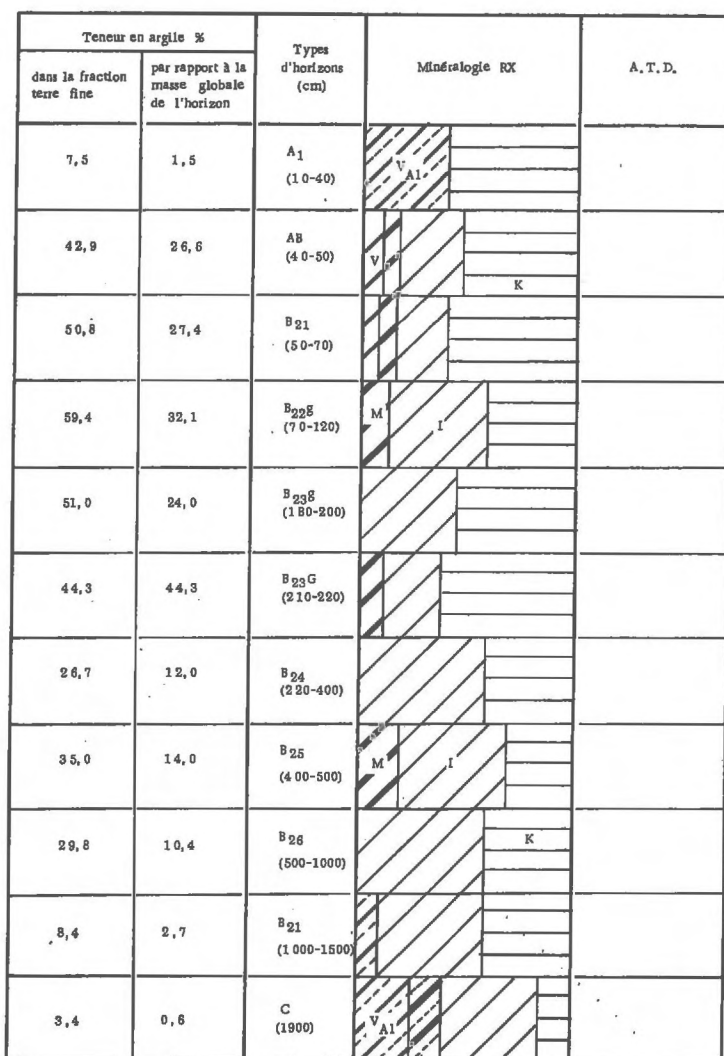
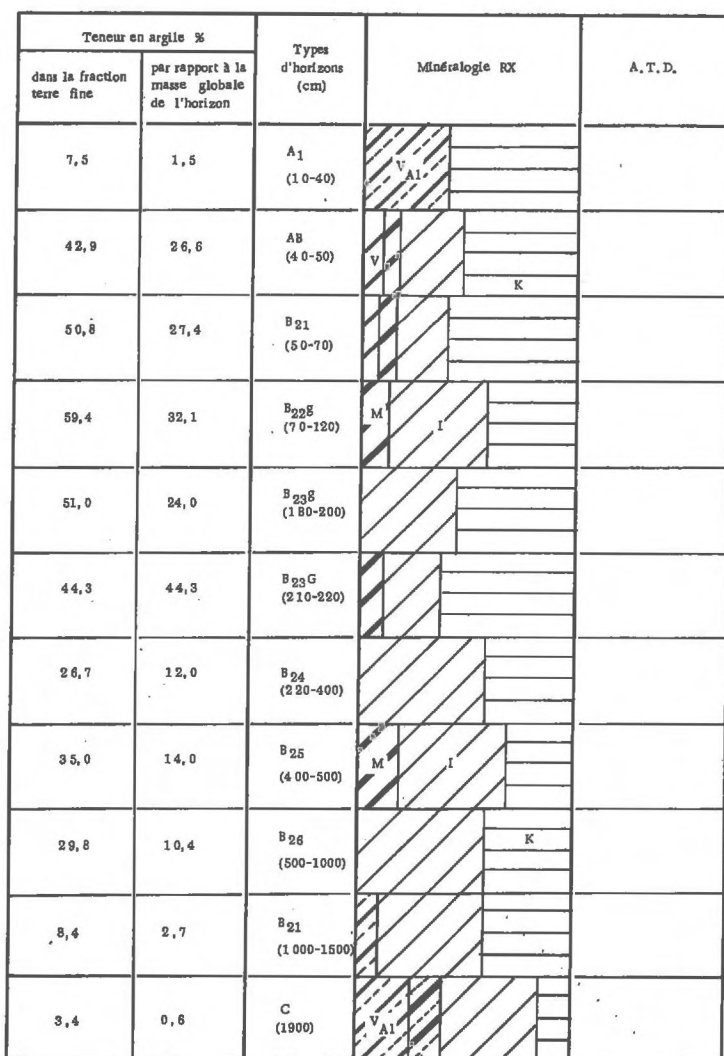
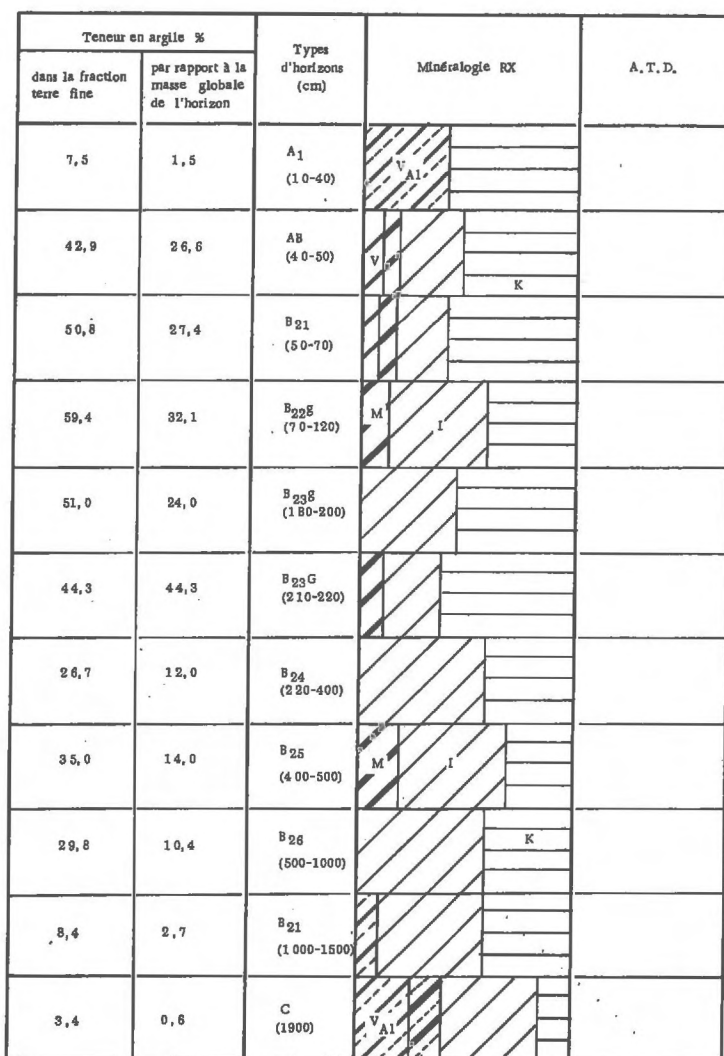
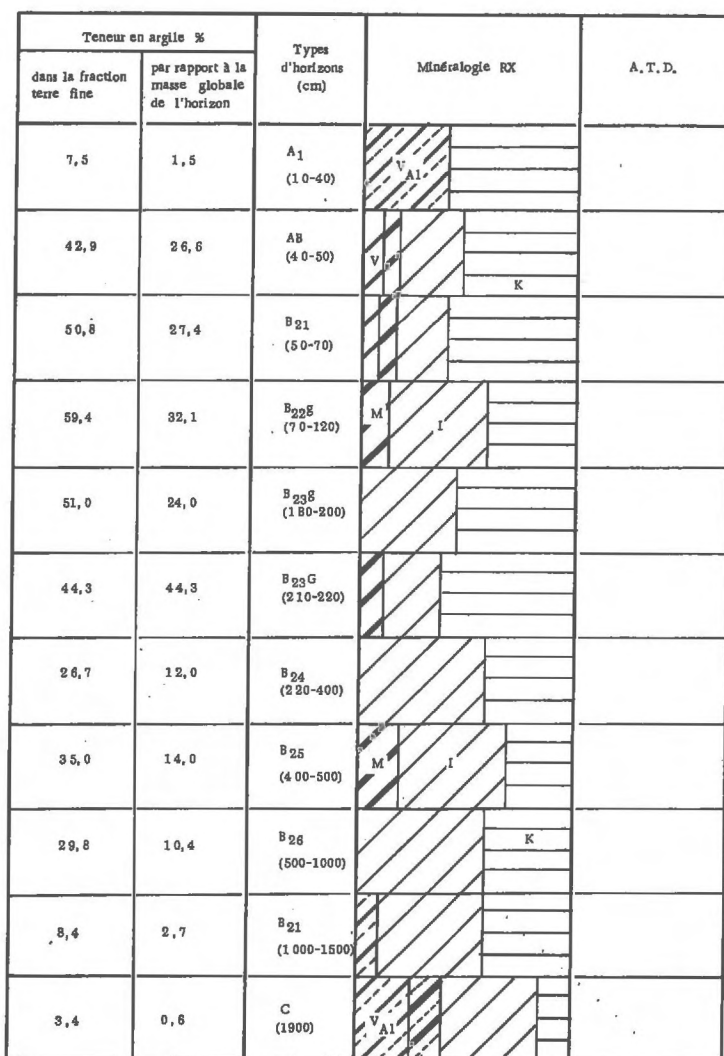
b) - Exemple de la Bièvre - Valloire :
plateau de Louze - Profil VI 4

Teneur en argile %		Types d'horizons (cm)	Minéralogie RX	A. T. D.
dans la fraction terre fine	par rapport à la masse globale de l'horizon			
8,0	3,28	Ao A1 (3-25)		
10,3	2,6	A ₂ (25-50)		
12,5	1,1	AB (50-80)		
8,5	1,2	B ₁ (80-150)		
25,5	3,5	B ₂₁ ^t (200)		
27,8	3,8	B ₂₂ ^t (250)		
0,9	0,05	C (1500)		

Tabl. 6 - 4

**ÉVOLUTION DE LA FRACTION ARGILEUSE
DANS LES SOLS DES NIVEAUX VILAFRANCHIENS**

Exemple de sol en cours de dérubéfaction :
profil VI 8

Teneur en argile %		Types d'horizons (cm)	Minéralogie RX	A. T. D.
dans la fraction terre fine	par rapport à la masse globale de l'horizon			
7,5	1,5	A ₁ (10-40)		
42,9	26,6	AB (40-50)		
50,8	27,4	B ₂₁ (50-70)		
59,4	32,1	B _{22E} (70-120)		
51,0	24,0	B _{23E} (120-200)		
44,3	44,3	B _{23G} (210-220)		
26,7	12,0	B ₂₄ (220-400)		
35,0	14,0	B ₂₅ (400-500)		
29,8	10,4	B ₂₆ (500-1000)		
8,4	2,7	B ₂₁ (1000-1500)		
3,4	0,6	C (1900)		

Tabl. 6 - 5

**ÉVOLUTION DE LA FRACTION ARGILEUSE
DANS LES SOLS DES NIVEAUX VILAFRANCHIENS**

Exemple de sol jaune :
profil Chambaran aval :

Teneur en argile %		Types d'horizons (cm)	Minéralogie RX	A. T. D.
dans la fraction terre fine	par rapport à la masse globale de l'horizon			
16,9	4,2	A ₁₁ (0-15)		
16,0	3,8	A ₁₂ (15-40)		
24,5	8,6	AB Fe (40-60)		
40,7	18,3	B ₂₁ E (80-90)		
45,5	20,5	B ₂₂ E (100-120)		
45,4	20,4	B ₂₃ E (150-170)		
37,0	37,0	B ₂₃ G (150-170)		
30,9	13,9	B ₂₄ E (170-200)		
5	1,0	C		

Tabl. 6 - 5 bis

**ÉVOLUTION DE LA FRACTION ARGILEUSE
DANS LES SOLS DES NIVEAUX VILAFRANCHIENS**

Exemple de sol jaune :
profil Chambaran amont)

Teneur en argile %		Types d'horizons (cm)	Minéralogie RX	A. T. D.
dans la fraction terre fine	par rapport à la masse globale de l'horizon			
27,3	6,0	AB (30-40)	V Al I + V	
30,4	13,7	B ₂₁₁ ^t (80)	PC M Al	Fe ₂ O ₃ , nH ₂ O
32,5	15,6	B ₂₁₂ ^t (120)	M	Fe ₂ O ₃ , nH ₂ O + gibbsite
33,4	16,7	B ₂₁₃ ^t (150)	I	Fe ₂ O ₃ , nH ₂ O + hématite + boehmite
35,8	18,6	B ₂₂₁ ^t (180)	V Al V	Fe ₂ O ₃ , nH ₂ O K
36,5	18,25	B ₂₂₂ ^t (210)	V	Fe ₂ O ₃ , nH ₂ O
33,7	17,5	B ₂₂₃ ^t (300)	M Al	Fe ₂ O ₃ , nH ₂ O
24,2	10,9	B ₂₃ ^t (500)	V Al I + V	Fe ₂ O ₃ , nH ₂ O
16,4	7,4	B ₂₄ ^t (700)		Fe ₂ O ₃ , nH ₂ O
16,5	6,6	B ₂₅ ^t (900)		Fe ₂ O ₃ , nH ₂ O
16,8	6,3	B ₂₆ ^t (1200)		Fe ₂ O ₃ , nH ₂ O Hématite Feldspaths dans argile K
17,8	6,2	B ₂₇ ^t (1500)	I	Fe ₂ O ₃ , nH ₂ O
14,3	4,6	B ₂₈ ^t (1800)		Fe ₂ O ₃ , nH ₂ O Feldspaths dans sables
16,4	5,25	B ₂₉ ^t (2000)		
13,1	4,6	B ₃₁ ^t (2200)	Int.	
16,7	5,8	B ₃₂ ^t (2300)		K
3,2	0,6	C	M + V M I	

nettes dans les sols jaunes développés dans les secteurs amont des plateaux du Chambaran. Dans le même temps, s'individualisent des traces de boehmite et de gibbsite.

. Enfin, dans les horizons de surface, les transformations des argiles 2/1 sont encore plus nettement affirmées que dans les stades d'évolution précédents. Nous observons ainsi une vermiculisation très nette des illites et une hydroxylation des vermiculites et des smectites. Ces transformations conduisent finalement à l'apparition de chlorite secondaire toujours très nette et très belle dans les horizons superficiels.

Ainsi, les faits marquants de l'évolution minéralogique des argiles, au sein de ces stades évolutifs, peuvent se résumer comme suit :

- développement très important des argiles kaoliniques, qui paraît surtout lié à l'altération des minéraux feldspathiques et évolution pratiquement nulle ou très faible des kaolinites produites depuis la base jusqu'au sommet des profils;
- évolution importante par transformation des argiles micacées de type illite. L'intensité de ces phénomènes augmente de la partie médiane des horizons B jusqu'aux horizons de surface pour aboutir à des vermiculites et des smectites plus ou moins hydroxylées dans les horizons B et même à des chlorites secondaires dans les horizons superficiels;
- apparition de smectite de néoformation dans la partie supérieure des horizons B souvent confinés et colmatés.

24. EVOLUTION DU FER, DE L'ALUMINIUM ET DE LA SILICE.

A partir des exemples déjà étudiés du point de vue morphologique puis minéralogique, il est évidemment important de voir comment peuvent évoluer le fer, l'aluminium et la silice au cours de ces stades ultimes.

241. Evolution du fer.

Dans un premier temps, nous avons essayé de retrouver au plan analytique et par voie chimique les formes d'individualisation du fer qui étaient apparues comme particulièrement caractéristiques dans les lames minces des sols correspondant à ces stades 4 et 5. Le tableau 6.6 rassemble ainsi les résultats des divers types d'extraction pratiqués sur la fraction "terre fine" de ces sols. (cf. aussi fig. 6.2 à 6.4)

Dans le stade n° 4, on retrouve un mode de distribution du fer à l'intérieur des profils analogue à celui que l'on avait déjà mis en évidence dans les stades 3 les plus évolués : appauvrissement très net en fer des horizons de surface et enrichissement des horizons B. Mais, la différenciation entre ces horizons reste de ce point de vue du même ordre de grandeur que celle déjà mentionnée dans le stade précédent.

Dans ces mêmes horizons de surface, les taux de libération du fer et surtout les taux de fer facilement extractible rapportés au fer total sont toujours très bas et, en particulier, beaucoup plus faibles que ceux que nous