

## Sols et formations superficielles sur calcaires durs dans le sud-est du Bassin Parisien - Première synthèse -

Denis BAIZE (\*)

### RÉSUMÉ

Sur les plateaux calcaires de Basse Bourgogne existent des formations superficielles argileuses d'épaisseur variable (40 cm à plusieurs mètres) : les "Terres d'Aubues" et les "argiles à chailles". Une cartographie pédologique détaillée menée sur environ 350.000 ha a permis de recueillir un grand nombre d'informations relatives à la répartition de ces formations et à la nature des sols actuels. En positions protégées de l'érosion, ceux-ci présentent des horizons supérieurs nettement limoneux.

Les "Terres d'Aubues" sont observées aujourd'hui au-dessus de différents calcaires durs dénués d'accidents siliceux. Elles ne contiennent pas d'éléments grossiers > 2 mm et, de ce fait, ont subi une forte érosion. Il n'en subsiste, en général, que de modestes lambeaux, de faible épaisseur (moins de 130 cm) et d'extension spatiale réduite aux sommets des interfluves.

Une étude granulométrique détaillée a été entreprise pour tester l'unicité du matériau en chaque site et pour savoir si les nuances granulométriques mesurées entre un sol et un autre étaient ou non en relation avec les variations de faciès des roches sous-jacentes. Ont été prélevés et analysés 676 horizons de sol et 23 substrats calcaires constituant 312 solums de "Terres d'Aubues" plus ou moins épais et 16 échantillons de roches calcaires, prélevés isolément. Pour éliminer les effets de l'illuviation, ont été utilisés seulement les chiffres des "squelettes granulométriques". Il a pu ainsi être établi que tous les solums présentent le même "squelette" dans tous leurs horizons. L'hypothèse de deux matériaux superposés se trouve écartée : des horizons pédologiques se sont différenciés au sein d'un matériau originel unique. La comparaison granulométrique a également montré qu'au dessus de chaque roche calcaire à faciès particulier (récifal, bioclastique, ferrugineux, gréseux) les "Terres d'Aubues" sus-jacentes présentent des particularités granulométriques en relation directe avec une ou plusieurs singularités de leur substrat calcaire. Un bilan rapide montre en outre que de grandes quantités d'argiles ont été évacuées dans le réseau karstique souterrain.

Les "argiles à chailles" coïncident exactement avec les affleurements des calcaires à chailles de l'Oxfordien moyen et du Callovien. La grande abondance de ces éléments grossiers siliceux est la cause de la bonne résistance de ces formations vis-à-vis des phénomènes d'ablation ; d'où leur grande épaisseur actuelle et leur extension sur la quasi-totalité des plateaux du Vézélien et du Nivernais.

(\*) I.N.R.A. Centre de Recherches d'Orléans, Service d'Etude des sols et de la Carte Pédologique de France - 45160 ARDON.

Couleur rougeâtre ou orangée, structure micro-polyédrique très nette et très stable, étroite association du fer "libre" et des minéraux argileux : de nombreux caractères montrent que ces deux formations ont subi une pédogenèse ancienne de type fersiallitique. L'évolution la plus récente est une argilluviation avec désaturation progressive. Le terme ultime, observable dans certains cas seulement, est un début de dégradation géochimique.

D'autres formations superficielles sur calcaires durs ont été également étudiées en Terre-Plaine, celles correspondant respectivement au Domérien supérieur et au Sinémurien (seuls niveaux de calcaires durs au sein des sédiments argileux ou marneux du Lias).

Ces quatre formations semblent être essentiellement autochtones. Leurs notables dissemblances résulteraient de deux caractères spécifiques des roches sous-jacentes : nature des fractions insolubles et perméabilité.

**MOTS-CLÉS** : sol argileux - plateau calcaire - pédogenèse - Bourgogne

#### SOILS and SURFACE FORMATIONS ON HARD JURASSIC LIMESTONES IN THE SOUTH-EAST OF THE PARIS BASIN

*On the limestone plateaux of Basse Bourgogne (medium and upper Jurassic), non-calcareous clayey surface formations occur with thickness ranging from 40 cm to several metres : "terres d'Aubues" and "clays-with-cherts" (Fig. 1). A detailed pedological survey achieved on more than 350,000 ha has made it possible to gather a great deal of data relating to their spatial distribution and the nature and state of weathering of the soils. In positions sheltered from erosion, these show markedly silty upper horizons (Fig. 2 and 3).*

*The "terres d'Aubues" are located over different hard limestones devoid of siliceous accidents (table I). They do not contain > 2 mm elements. Because of this, they were subjected to an intensive erosion. Generally, they still remain on the summit of interfluvies, only on small surfaces, with a thickness < 1,3 m. In such cases, the surface formation is entirely merged with the soil.*

*A detailed granulometric study was carried out in order to test the vertical unicity of the soil-material in each site and to know if the slight granulometric differences observed from one soil to another are or not in relation to the facies variations of the underlying rocks. 676 soil-horizons and 23 rock samples were sampled and analyzed (forming 312 less or more thick profiles of "terres d'Aubues") and 16 limestones taken apart. In order to avoid the effects of clay illuviation, the comparisons were achieved on "granulometric skeletons". In this way, it was established that every solum has the same "skeleton" in all its horizons (table II). The hypothesis of two superposed materials must be dismissed : horizons developed within a sole material. The granulometric study also reveals that over every limestone with a particular facies (reef, bioclastic, ferruginous, sandy) the "terres d'Aubues" shows granulometric features in direct relation with one or more peculiarity of the underlying rock (tables III and IV). Moreover, a simple calculation proves that a great amount of clay particles have been removed and translocated into the subterranean karstic network.*

The existence of the "clays-with-cherts" exactly coincide with outcrops of Oxfordian and Callovian limestones containing cherts (Fig. 1 and table I). Soils developed in the upper part of these "clays-with-cherts" are presented (Fig. 4). When not truncated, they show upper horizons (50 to 70 cm thick) markedly impoverished in clay (16 to 25 %) and acid (pH in water from 4.0 to 5.3). The great deal of siliceous gravels and stones within this surface formation is the cause of its resistance against erosion. Therefore "clays-with-cherts" still extend over almost all the plateaux in the areas of Vézelay and Clamecy with a great thickness ( $> 3$  m).

Orange or reddish colour, very well-developed and stable angular micro-blocky structure, close association between free iron and clay minerals : numerous features show that these two surface formations previously underwent a fersiallitic pedogenesis. The next evolution was clay illuviation with an increasing desaturation. The latest process, only visible in particularly favourable sites, is an incipient geochemical degradation of the upper part of the BT horizon.

Two other surface formations are briefly mentioned occurring over two hard limestones in the neighbouring area called "Terre-Plaine" (upper Domerian and Sinemurian) (Fig. 5).

These four surface formations seem to be essentially autochtoneous. Their notable differences probably result from two characteristics of their underlying rocks : the nature of the non-calcareous fraction and global perviousness.

**KEY-WORDS** : clayey soil - limestone plateau - pedogenesis - Burgundy

---

## INTRODUCTION

Sur les plateaux calcaires jurassiques de Basse Bourgogne, on observe des formations argileuses non calcaires, d'épaisseurs variables (moins de 1 m à plusieurs mètres) nommées "Terres d'Aubues", "argiles à chailles", etc.

Il existe de telles formations superficielles sur tous les affleurements de calcaires jurassiques de Lorraine (GURY et DUCHAUFOR, 1972 ; DURAND et DUTIL, 1972 ; GUILLET *et al.*, 1984), du Berry, des Charentes ou du Poitou (DUCLOUX, 1971 et 1989 ; CALLOT, 1977 ; CALLOT et PEDRO, 1977). Dans des contextes régionaux différents, ces formations conduisent pédologues et géologues aux mêmes questions : leur origine est-elle allochtone ou autochtone ; quelles en sont les évolutions pédologiques anciennes et actuelles ?

Une démarche de cartographie pédologique menée sur environ 400.000 ha a permis de recueillir un grand nombre d'informations relatives à la répartition de ces formations, à la nature et à l'état d'altération de leurs constituants, aux pédogenèses successives qui les ont affectées.

L'étude a porté surtout sur la région naturelle des "Plateaux de Bourgogne" dans l'Yonne (figure 1). Elle a intéressé également la partie la plus occidentale du Barrois (région de Chaource, Aube), une fraction de la Nièvre (région de Clamecy) et un secteur au nord-ouest de la Côte d'Or. Ce grand ensemble est constitué de plateaux calcaires successifs qui s'élèvent du nord-ouest vers le sud-est, séparés par des cuestas

d'importance variable liées à des intercalations de marnes ou de calcaires tendres. Toutes les roches sont des sédiments marins du Jurassique (auxquels on doit ajouter les calcaires crétacés de l'Hauterivien).

Dans le cadre de cet article, seront envisagées surtout les "Terres d'Aubues" et les "argiles à chailles". D'autres formations superficielles liées au Jurassique ne seront qu'évoquées rapidement, en particulier celle de la plate-forme sinémurienne qui fait partie d'une autre région naturelle : la Terre-Plaine.

Toutes ces formations ont été totalement affectées par la pédogenèse (cas des "Terres d'Aubues") ou l'ont été au moins à leur partie supérieure, sur 1 à 2 m, (cas des argiles à chailles et des formations sur Sinémurien). Dans les trois cas, des horizons beaucoup plus limoneux sont observables en surface. C'est pourquoi les anciens auteurs ont souvent fait mention de "limons" alors que ces formations sont essentiellement argileuses.

Cet article n'a pas pour objet principal la présentation des "Terres d'Aubues" en tant que sols (déjà étudiées par BAIZE, 1971, 1972a, 1972b, 1976, 1989). Il est surtout consacré à l'étude de leurs relations avec les roches calcaires sous-jacentes et à leur comparaison avec les "argiles à chailles".

La connaissance des "Terres d'Aubues" est beaucoup plus avancée que celle des autres formations superficielles également présentées. Malgré cette quantité d'information inégale, la présente note constitue une première synthèse régionale.

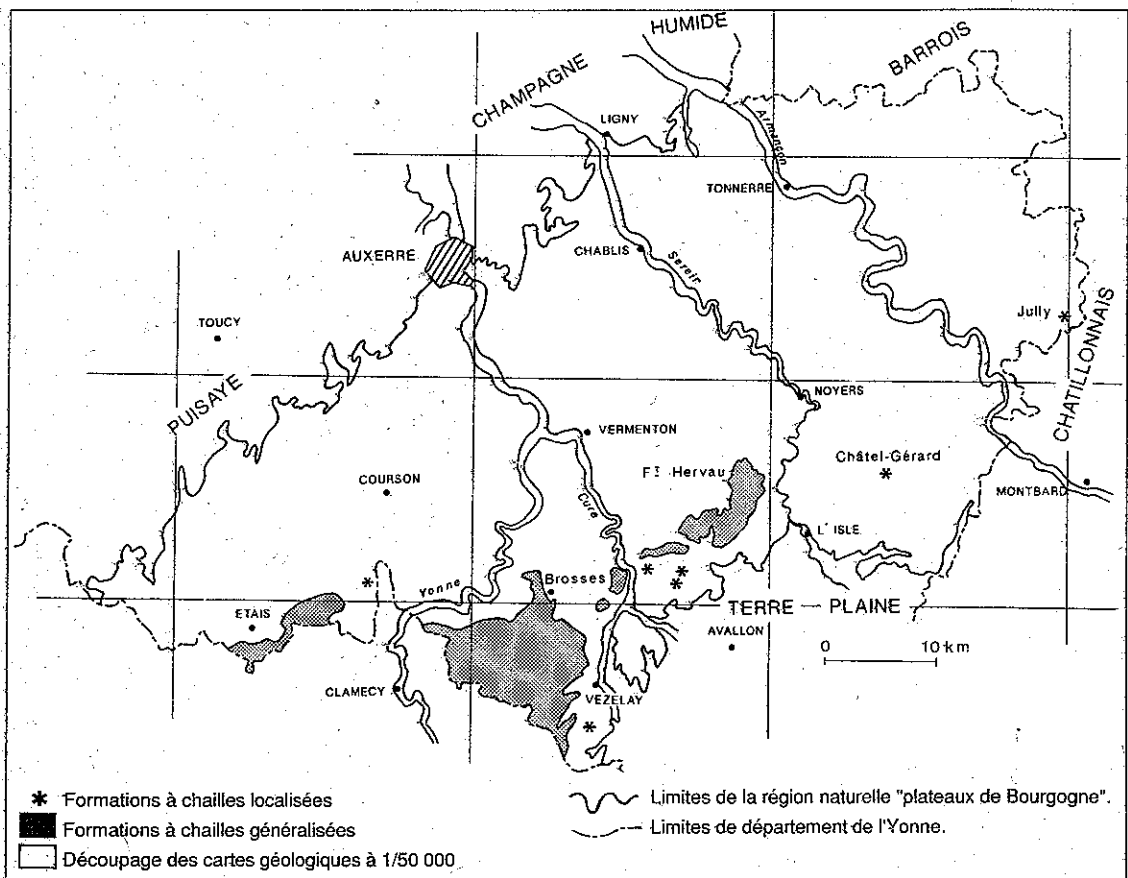


Figure 1 : La région étudiée et la localisation des formations à chailles.  
 The studied area and location of "clays with cherts".

## I. METHODES D'ETUDE

Ce sont celles de la cartographie pédologique à échelle moyenne (BAIZE et VOILLIOT, 1989), complétées par un certain nombre de déterminations et de raisonnements nécessaires à l'étude plus détaillée des "Terres d'Aubues" (cf. ci-dessous).

### Recueil de l'information

Les prospections de terrain ont été menées de façon systématique, à raison d'un sondage pour 10 à 20 ha en moyenne (selon la complexité du terrain), sans compter de nombreuses observations complémentaires (aspects de la surface du sol, talus, etc.). Les limites entre unités cartographiques sont dessinées sur le terrain, en s'aidant de considérations géomorphologiques et/ou des aspects de surface. Les sondages pédologiques à la tarière ne dépassent pas la profondeur de 1,20 m, mais les observations sont très nombreuses et couvrent la totalité du territoire étudié.

La sélection et le creusement d'un grand nombre de fosses (312 pour les "Terres d'Aubues" - 12 pour les "argiles à chailles") ont permis le prélèvement d'échantillons pour caractérisation pédologique (analyse granulométrique de la fraction < 2 mm, pH, capacité d'échange cationique, cations échangeables, fer total, fer "libre" par la méthode Deb, etc.).

### Les raisonnements

La cartographie systématique apporte une première information essentielle. En effet, la répartition spatiale actuelle des formations superficielles étudiées, en relation avec les faciès géologiques sous-jacents et leurs positions dans le paysage, fournit un certain nombre d'arguments quant à leur origine et à leur mode de formation.

Les méthodes habituelles de la Pédologie descriptive et analytique (macro- et micro-morphologie, analyses chimiques, minéralogie des argiles) permettent de reconnaître les effets des pédogenèses actuelles ou plus anciennes (BAIZE, 1971, 1972b, 1976, 1989 ; BRUAND 1985 ; BRUAND et PROST, 1986).

Des comparaisons granulométriques "verticales" ont été effectuées, d'une part au sein des solums suffisamment épais et, d'autre part, entre sols et fraction "insoluble" des roches sous-jacentes. Pour éliminer les effets de l'illuviation des particules argileuses sur les valeurs granulométriques, ont été utilisés seulement les chiffres des limons et des sables exprimés en % de leur somme ("squelettes granulométriques").

### Etude détaillée des "Terres d'Aubues"

En ce qui concerne cette formation, ont été prélevés et analysés 676 horizons de sol et 23 substrats calcaires constituant 312 solums plus ou moins épais. En outre, 16 échantillons de roches calcaires ont été prélevés isolément. Sur ces 39 échantillons de roches, ont été mesurées les teneurs en matières insolubles à HCl, la granulométrie de cet "insoluble" et le fer total (extrait par HF).

Les 715 analyses granulométriques disponibles (sols et roches) ont été étudiées en détail afin de tester l'unicité des matériaux en chaque site et afin d'établir si les nuances granulométriques observées dans les sols sont en relation avec les faciès des roches sous-jacentes.

Tableau I : Les faciès de calcaires qui portent des "Terres d'Aubues" (nb : nombre d'échantillons de sols) ou des "argiles à chailles" (\*\*\*).

The different facies of limestones supporting "Terres d'Aubues" (nb : number of soil samples) or "clays with cherts" (\*\*\*).

Etage	Dénomination et faciès	nb
HAUTERIVIEN	- calc. à Spatangues = calcaire roux, gréseux et bioclastique	53
PORTLANDIEN	- calc. du Barrois = calc. sub-lithographiques à joints marneux et débit cubique	72
KIMMÉRIDIEN sup. et moyen	- un banc de calcaire dur au 1/3 inférieur d'une masse de marnes noires et marno-calcaires à Exogyra virgula	21
KIMMÉRIDIEN inférieur	- niveau terminal à glauconie	1
	- calc. à Astartes = calc. durs, rocaillieux, sublithographiques	19
	- calc. de Tonnerre = calc. blanc, tendre, crayeux, gélif. Polypiers en boules	41
OXFORDIEN supérieur	- calc. de Bazarnes, Cravant, Commissey et Cruzy = calc. sub-lithographiques à débit en dalles	166
	- calc. de Vermenton = calc. sub-lithographiques à joints et intercalations marneuses	60
	- calc. de Lézinnes = calcaire jaunâtre, "arénifère"	22
	- calc. de Gland = calcaire récifal à polypiers isolés	9
	- calc. de Stigny = calcaire fin, blanc, gélif	6
	- calc. à spongiaires = calcaire sub-lithographique gris-bleu	11
	- récif de Mailly-le-Château = calc. non stratifié, cristallin très dur ou crayeux	0
OXFORDIEN moyen et inférieur	- "spongiaires inférieurs" = calc. marneux à spongiaires	15
	- calcaires à chailles (au sud-ouest de la vallée de la Cure) ***	0
	- "Oolithe ferrugineuse" = calc. marneux, gris, à oolithes ferrugineuses ("mine grise")	15
CALLOVIEN	- "Dalle nacrée" = Calc. durs, beiges ou ocre, souvent oolithiques débit en dalles ; nombreuses chailles à l'ouest de la vallée du Serein ***	97
BATHONIEN	- calcaires bicolores	7
	- "Comblanchien" = calcaire en gros bancs, très dur et très pur	5
	- "Oolithe blanche" = calcaire blanc, tendre, oolithique, gélif	4
	- "Grande Oolithe" = calcaires durs, oolithiques et détritiques	3
	- calcaires dolomitiques, durs, en dalles	1
- "Vésulien" = calcaires marneux en plaquettes et marnes	9	
BAJOCIEN	- calc. à entroques = calc. durs, gris-bleu, cristallins à entroques	13
DOMÉRIEN sup.	- calc. à Gryphées géantes = calc. roux, bio-clastique, ferrugineux fossilifère	26

Les échantillons de sols ont été classés en fonction du faciès de la roche calcaire sous-jacente (tableau I). Dans un certain nombre de cas, la fosse n'ayant pas atteint le substratum calcaire, l'affectation d'un solum à tel ou tel faciès a été opérée par simple pointage du prélèvement sur la carte géologique à 1/50.000 avec tout ce que cela peut impliquer d'incertitudes. Au sein d'une série calcaire de plusieurs dizaines de mètres de puissance, les variations locales de faciès peuvent être nombreuses et imprévisibles, notamment en ce qui concerne la nature de la fraction insoluble. Ce rattachement comporte donc probablement plusieurs erreurs.

## II. LES "TERRES D'AUBUES"

Citées déjà par RAULIN (1858), elles ont été étudiées pour la première fois par MANTELET et RADET (1937) et qualifiées d'"argiles rouges de décalcification" ou de "limons rouges", associés à des "limons brun-jaunâtres".

Elles ont été notées "limons des plateaux" sur les cartes géologiques à 1/80.000 puis "limons" ou "couverture limoneuse" (LP ou B) sur les éditions à 1/50.000. En règle générale, ces formations ont fort peu intéressé les géologues. Cependant, DEBRAND-PASSARD (1969) leur consacre deux pages dans la notice de la carte Chablis, suite à une première étude menée avec CONCARET. Mais ces deux auteurs ne peuvent conclure quant à l'origine des "Terres d'Aubues".

BAIZE (1971, 1972a, 1972b) n'étudie que le territoire de la feuille Chablis et ne rencontre, de ce fait, que des sols développés sur des calcaires d'âges différents mais tous de faciès sub-lithographiques. A partir de 1985, BRUAND s'attache à caractériser les horizons BT des "Terres d'Aubues" et particulièrement leurs propriétés de rétention en eau et leur dynamique structurale. Ces travaux qui portent sur 35 solums ne sont encore que partiellement publiés (BRUAND et TESSIER, 1987 ; BRUAND, 1990 et comm. pers.).

### A) PRESENTATION GENERALE

A ce jour, la cartographie des sols a couvert le territoire des feuilles Chaource, Chablis, Tonnerre, Noyers, Vermenton, Avallon et une partie des feuilles Courson et Clamecy. Tous les faciès calcaires de la région ont ainsi été l'objet de prospections pédologiques.

#### 1. Localisation géomorphologique et géologique

Les "Terres d'Aubues" peuvent être observées sur tous les calcaires durs de la région (tableau I), en position de sommets et d'interfluves dans les secteurs assez fortement disséqués (entre Yonne et Serein, par exemple), ou bien en position de grands plateaux (Châtillonnais, confins du Nivernais). Dans tous les cas, il semble s'agir d'une couverture ancienne relativement générale dont il ne subsiste que des lambeaux, en situations restées à l'abri de l'érosion régressive.

#### 2. Les différents solums (figure 2)

La cartographie a permis de mettre en évidence une toposéquence de sols qui résulte de la troncature plus ou moins complète de la couverture pédologique. Les quatre types

de sols qui constituent cette toposéquence ont été, dans la mesure du possible, cartographiés séparément car leurs propriétés agronomiques sont fort différentes (BAIZE, 1976, 1989).

Les "solums complets" (1) présentent des horizons supérieurs limoneux puis limono-argileux, de teintes beiges, épais de 40 à 60 cm environ. En profondeur, on passe à des horizons très bien structurés (polyédriques anguleux à sous-structure micro-polyédrique) et vivement colorés (ocre-jaune, orangés ou rougeâtres), de plus en plus argileux. Ces horizons profonds présentent de très nombreux ferri-argilanes qui tapissent la quasi-totalité des faces d'agrégats.

Les "Aubues blanches" (2) correspondent à un stade où la partie supérieure des horizons de surface appauvris en argile a été érodée. Dans le cas des "Aubues rouges" (3), il ne reste que les horizons profonds argileux. Les sols où ne subsistent que 25 à 35 cm de terre argileuse ont été nommées "petites Aubues" (4) : sous culture, le déboisement et les labours ont provoqué le mélange de cette terre avec des éléments calcaires arrachés au substrat.

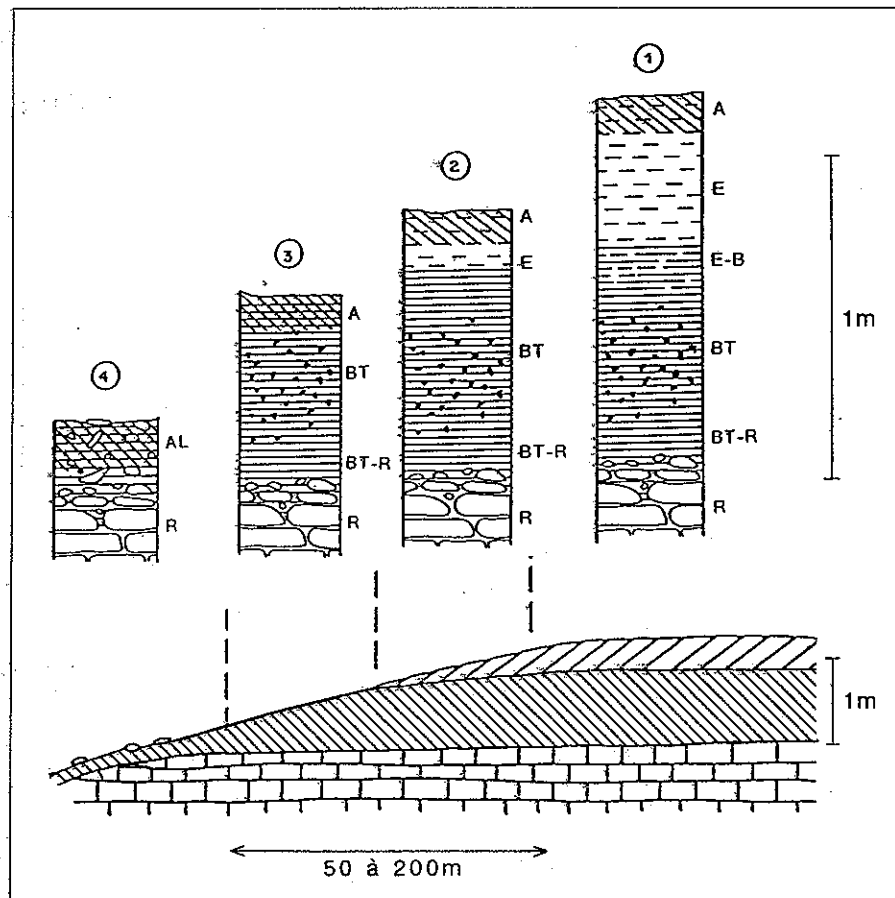


Figure 2 : Toposéquence schématique des "Terres d'Aubues".

*Schematic toposéquence of "Terres d'Aubues".*

- 1 : "Solums complets"
- 2 : "Aubues blanches"
- 3 : "Aubues rouges"
- 4 : "Petites Aubues"

- 1 : non truncated solums
- 2 : "whitish Aubues"
- 3 : "reddish Aubues"
- 4 : "shallow Aubues"



### 3. "Terres d'Aubues" en place et redistribuées

Sur le terrain, il est assez aisé de distinguer les "Terres d'Aubues" demeurées "en place" et les mêmes matériaux redistribués dans le paysage à l'échelle hectométrique. Les premières montrent des transitions graduelles entre horizons, des couleurs vives, un accroissement progressif et régulier des taux d'argile avec la profondeur, des ferri-argilanes bien visibles, etc., autant d'indices de non remaniement. Les seconds, au contraire, présentent des signes d'une redistribution : profil uniforme quant à la granulométrie et à la couleur, parfois mélange avec quelques éléments calcaires, etc.

Cette redistribution peut s'effectuer de deux façons, que permet de distinguer la cartographie :

- léger colluvionnement vers le nord-est<sup>1</sup> de certains lambeaux, notamment sur les interfluves majeurs des plateaux portlandiens,
- accumulations de matériaux argilo-limoneux, rougeâtres, non calcaires, dans les fonds des vallons secs, en certains bas de versants, dans des fonds de dolines, etc.

Quant aux alluvions du Serein entre Noyers et son confluent avec l'Yonne, surnommées "lames rouges", de nombreux caractères les rapprochent des matériaux argileux des "Terres d'Aubues" : granulométrie d'argile lourde, teinte rougeâtre, absence de calcaire, structure polyédrique fine, etc. Les "lames rouges" résulteraient de déplacements à longues distances sur 1 à 20 km.

Dans la suite de cet article, seules les "Terres d'Aubues" non remaniées seront traitées.

### 4. Constituants, granulométrie et couleurs

L'étude de tous les horizons des quatre types de sols, situés sur tous les calcaires, depuis le Bajocien jusqu'à l'Hauterivien, permet de dégager les traits principaux de cette formation qui, rappelons le, ne contient jamais de calcaire (BAIZE 1971, 1976, 1989 ; BRUAND 1985).

- Absence d'éléments > 2 mm (graviers et cailloux). Exceptionnellement, quelques graviers ferrugineux.
- Les sables sont peu abondants (en règle générale, moins de 8 % de sables totaux).
- Très grande variation des taux d'argile selon qu'il s'agit d'horizons de surface ou d'horizons profonds. Cependant ces taux d'argile restent dans un même intervalle de variation pour un même type d'horizon :
  - 18 à 30 % pour les horizons A ou E ;
  - 28 à 40 % pour les horizons de transition ;
  - 40 à 55 % pour les horizons BT
  - 55 à 76 % pour les horizons BT-R à proximité immédiate de la roche calcaire sous-jacente.
- *Minéralogie de la fraction argile* : dans les horizons E : kaolinite, illites et édifices vermiculitiques alumineux. Dans les horizons BT : mélange de kaolinite, d'illites et d'interstratifiés gonflants en faible quantité (CEC du mélange comprise entre 30 et 40

(1) effet paléo-climatique comme beaucoup d'autres phénomènes quaternaires dans la région

mé/100 g d'argile). Kaolinite et illites se trouvent déjà dans le résidu insoluble des calcaires à grain fin du Portlandien et de Bazarnes (seuls calcaires où la détermination des argiles héritées ait été faite). Aucun composé du fer n'apparaît en diffractométrie X.

- 3 à 8 % de fer total dans les horizons argileux BT, valeurs proportionnelles aux teneurs en argile ( $Fe / A = 0,105$  en moyenne). Le rapport fer "libre" Deb / fer total reste compris entre 0,6 et 0,8.

A signaler cependant le cas particulier des "Terres d'Aubues" développées au-dessus du calcaire oxfordien à oolithes ferrugineuses, dans lesquelles on dose de 10 à 23 % de fer élémentaire (rapport  $Fe / A = 0,36$  en moyenne pour 11 échantillons).

- Les couleurs des horizons profonds argileux vont d'un pôle rougeâtre (code Munsell 7,5 YR 4/4 voire 5 YR 4/6 ou 4/8) à un pôle beaucoup plus "ocre-jaune" (10 YR 4/6 et 5/6). La teinte rougeâtre est liée à la couleur des ferri-argilanes qui tapissent la quasi-totalité des faces des agrégats, la matrice étant plus jaune.

### 5. Couleur et formes du fer

La cartographie a montré que l'on pouvait observer des teintes plutôt rougeâtres (7,5 YR et 5 YR) et nettement "jaunes" (10 YR) sur le même plateau, à quelques hectomètres de distance. La meilleure hypothèse pour expliquer ces différentes colorations fait appel aux conditions de drainage naturel régnant au sein du solum, elles-mêmes sous la dépendance de la fissuration et de la nature de la roche calcaire sous-jacente. Un calcaire pur et fissuré assure un ressuyage rapide des eaux de pluies et le sol manifesterait une couleur plus rouge. Un calcaire un peu marneux (ou à joints marneux) constitue un substratum moins perméable, le ressuyage du sol est plus lent, les oxy-hydroxydes de fer exprimeraient une couleur plus jaune.

La seule étude détaillée des formes du fer a été réalisée par BRUAND et PROST (1986) sur un horizon argileux assez "rouge" (faces d'agrégats 5 YR 4/4). Malgré l'emploi de techniques appropriées (spectroscopie Mössbauer, réflexion diffuse) ces auteurs n'ont pu découvrir dans la fraction  $< 2 \mu\text{m}$  que de la goéthite de petite taille (entre 8 et 15 nm). L'hématite n'a pas été décelée : si elle existe, elle est plus petite que 3 nm.

### B) COMPARAISONS GRANULOMETRIQUES "VERTICALES" EN CHAQUE SITE

Les différents horizons superposés en chaque site ont été comparés. Il a pu ainsi être établi que tous les solums un peu épais présentent des "squelettes" similaires dans tous leurs horizons (tableau II). Les petites différences observées dans les sols ne sont pas significatives. Très souvent elles sont de l'ordre de grandeur des erreurs d'analyses, amplifiées par le fait que les "squelettes" sont souvent calculés sur seulement 25 à 50 % de la terre fine totale.

L'hypothèse de deux matériaux superposés (l'un plus limoneux, l'autre plus argileux) se trouve donc écartée : il s'agit bien d'horizons pédologiques A, E et BT différenciés au sein d'un même matériau originel.

SOLS SUR CALCAIRES DURS EN BOURGOGNE

Tableau II : Comparaison verticale des "squelettes granulométriques" des "terres d'Aubues" (quelques exemples)  
Vertical comparison relative to the "granulometric skeletons" of "Terres d'Aubues" (some examples).

Situation	Profondeur en cm	Squelettes granulométriques %					Argile %
		LF	LG	SF <sub>1</sub>	SF <sub>2</sub>	SG	
Bois de Lichères (calc. de Bazarnes)	0-10	59,61	37,97	1,67	0,30	0,45	26,1
	10-20	60,60	37,31	1,64	0,30	0,15	28,3
	20-30	61,19	36,44	1,63	0,30	0,44	29,2
	30-40	60,25	37,24	1,57	0,31	0,63	33,4
	40-50	60,31	36,69	1,58	0,47	0,95	34,1
	50-60	60,77	36,73	1,50	0,50	0,50	37,3
	60-70	60,70	36,35	1,66	0,55	0,74	43,0
	70-80	61,04	35,74	2,00	0,60	0,60	46,7
	80-90	59,07	36,98	2,32	0,70	0,93	54,0
	90-100	60,83	36,01	2,19	0,73	0,24	55,9
Bazarnes)	100-110	61,62	35,06	2,21	0,74	0,37	70,5
	110-120	64,79	32,39	2,35	0,47	0,00	76,7
	insoluble roche	76,08	14,36	2,50		2,38	65,2
Buisson rond (calc. de Bazarnes)	0-20	59,32	35,66	3,28		1,75	25,0
	20-30	60,57	36,27	2,44		0,72	26,3
	30-40	59,36	38,02	1,97		0,66	28,3
	40-52	60,32	37,19	2,08		0,42	36,0
	52-70	63,47	33,71	2,29		0,52	49,5
	70-85	62,50	33,41	3,43		0,66	52,0
	85-100	62,20	34,30	2,66		0,85	55,0
	100-110	62,98	33,93	2,44		0,64	57,8
	110-125	63,29	31,51	3,23		1,97	62,0
		insoluble roche	85,52	8,89	4,02		1,60
Chablis 176 (Hauterivien)	0-30	56,08	26,54	9,42		7,96	44,8
	30-75	57,99	28,81	5,18		8,02	54,3
	insoluble roche	53,42	14,11	30,00		2,47	60,2
Tonnerre 429 (calc. de Lézinnes)	0-30	48,38	42,17	5,76		3,69	53,8
	60-80	53,58	36,10	4,87		5,44	63,2
	insoluble roche	25,74	30,69	13,93		29,63	43,4
Noyers 80 (Bajocien)	0-25	62,75	31,37	2,67		3,21	41,0
	25-40	64,02	30,69	2,64		2,64	48,9
	75-100	63,74	26,02	4,97		5,26	64,4
Noyers 71 (C. à oolithes ferrugineuses)	0-30	53,19	19,31	6,87		20,62	38,9
	30-50	41,79	17,56	8,40		32,25	47,6
	50-65	42,22	13,00	8,58		36,19	56,9

## C) RELATIONS ENTRE NUANCES GRANULOMETRIQUES DES SOLS ET NATURE DU SUBSTRAT

### 1. Les résidus insolubles des roches

Bien que l'échantillonnage des substrats soit très incomplet, un certain nombre de constatations ont pu être faites. Elles sont rassemblées dans le tableau III et la figure 3.

Tableau III : Etude des résidus insolubles de 39 échantillons de roches calcaires (résultats exprimés en g/100 g de roche ou en g/100 g d'insoluble).  
*Study of the non calcareous fractions from 39 limestones (values in the form of g/100 g of rock or g/100 g of non calcareous fraction).*

#### 1°) Teneur totale en insoluble (39 échantillons)

- variation de 0,9 à 27,7 g ; médiane : 5,5 g
- les 3 "Oolithe ferrugineuse" sont les plus riches : > 13 g.
- les 7 calc. de Lézinnes présentent des taux notables (5 à 13 g)
- les 2 calc. "Comblanchien" sont parmi les plus purs (0,9 et 1,3 g).

#### 2°) Teneur en Fe total (21 échantillons)

- variation de 0,08 à 10,10 g ; médiane : 0,30 g
- 17 roches contiennent moins de 0,6 g de Fe
- les 3 "Oolithe ferrugineuse" contiennent 2,3 - 9,1 et 10,1 g

#### 3°) Taux d'argile de l'insoluble (33 échantillons)

- variation de 22 à 80 g ; médiane : 61,2 g
- les 6 calc. calloviens sont tous  $\geq$  médiane
- 6 calc. de Lézinnes (sur 7) < 56 g
- les 3 "Oolithe ferrugineuse" < 45 g
- les 10 roches à faciès sub-lithographiques (calc. de Bazarnes, du Kimméridgien, à Astartes, de Vermenton et du Portlandien) > médiane (une relative pauvreté en argile indique une richesse corrélative en une autre fraction limoneuse ou sableuse).

#### 4°) Teneurs en limons et sables de l'insoluble (33 échantillons)

- Ont été utilisés des diagrammes triangulaires LF/LG/ST, complétés par la relation SF/SG (figure 3). Trois groupes peuvent être distingués :
- 19 roches très ou relativement pauvres en sables avec LF >>> LG. On y trouve tous les calc. sublithographiques, 3 calc. calloviens et les 2 calc. hauteriviens.
  - 7 calc. assez riches en sables où LG égale à peu près LF ou même prédomine. On y trouve 6 calc. de Lézinnes sur les 7 qui ont été étudiés et 1 calc. de Gland.
  - 7 calc. très riches en sables et surtout en SG : les 3 "Oolithe ferrugineuse" (les sables sont ferrugineux), 3 calc. calloviens (les sables sont des oolithes siliceuses et des débris organogènes) et 1 calc. de Gland (les sables sont des débris siliceux organogènes).

### 2. "Squelettes granulométriques" des sols (tableau IV)

Les valeurs sont exprimées en % de la somme des limons + sables. Les 676 échantillons de sols forment, dans l'espace à 4 dimensions LF, LG, SF, SG, un nuage dense avec un gros "noyau" central. Constitué par environ 500 échantillons, ce "noyau"

## SOLS SUR CALCAIRES DURS EN BOURGOGNE

se caractérise par des teneurs en LF comprises entre 55 et 65 %, en LG comprises entre 30 et 40 % et en ST comprises entre 1 et 10 %. Il est constitué surtout des sols situés au-dessus des calcaires durs à grain fin : calcaires marneux et sub-lithographiques.

Cependant, quelques "familles" de sols se singularisent par rapport à cette médiane générale (tableau IV).

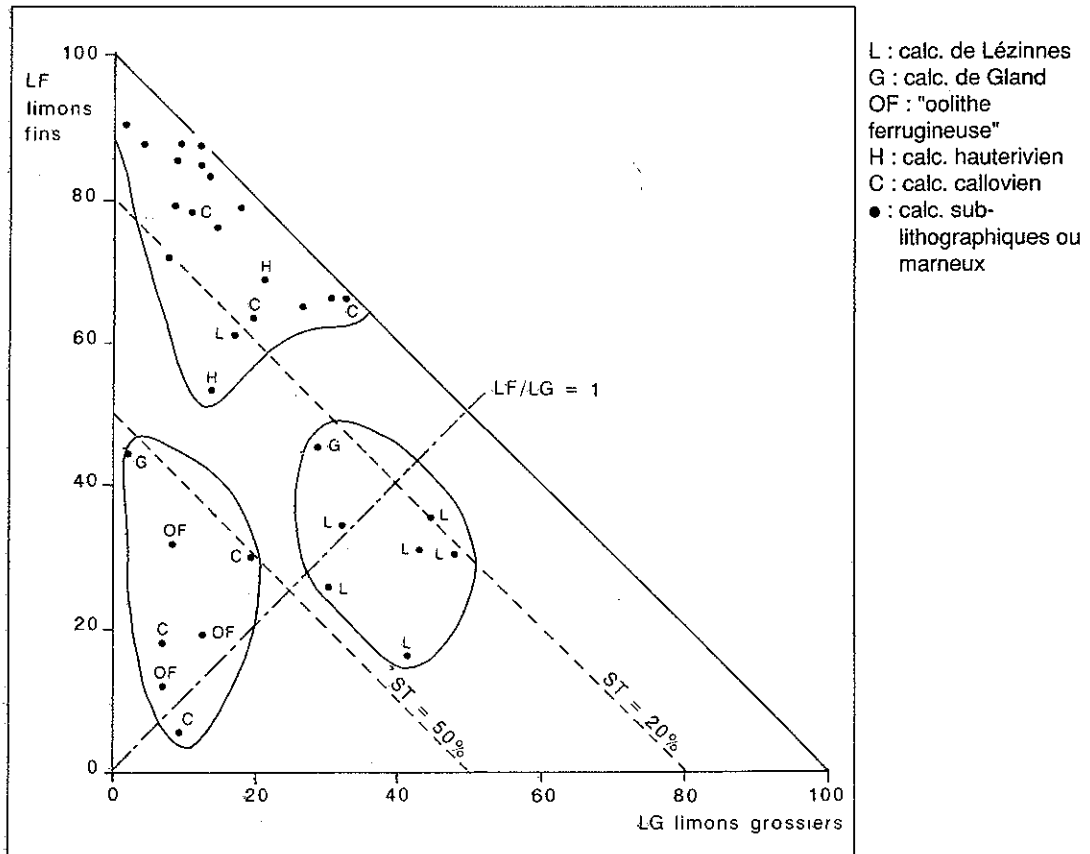


Figure 3 : "Squelettes granulométriques" des résidus insolubles de 33 calcaires durs.

*"Granulometric skeletons" of non calcareous fractions from 33 hard limestones.*

### 3. Interprétation

Ainsi, à chaque fois que le calcaire présente un faciès particulier (récifal, bioclastique, ferrugineux, gréseux) les "Terres d'Aubues" sus-jacentes présentent des particularités granulométriques et parfois chimiques liées à une propriété spécifique de leur substrat calcaire. En effet, le calcaire de Lézinnes est décrit dans la notice de la carte géologique Tonnerre comme un calcaire "jaunâtre, grenu, dont la cassure a un aspect rugueux, d'où le terme d'arénifère,... et dont le résidu insoluble total (grains de quartz très petits) ne dépasse pas 10 %".

Le calcaire roux de l'Hauterivien est connu comme gréseux et biodétritique (cartes géologiques de Chablis, Auxerre, Courson et Saint Florentin).

En ce qui concerne les sols sur l' "Oolithe ferrugineuse", l'altération et la désagrégation des oolithes ferrugineuses sont à l'origine des teneurs en fer

considérables (10 à 23 % de Fe total) actuellement observées dans les sols (jadis exploités comme minerai sous le nom de "mine rouge"). En outre, des teneurs très élevées en sables grossiers siliceux (vérification faite à la loupe binoculaire) sont également caractéristiques de cette "famille" de sols.

Certes, il n'y a pas correspondance exacte entre les "squelettes" des sols et ceux des résidus insolubles des calcaires sous-jacents, ni en chaque site (cf. exemples du tableau II) ni statistiquement. Les "squelettes" des roches sont plus "typés" que ceux des sols. Au cours de la pédogenèse sur de très longues durées, la granulométrie des sols a pu se modifier. Cette évolution granulométrique a pu consister en une destruction de granules ferrugineux, en une altération complète des micas et feldspaths et en une micro-division des quartz.

Tableau IV : Spécificités granulométriques (ou chimiques) de certaines "familles" de "Terres d'Aubues" par rapport au "noyau" général. Relations avec les particularités lithologiques des roches sous-jacentes.

*Granulometric (or chemical) features of some "familles" of "Terres d'Aubues" and differences with the general "nucleus". Relations with lithological peculiarities of underlying rocks.*

Sols situés au-dessus de	Particularités de la roche sous-jacente	Spécificités granulométriques des sols par rapport au "noyau"
Calcaires durs à grain fin marneux et sub-lithographiques	aucune	<b>"noyau"</b> 55 < LF < 65 % 30 < LG < 40 % 1,3 < LF/LG < 3,5 - moyenne 2,0 1 < SF + SG < 10 %
Calcaire à Spatangues (Hauterivien)	gréseux, ferrugineux et biodétritique	très riches en SF (9 à 22 %) assez riches en SG au détriment de LF
Calcaire de Lézinnes	"arénifère", 5 à 13 % de résidu insoluble, grains de quartz très petits	très riches en LG et pauvres en LF 0,6 < LF/LG < 1,5 - moyenne = 1,2 assez riches en SF
Calcaire de Gland	récifal, à polypiers isolés	riches en SG
Calcaires de Stigny	blanc, gélif	pauvres en LF riches en LG, SF et SG
"Oolithe ferrugineuse"	marneux, très fossilifère, oolithes ferrugineuses (2 à 10 % de Fe total)	pauvres en LG, riches en SF très riches en SG siliceux (15 à 35 %) très riches en Fe total (10 à 23 %)
Calcaire à Gryphées géantes (Domérien sup.)	ferrugineux, bio-détritique fossilifère	pauvres en LG riches en SF et SG

La corrélation présentée au tableau IV ne pouvant être le fait du hasard, cette étude montre donc que les "Terres d'Aubues" non remaniées présentent un caractère autochtone assez strict. Une conclusion similaire a été obtenue par GUILLET *et al.* (1984) pour quatre sites des plateaux calcaires lorrains.

### D) CONCLUSIONS

Les "Terres d'Aubues" sont donc des lambeaux d'une couverture d'altération in situ des calcaires jurassiques. Elles se localisent aujourd'hui en des positions géomorphologiques (plateaux, interfluves majeurs) où l'ablation totale n'a pu intervenir : sur des roches suffisamment dures et loin du réseau hydrographique ancien (actuellement vallons secs). Leur formation, à partir de calcaires ayant le plus souvent de 2 à 8 % de fraction insoluble (mais il ne faut pas oublier le rôle des minces joints marneux), a été certainement très lente. Elle débuta sans doute à l'Eocène après l'émergence définitive à la fin du Crétacé. Depuis lors, libération de nouveaux matériaux par dissolution des calcaires, pédogenèse et phases d'ablation ont agi simultanément, l'un ou l'autre phénomène prenant alternativement le dessus en fonction des variations paléo-climatiques et/ou tectoniques.

Au sein des solums, aussi bien dans les horizons BT que dans les horizons éluviés, les teneurs en argile sont presque toujours très inférieures aux pourcentages d'argile dosés dans les résidus insolubles. Ce déficit en argile est certainement dû à l'entraînement d'une grande quantité de particules argileuses dans les calcaires fissurés. Tous les conduits karstiques souterrains en contiennent (entonnoirs, fissures, grottes). Les transferts verticaux d'argile qui marquent aujourd'hui les sols (illuviation) se sont prolongés dans le réseau karstique souterrain (GAIFFE, 1987) et ces phénomènes se sont perpétués pendant des centaines de milliers d'années.

Là où elle est demeurée relativement épaisse, la couverture pédologique présente aujourd'hui une différenciation prononcée aux plans textural et structural. Son évolution, du moins dans une phase initiale, fut probablement assez lente. En effet, non seulement le matériau lui-même est très riche en argile (beaucoup plus que les "limons" habituels du Bassin Parisien) mais cette évolution s'est déroulée dans un paysage dominé par l'influence de roches carbonatées. Un tel milieu calcique a dû constituer un frein aux processus de désaturation et d'illuviation d'argile.

Les horizons BT des "Terres d'Aubues" présentent des *caractères fersiallitiques* : - grande abondance du fer "libre" demeurant cependant étroitement associé aux minéraux argileux et migrant avec eux, d'où des couleurs vives ; - et structures anguleuses très fines.

La dernière phase d'érosion est venue tronquer des solums déjà fortement différenciés et ayant déjà subi une *illuviation* considérable. C'est pourquoi les "Aubues rouges" présentent sensiblement le même aspect que les horizons profonds des "solums complets". Après cette dernière phase de troncature, les évolutions pédogénétiques se sont mises à diverger selon le degré d'érosion et selon que les sols aient été mis en culture ou non. Les "petites Aubues" et "Aubues rouges" se sont trouvées et sont demeurées dans une ambiance calcique. Seuls les "solums complets" demeurés constamment sous forêts permettent d'observer la tendance évolutive actuelle :

désaturation croissante du complexe adsorbant et *acidification*, s'accompagnant parfois d'un début de "dégradation" (PEDRO *et al.*, 1978) du sommet des horizons BT. Ce dernier processus, bien visible sur lames minces, se caractérise par la disparition du plasma argileux et ferrique dans de petits volumes centimétriques (BAIZE, 1972b).

### III. LES ARGILES A CHAILLES

RAULIN et LEYMERIE (1858) décrivent cette formation comme un "sable argileux jaune ou rouge, dans lequel se trouve une très grande quantité de silex rubannés... en fragments anguleux occasionnés par le brisement des lits de 5 à 10 cm d'épaisseur qui existent dans les parties supérieures de la Grande Oolithe".

En 1912, P. LEMOINE consacre une note à des "argiles à chailles non roulées" qu'il considère comme des "argiles de décalcification". Les cartes géologiques à 1/80.000 Nevers et Clamecy utilisent la notation J barré = "jurassique décalcifié". La carte géologique à 1/50.000 Avallon (1966) sous-estime complètement l'extension de cette formation, notée "limon des plateaux". La carte Vermenton (1971) mentionne les "argiles à chailles" sous le symbole B vers l'est (comme les "Terres d'Aubues") et mp à l'ouest, ne marquant pas la différence avec les alluvions très anciennes mio-pliocènes. Sur la feuille Courson (1972) elles sont notées B, mais la notice fournit un certain nombre de détails concernant des "limons à chailles".

La seule étude dont nous ayons connaissance est le DEA de LUCOTTE (1978) consacré aux "argiles à chailles" de la région de Nevers (donc à plus de 40 km au sud-ouest du secteur étudié dans cet article). Selon cette étude, les silexites rencontrées sont des chailles, des calcaires silicifiés et des fossiles silicifiés (fossiles datés du Bajocien jusqu'à l'Oxfordien). Il n'y a pas de matériel issu des massifs cristallins voisins. Dans les fractions sableuses, les associations de minéraux lourds révèlent l'existence d'un cortège albien. Les fractions < 2 µm contiennent 90 % de kaolinite associée à de la goethite. Pour ces deux fractions, il n'a pas été observé de différences significatives entre la base et le sommet des coupes étudiées.

#### A) PRESENTATION GENERALE

##### 1. Localisation géologique - extension

La cartographie des sols de l'Yonne a progressé du nord-est vers le sud-ouest. Les premières formations à chailles ont été rencontrées localement près de Châtel-Gérard. Puis en ont été observées de vastes superficies sur les feuilles Vermenton, Avallon, Courson et Clamecy (figure 1). Les "argiles à chailles" se prolongent dans la Nièvre où elles représentent des surfaces considérables.

L'existence de formations superficielles épaisses contenant des chailles est strictement liée à l'apparition d'un faciès à chailles litées à la partie supérieure du Callovien (au sud-ouest d'Étivey) puis à l'apparition d'un nouveau faciès de l'Oxfordien moyen ("calcaires à chailles") au sud-ouest de la Vallée de la Cure. La corrélation cartographique est très étroite, notamment à Brosses où l'émergence du Callovien au pied des buttes récifales entraîne aussitôt l'apparition d'"argiles à chailles". Plus à l'est, existe une autre corrélation triple entre Callovien à chailles, sols profonds acides à chailles et grand massif forestier d'Hervau et du Val-de-la-Nef.



La situation géomorphologique habituelle est celle de plateaux un peu ondulés, avec des pentes faibles, en positions protégées de l'érosion. Mais on rencontre des formations à chailles également sur des versants assez fortement pentus (Bois des Perruches à l'ouest de Montillot, flanc nord-est de la butte de Rochignard, etc.).

## 2. Les différents solums développés dans les "argiles à chailles" (figure 4)

Seule a été étudiée la partie supérieure de cette formation (1,2 à 2,0 m) alors que son épaisseur est beaucoup plus grande (3 à 6 m). Cela a permis cependant d'observer la différenciation d'horizons pédologiques contrastés et de mettre en évidence, à nouveau, une toposéquence de sols liée à des degrés croissants de troncature.

Lorsque la couverture pédologique n'a pas été tronquée, les solums débutent par des horizons supérieurs franchement limoneux de teintes claires (horizons A et E) avec, en général, de nombreuses chailles de toutes dimensions et de différents aspects. Des horizons véritablement argileux ne sont atteints qu'à des profondeurs de l'ordre de 50 à 70 cm. Ces horizons, très bien structurés, montrent de nombreux revêtements argileux orangés ou rougeâtres, sur les faces des agrégats et sur les cailloux de chailles (horizons BT).

A proximité des petits vallons qui entaillent les plateaux, l'érosion a pu jouer et les solums sont tronqués : les horizons argileux sont proches de la surface ou bien sont visibles dès la surface.

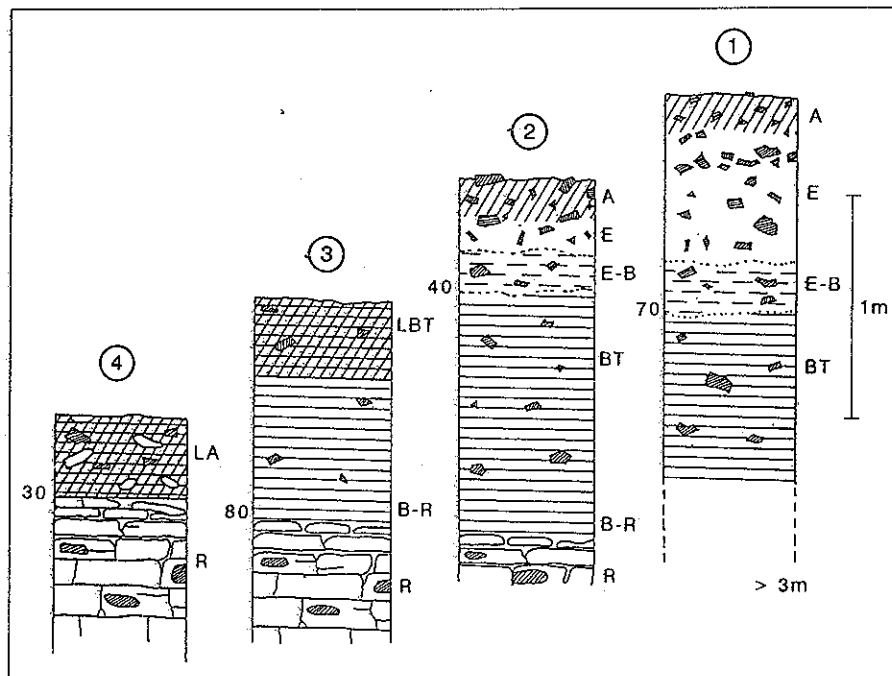


Figure 4 : Les Différents solums développés dans les "argiles à chailles".  
 Les solums 3 et 4 (les plus tronqués) n'existent qu'en bordure de plateau et représentent de faibles superficies.  
 Les solums 1 et 2 couvrent la majeure partie des plateaux.  
*Different kind of soils developed from the "clays with cherts".  
 The most truncated solums (4 and 3) are only found on the edge of the plateaux. They occupy minor areas.  
 Solums 1 and 2 extend over most of the plateaux.*

### 3. Constituants, granulométrie, couleurs

- Les *éléments grossiers* (> 2 mm) sont presque exclusivement des chailles, litées ou non, massives et denses ou poreuses et légères. On trouve assez souvent quelques graviers ferrugineux mais on ne rencontre ni gravillons de quartz ni fragments de "Lias silicifié" <sup>2</sup> comme c'est le cas dans les alluvions anciennes mio-pliocènes. Les chailles sont présentes en quantités très diverses, avec des dimensions variables depuis le petit gravier jusqu'au bloc de plusieurs kilos. En règle générale, elles sont plus abondantes (5 à 50 %) et beaucoup plus fragmentées dans les horizons supérieurs E que dans les horizons argileux plus profonds (0 à 20 %). Il s'agit toujours d'éléments anguleux.

En outre, dans ces horizons supérieurs limoneux, les graviers et cailloux poreux présentent presque toujours un cortex noir d'épaisseur millimétrique qui semble résulter d'une imprégnation par du fer et du manganèse. Dans les horizons argileux profonds, les chailles n'ont pas de cortex noir mais supportent souvent des revêtements argileux orangés ou rougeâtres.

- *Teneurs en argile :*

16 à 25 % pour les horizons A et E (limoneux ou limono-argileux) ; 43 à 80 % pour les horizons BT (ou FSj). Les teneurs en argile vont croissant avec la profondeur. Un échantillon prélevé à quelques centimètres au-dessus de la roche sous-jacente (horizon BT-R) contient 93 % d'argile.

- *Squelettes granulométriques - homogénéité verticale :*

La fraction LF est toujours nettement supérieure à LG (rapports LF/LG variant entre 1,3 et 2,2). Mais, d'un site à un autre, les sables varient largement (SF de 3 à 37 %, SG de 5 à 38 %), SF et SG restant toujours du même ordre de grandeur.

Dans la plupart des sites, les squelettes granulométriques demeurent voisins d'un horizon à l'autre, indépendamment de la teneur en argile : c'est là un argument en faveur de l'unicité du matériau dans lequel s'est développé le sol. Mais il existe quelques rares cas, où les teneurs en SF, SG et la charge en chailles changent complètement d'un horizon à l'autre, une quasi-absence de chailles allant de pair avec de faibles teneurs en sables totaux.

- Le fer total élémentaire représente 1,5 à 4,5 % dans les horizons E et 4,8 à 8,8 % dans les horizons argileux, soit un rapport Fe/Argile constant égal à 0,102 quel que soit le type d'horizon. En outre, le fer "libre" représente la quasi-totalité du fer total (rapport Fe libre/Fe total = 0,94 en moyenne). Il ne reste plus de fer dans les réseaux cristallins des minéraux, qu'il s'agisse de tecto- ou de phyllosilicates.

- *Minéralogie de la fraction argile :* dans les horizons argileux, la kaolinite bien cristallisée représente de 30 à 50 % de la fraction < 2 µm. Des illites sont également présentes ainsi que des interstratifiés illites-smectites faiblement gonflants. Les CEC rapportées à 100g d'argile montrent qu'il existe deux sous-ensembles : l'un à 17 mé et l'autre à 25 mé. Tout le fer présent est sous forme de goéthite (12 à 20 %) qui est associée aux minéraux argileux.

(2) Suite à des remontées hydrothermales le long des failles qui délimitent le horst du Morvan, les assises inférieures du Lias ont été localement silicifiées. Dans toutes les alluvions de rivières originaires du Morvan, on trouve des cailloux bruns de ce "Lias silicifié"