



HAL
open science

Les terres à pisé du Forez : étude d'une formation corrélative.

Alain Le Griel

► **To cite this version:**

Alain Le Griel. Les terres à pisé du Forez : étude d'une formation corrélative.. Revue de Géographie de Lyon, 1975, volume 50 (n°3), pp. 211-252. halshs-00769137

HAL Id: halshs-00769137

<https://shs.hal.science/halshs-00769137>

Submitted on 28 Dec 2012

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

LES « TERRES A PISÉ » DU FOREZ :

Etude d'une formation corrélative ¹

par Alain LE GRIEL

L'utilité de l'étude des formations corrélatives n'est plus à démontrer en géomorphologie : c'est sur elle que reposent aujourd'hui la plupart des reconstitutions paléogéographiques. Cependant, pour être des outils efficaces dans la difficile découverte des événements morphologiques passés, les formations corrélatives n'en sont pas moins d'interprétation délicate, des apparences simples cachant souvent une réalité complexe.

La plaine du Forez illustre à la fois l'intérêt représenté par ces formations et les problèmes qu'elles soulèvent. Dans le cadre du Massif Central, leur intérêt évident : bassin effondré à la fin de l'oligocène, le Forez a « piégé » les sédiments issus de l'érosion du socle depuis cette époque ; il est donc un lieu privilégié, tout comme les Limagnes et les autres compartiments affaissés de la bordure orientale, pour des recherches sur l'évolution morphologique du plateau central français. Malheureusement les difficultés commencent ici bien avant les problèmes d'interprétation, avec la simple reconnaissance de ces formations : les sédiments foréziens sont constitués, à de rares et remarquables exceptions près, par des mélanges argilo-sableux, qu'ils appartiennent à la grande phase de sédimentation oligocène ou qu'ils soient le fruit de l'évolution postérieure. Cette ressemblance empêche une individualisation nette des uns et des autres.

Parmi les jalons sédimentaires du Forez, il en est un particulièrement intrigant. Il est connu des habitants de la plaine eux-mêmes sous le nom de « Terres à pisé », tout simplement parce qu'il a fourni d'importantes quantités de matériaux destinés à la construction. Reconnues très tôt dans leur extension, depuis Gruner (1857) on sait que ces « terres à pisé » recouvrent tout l'espace compris entre la Loire et les Monts du Lyonnais², elles n'ont cependant jamais fait l'objet d'une étude systématique, malgré leur intérêt, la valeur des chercheurs qui ont étudié cette région, ou l'importance des moyens mis à leur disposition.

1. Cet article est en partie tiré d'un mémoire de maîtrise soutenu en 1970 s'intitulant *La partie orientale du Forez - Etude géomorphologique*, Université de Saint-Etienne. Il s'intègre dans le cadre d'une étude plus vaste sur « le quaternaire dans la plaine du Forez », sujet d'une thèse de troisième cycle.

2. Soit environ cent-cinquante kilomètres carrés.

I. — LES HYPOTHESES FORMULEES SUR L'ORIGINE DES « TERRES A PISE »

Il est bon, afin de situer les problèmes posés par cette formation, de rappeler quelques hypothèses émises à leur propos.

— Gruner³, auteur de la première mise au point concernant la géologie forézienne, a reconnu sur toute la rive droite de la Loire « des sables plus ou moins grossiers et caillouteux avec quelques argiles ferrugineuses et grossières » semblables à ceux que l'on rencontre sur la bordure occidentale de la plaine, dans la région de Montbrison. Pour lui, il s'agit d'un étage supérieur horizontal de quelques mètres d'épaisseur, terminant la sédimentation tertiaire et ayant disparu du centre de la plaine à la suite du creusement de la Loire. Il attribue à ces dépôts argilo-sableux un âge Miocène; il les met en parallèle avec les dépôts faluniens du sud du Bassin parisien.

— Le Verrier⁴, à qui nous devons la première édition de la carte géologique, a contesté l'interprétation de Gruner en affinant l'observation des dépôts de la partie orientale de la plaine: « Au pied des Monts du Lyonnais, les alluvions⁵ se composent surtout d'argiles maigres (terres à pisé), c'est-à-dire d'argiles mêlées à de nombreux agents extérieurs tels que le quartz ou le mica dont l'effet est de nuire à leur plasticité en les rendant plus ou moins sableuses. Ces argiles considérées par Gruner comme le prolongement des argiles feldspathiques tertiaires qui forment la bordure occidentale de la plaine, ne sont pas semblables à ces dernières; les argiles d'alluvion (= les terres à pisé) sont plus maigres que les argiles tertiaires et ne sont pas stratifiées comme elles ». Après avoir signalé qu'on y aurait trouvé des silex taillés⁶ prouvant leur origine récente, Le Verrier concluait en évoquant la mise en place des terres à pisé: « Il est probable que les alluvions argileuses doivent leur origine au remaniement des argiles tertiaires dont la partie orientale, après avoir été soulevée par une faille, a été détruite par érosion. Les éléments ont été entraînés par les affluents de la Loire et sont venus se déposer dans la plaine ».

Il faut insister sur cette interprétation des « terres à pisé » car elle sert de base à toute une conception de l'histoire géologique forézienne: « les terres à pisé » masqueraient des argiles vertes, quatrième et dernier étage oligocène pour Le Verrier. Cette présence des sédiments les plus récents sur le rebord oriental de la plaine implique une dissymétrie de la sédimentation tertiaire, dissymétrie dans laquelle Le Verrier voyait le résultat de la tectonique: seule une longue faille, ayant soulevé la moitié, ou presque, de la plaine du Forez, pouvait d'après lui expliquer ce phénomène. L'escarpement oriental de la plaine se définirait donc comme un abrupt direct de faille très atténué par l'érosion puisque plusieurs centaines de mètres d'argiles et de sables tertiaires auraient été enlevés.

— Pierre Duclos⁷ a repris tout récemment, à l'occasion d'un thèse d'Etat, l'étude géologique de la plaine du Forez. Disposant de l'appui du laboratoire du C.E.A. et de moyens considérables, il a pu dresser une carte géologique au 1/100 000^e grâce à plusieurs sondages et à huit-mille-cinq-cents (!) affleurements artificiels faits à la tarière à main. Sa position vis-à-vis du problème des « terres à pisé » est quelque peu ambiguë: d'une part son texte

3. L. GRUNER, *Description géologique et minéralogique du département de la Loire*, Imprimerie Impériale, Paris, 1857.

4. LE VERRIER, *Note sur les formations géologiques du Forez et du Roannais*, Bulletin du service de la carte géologique de France, 1890, tome II, n° 15.

5. Conformément aux conceptions de son temps, il désigne ainsi toutes les formations corrélatives.

6. Cette affirmation reposait sur des « ouï-dire » que rien n'a confirmé jusqu'à présent.

7. Pierre DUCLOS, *Géologie et minéralisations uranifères de la plaine tertiaire du Forez*, Rapport CEA: R 3117, 1967.

reprend à peu près telles quelles les idées déjà émises par Le Verrier, d'autre part sa carte ne leur réserve aucune place. P. Duclos précise en effet que les dépôts argilo-sableux de la rive droite auraient une épaisseur très faible. Ce détail est particulièrement intéressant puisque ni Gruner, ni Le Verrier n'avaient donné une idée de celle-ci : « il est pratiquement impossible de déterminer la puissance de ces formations » écrit-il « Aucune coupe n'en est visible puisqu'elles se trouvent toujours au fond du lit des rivières. Aucun sondage n'en a traversé. Elles doivent rarement dépasser deux mètres ; mais dépassent souvent un mètre puisque les trous à la tarière n'ont ramené la roche tertiaire en place qu'environ une fois sur trois ».

— François Tomas⁸, auteur de la plus récente mise au point sur la plaine, a lui aussi évoqué le problème. Il est le premier à avoir établi une description précise des terres à pisé puisqu'il y a reconnu non plus un, mais deux faciès :

— le premier faciès recouvre, au sud, la région de Veauche ; il s'agirait d' « un dépôt peu épais (rarement plus d'un mètre) où un matériel mal classé, non émoussé, est emballé dans un liant argileux rare et peu évolué, le tout étant parsemé de blocs de granite souvent pourris semblables à ceux qui affleurent dans les Monts du Lyonnais ».

— le second, qui se rencontre au nord de la Coise, serait un épandage assez comparable ; la seule différence serait d'une part un accroissement de la teneur en argile et de l'épaisseur (jusqu'à trois ou quatre mètres) et d'autre part une évolution dans la nature du matériel grossier en fonction des affleurements rocheux des Monts du Lyonnais. Il conclut de la manière suivante : « la nature du matériel (hétérométrie, absence d'émoussé, faiblesse de l'altération) permet d'attribuer les aplanissements qu'il recouvre à des processus périglaciaires qui auraient modelé, au pied de l'escarpement de ligne de faille⁹ des Monts du Lyonnais, des glacis, tout autant par rabotage des bosses que par un colmatage des creux, en particulier ceux des anciennes vallées ».

On peut résumer les différentes conceptions que nous venons d'examiner de la manière suivante :

— il s'agit pour Gruner d'un dépôt terminant la sédimentation tertiaire ;

— Le Verrier y voit des dépôts pliocènes ou quaternaires provenant de la destruction par l'érosion de sédiments tertiaires situés à l'est du Forez et vigoureusement soulevés par une faille post-oligocène ;

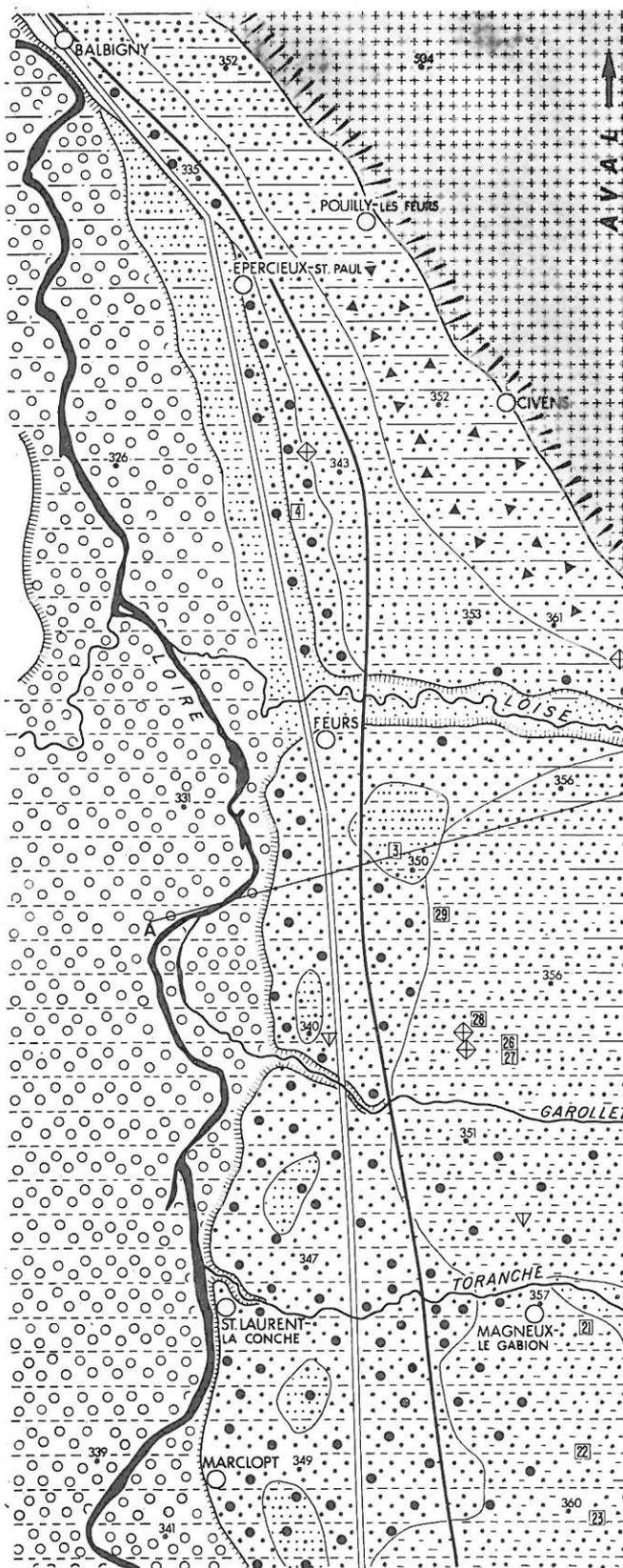
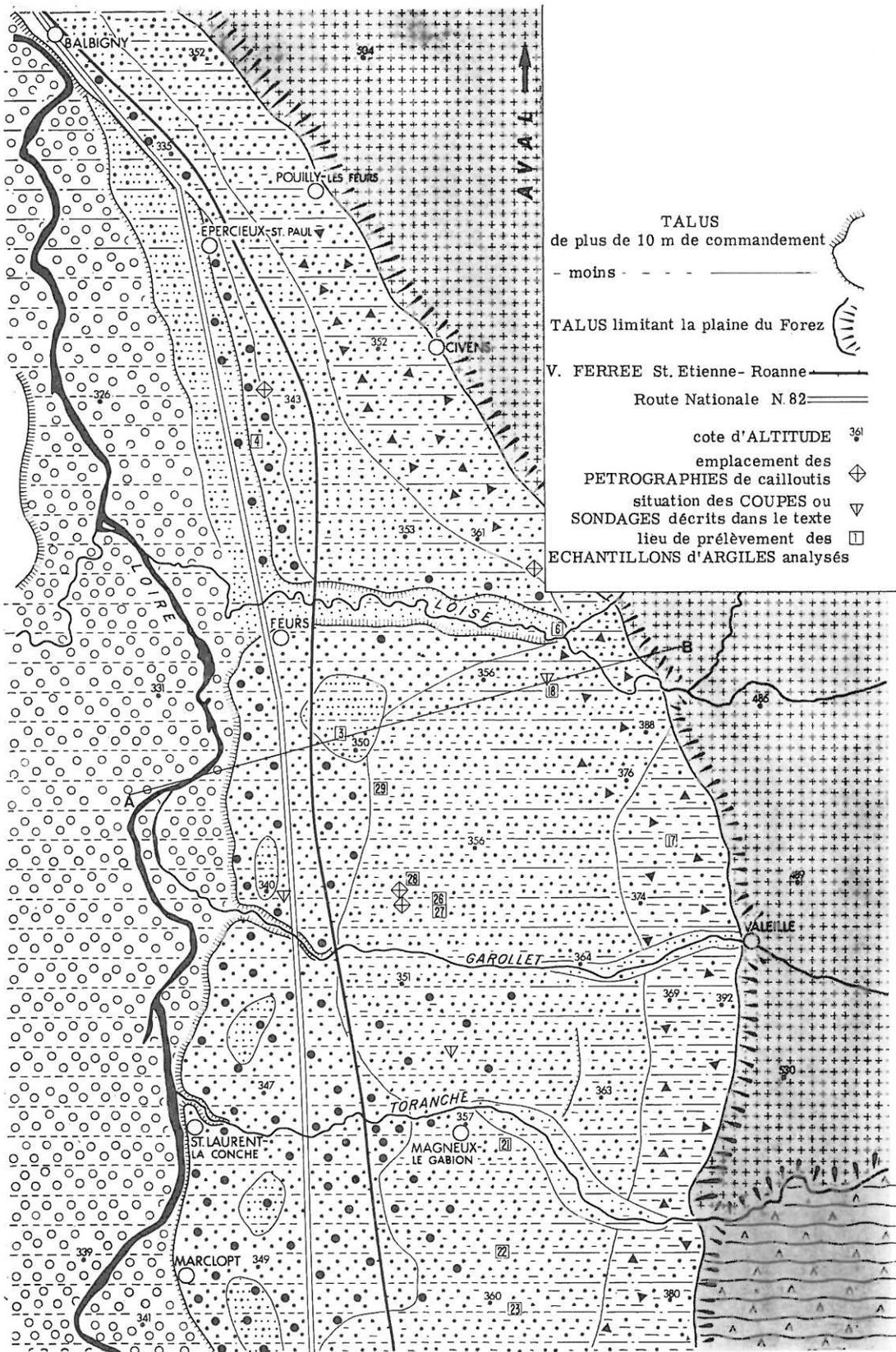
— Pierre Duclos reprend le même schéma tout en pensant que ces formations seraient assez minces pour laisser apparaître le substratum tertiaire et en particulier les argiles vertes terminant la sédimentation tertiaire ;

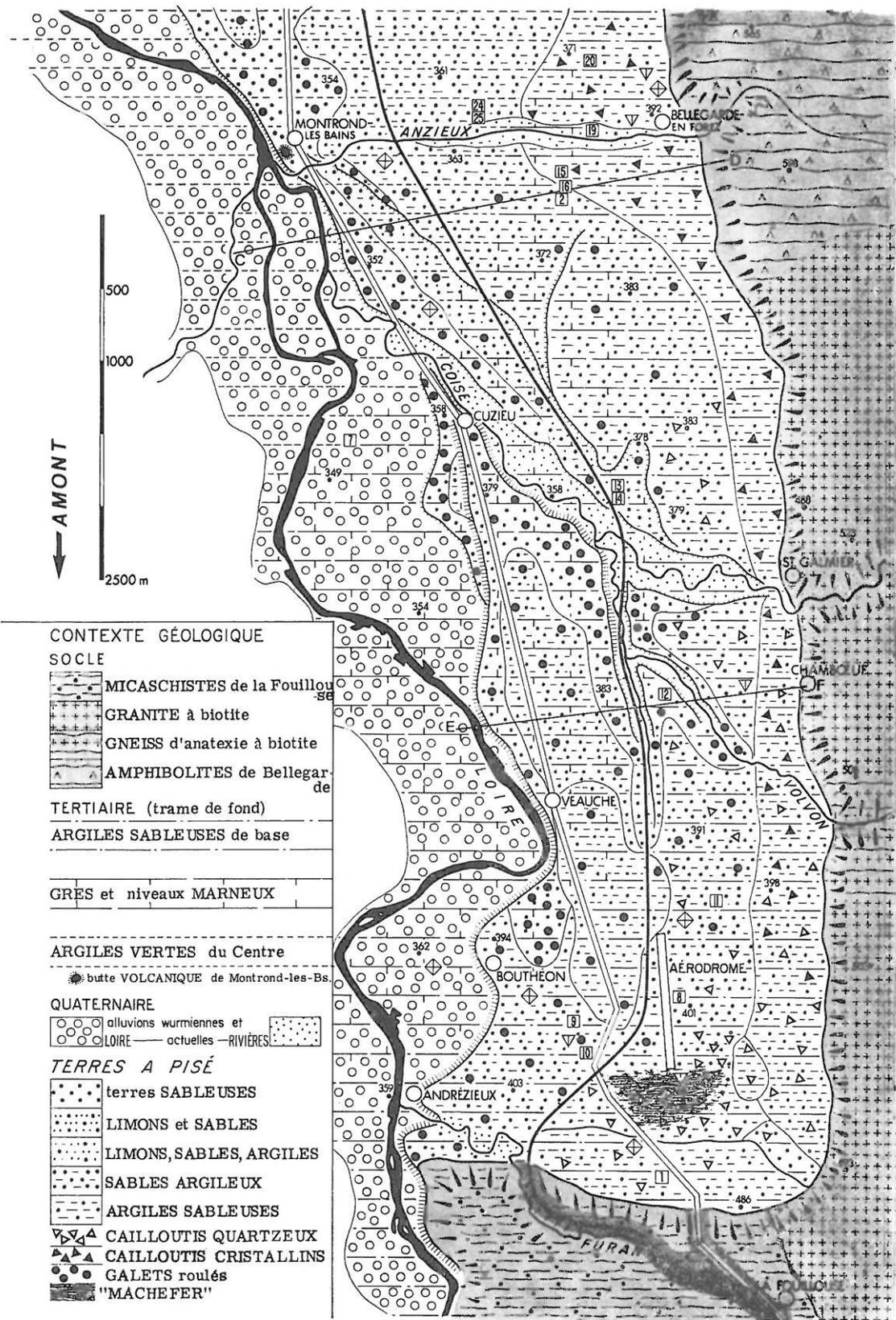
— François Tomas enfin opère certaines distinctions au sein de l'épandage des « terres à pisé » qui lui semblent être des dépôts plus ou moins épais d'origine périglaciaires et d'époque quaternaires.

Tertiaires pour les uns, quaternaires pour les autres, dépôts lacustres ou dépôts fluviaux, alluvions ou coulées boueuses, il est bien difficile de dégager la « personnalité » des « terres à pisé » au travers d'interprétations divergentes. L'essentiel de notre travail consistera à étudier ces sédiments afin d'éclairer la genèse de ces dépôts et de souligner leur rôle dans l'histoire morphologique du Forez. Auparavant nous devons toutefois rendre compte de nos observations sur le terrain.

8. François TOMAS, *Le relief et les sols de la plaine du Forez*, Centre d'Etudes Foréziennes, 1971.

9. F. Tomas conteste en effet la définition du talus oriental telle qu'elle résulte des conceptions de Le Verrier. Il ne croit pas à une faille qui aurait coupé en deux la plaine.





AMONT
↓

500
1000
2500 m

CONTEXTE GÉOLOGIQUE

SOCLE

- MICASCHISTES de la Fouillouse
- GRANITE à biotite
- GNEISS d'anatexie à biotite
- AMPHIBOLITES de Bellegarde

TERTIAIRE (trame de fond)

ARGILES SABLEUSES de base

GRES et niveaux MARNEUX

ARGILES VERTES du Centre

butte VOLCANIQUE de Montrond-les-Bs.

QUATÉNAIRE

- alluvions wurmiennes et actuelles
- LOIRE — actuelles — RIVIÈRES

TERRES A PISÉ

- terres SABLEUSES
- LIMONS et SABLES
- LIMONS, SABLES, ARGILES
- SABLES ARGILEUX
- ARGILES SABLEUSES
- CAILLOUTIS QUARTZEUX
- CAILLOUTIS CRISTALLINS
- GALETS roulés
- "MACHEFER"

Fig. 1. — Carte générale de la partie orientale de la plaine du Forez

II. — DES REALITES DIVERSES

Nous définirons les « terres à pisé » comme un mélange de sables et d'argiles, accompagnés parfois de quelques cailloux, formant un horizon d'épaisseur variable sur toute la partie orientale de la plaine du Forez, au-delà de la balme qui marque les limites de la plus récente terrasse de la Loire ; elles recouvrent partout des sables et des galets. Cette définition volontairement vague correspond au terme de « terres à pisé », lui-même très général. Il apparaît en effet à l'observateur que ce nom cache, derrière certaines constantes, des réalités diverses.

1) LA TOPOGRAPHIE ¹⁰

La rive droite de la Loire, pour être la partie la moins confuse de la plaine, n'en est pas pour autant uniforme. Nous distinguerons de part et d'autre de l'Anzieux, qui traverse le secteur étudié entre Bellegarde et Mont-rond-les-Bains, deux régions au relief différent :

— Un premier ensemble correspond au sud à des niveaux étagés. Le plus important d'entre eux forme un vaste « plateau » ¹¹ — les habitants de Saint-Galmier l'appellent d'ailleurs ainsi — d'environ cinquante kilomètres carrés. Son altitude est assez constante, elle s'abaisse d'une vingtaine de mètres seulement (400 m à 380 m) sur ses treize kilomètres de longueur. Sa planéité est presque parfaite, elle n'est troublée que par l'incision de la Coise — divisant le plateau en deux parties — et de quelques rares cours d'eau comme le Volvon. Il domine au nord-ouest, vers Cuzieu, deux replats situés l'un vers 355 mètres d'altitude, l'autre vers 365 mètres et séparés par des talus plus ou moins marqués.

— Le système de replats s'estompe puis disparaît à partir d'une ligne coïncidant avec le cours de l'Anzieux. Toute la rive droite de la Loire comprise entre les Monts du Lyonnais et la balme marquant les limites du lit majeur du fleuve se résout alors en une longue et très faible déclivité de forme concave que l'on peut qualifier du terme descriptif de « glacis » ¹². La pente longitudinale de cet ensemble est nulle, sa pente transversale atteint un pour cent en moyenne. A l'exception de la Loise, les maigres cours d'eau venus des Monts du Lyonnais n'entaillent ce glacis qu'à proximité du talus occidental.

Le problème qui se pose est de savoir s'il y a une parenté entre ces ensemble topographiques et les épandages qui les recouvrent. C'est pourquoi nous analyserons successivement les dépôts de surface des niveaux étagés, puis ceux du glacis de Feurs.

10. Voir la carte et les coupes jointes à cette étude.

11. Pour la commodité de l'exposé nous dénommerons cette unité : « plateau de Veauche » du nom de la plus importante localité qui s'y trouve.

12. Nous baptiserons cette partie « glacis de Feurs ».

2) DESCRIPTION DE QUELQUES COUPES DE SONDAGES CARACTÉRISTIQUES

Comme le souligne Pierre Duclos, la difficulté majeure rencontrée dans l'étude des « terres à pisé » est l'absence de coupe naturelle. Pour résoudre ce problème il existe deux solutions complémentaires :

— d'abord la recherche de coupes artificielles : la vague de construction qui déferle depuis une dizaine d'années sur le sud de la plaine nous a beaucoup aidé, de même que les multiples campagnes d'adduction d'eau engagées par les autorités départementales. Mais la présence de nombreuses mares creusées par les agriculteurs pour abreuver leur bétail, et souvent profondes de un à deux mètres, permet une première approche de la question lors de la baisse du niveau de la nappe phréatique ;

— ensuite l'analyse des résultats des nombreux sondages effectués pour les recherches d'eau potable par la Direction Départementale de l'Agriculture.

A - Les « terres à pisé » des niveaux étagés

A l'extrémité méridionale de la plaine, au pied de la pente qui raccorde le plateau de Veauche au seuil de La Fouillouse et qui sépare le Forez du bassin primaire Stéphanois, on rencontre entre la voie ferrée Saint-Etienne-Roanne et l'escarpement des Monts du Lyonnais un sol aux éléments hétérométriques. Ceux-ci vont des argiles aux cailloux, voire aux blocs. C'est indiscutablement cette fraction grossière qui caractérise le mieux les dépôts de cette zone ; elle est formée surtout de cailloux quartzeux qui n'ont pas tous le même aspect : certains, les plus nombreux, ont une apparence opaque, ils sont de couleur brun-rouge et de forme anguleuse, les autres sont au contraire plus ou moins arrondis, blancs ou translucides. A ces cailloutis sont mêlés quelques fragments, parfois de la taille des blocs, d'une brèche réunissant dans un ciment noir des quartz rouges anguleux semblables à ceux observés en surface.

Une coupe (altitude 405 mètres) visible en bout de piste de l'aérodrome de Bouthéon (canal de drainage profond de un mètre) montre la succession suivante :

- 0-20 cm : terre argilo-sablo-graveleuse avec cailloutis quartzeux (ici surtout quartz rouges) ;
- 20-60 cm : horizon concrétionné constitué par la brèche dont on rencontre des fragments en surface.
- 60-80 cm : couche argilo-sableuse de couleur ocre clair avec passées argileuses et quelques rares cailloux quartzeux.

— Au-delà de l'aérodrome et sur toute l'étendue du plateau de Veauche, située à l'ouest de la voie ferrée, on passe à un sol sableux plus ou moins argileux. Malgré l'absence de graviers, on est frappé par la présence de gros éléments, très différents de ceux rencontrés à l'extrémité méridionale du plateau : il s'agit ici de cailloux parfaitement roulés et de natures diverses. Rares en certains endroits, leur quantité augmente à l'occasion des quelques rares vallons qui entaillent le plateau — vallée de Volvon par exemple. Un accroissement de la teneur en sable de l'horizon superficiel correspond en général à l'augmentation du nombre des galets.

Le sous-sol de cette partie du plateau est presque partout comparable à celui observé dans les nombreuses coupes de la zone industrielle d'Andrézieux-Bouthéon (altitude 395 m).

- Sur le sol : cailloutis assez nombreux composés d'éléments de taille moyenne (3 à 6 centimètres) très émoussés ;
- 0 à 25 cm : terre végétale à texture sableuse avec quelques éléments grossiers incorporés et de très rares graviers ;
- 25 à 60 cm : horizon argilo-sablo-graveleux brun avec des petites concrétions noires et brun foncé ;
- 60 à 100 cm : horizon argileux assez clair à structure prismatique avec quelques taches de rouilles ;
- 100 à 200 cm : galets mélangés à des sables argileux — ceux-ci peuvent former de véritables poches d'où sont absents les galets.

— A l'est de la vallée du Volvon et tout au long de l'escarpement des Monts du Lyonnais de part et d'autre de la vallée de la Coise, l'aspect des « terres à pisé » évolue : les galets disparaissent pour faire place à d'assez rares cailloux anguleux, le sol devient un peu plus argileux surtout au-delà des cinquante premiers centimètres comme le montrent plusieurs mares. Aucune coupe ne permet malheureusement de décrire avec précision ces dépôts qui ont été par contre traversés par plusieurs sondages.

Nous citerons pour illustrer les résultats de ces sondages celui obtenu au lieu-dit Le Bécot (altitude 392 m, x : 754 ; y : 66) : 0-60 cm : terre végétale ; 60-140 cm : argiles gris clair à taches rouilles ; 140-320 cm : argiles sableuses grises ; 320-400 cm : sables grossiers d'origine cristalline ; 400-600 cm : sables beiges à ciment argileux ; 600-800 cm : sables 80 % et graviers 20 % ; 800-940 cm : sables 70 %, graviers 15 % et galets 15 % ; 940-1 050 cm : sables 60 %, graviers 15 % et galets 25 % ; 1 050-? : argiles sableuses rouges.

On constate une très nette augmentation de l'épaisseur des « terres à pisé » puisque l'horizon de sables et de galets que l'on retrouve ici, à la base des « terres à pisé », comme partout ailleurs sous le plateau de Veauche, n'est plus situé vers un mètre de profondeur mais à plus de six mètres !

— A la différence des « terres à pisé » que nous venons de décrire, celles qui recouvrent les deux niveaux inférieurs de la région de Montrond-les-Bains, sont très peu épaisses. Nous ne pouvons même pas parler de « terres à pisé » pour le niveau inférieur : les sables et les galets étant à peine masqués par une terre végétale à texture limono-sableuse. Par contre au sud de l'Anzieux, à l'est du petit talus qui vient mourrir au pied de la butte volcanique de Montrond, un dépôt recouvre le substratum mais il diffère peu de celui que l'on rencontre au centre du glacis de Feurs.

B - Les « terres à pisé » du glacis de Feurs

En dehors des cailloutis purement quartzeux, on retrouve au nord de l'Anzieux les mêmes types d'épandages grossiers ; on y reconnaît pareillement les principales catégories de « terres à pisé » répertoriées sur le « plateau de Veauche ». Mais l'agencement des uns et des autres est ici différent.

A la mosaïque assez confuse du sud de la plaine fait place une répartition ordonnée en trois longues bandes méridiennes.

— Tout au long du talus oriental, des terrains semblables à ceux du plateau de Veauche se poursuivent jusqu'à la Loire : la présence de cailloux anguleux, un sol argilo-sableux, une épaisseur particulièrement forte des dépôts en rappellent les principales caractéristiques. Une première différence entre les deux réside peut-être dans l'extension de ces formations : si au sud

la bande de « terres à pisé » argilo-sableuses se limite à la base immédiate de l'escarpement, ici elle s'élargit parfois de façon remarquable comme à hauteur de Bellegarde-en-Forez. C'est dans cette région qu'il nous a été donné d'observer le mieux ces dépôts grâce à des tranchées d'adductions d'eau. Au bas de la pente une terre végétale assez argileuse est associée à de nombreux cailloux anguleux sur trente ou quarante centimètres. Elle recouvre une épaisse couche — d'au moins deux mètres puisque des tranchées de cette profondeur demeurent à l'intérieur de ce faciès — d'argiles sablo-limoneuses jaunes emballant d'assez rares cailloux. Au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la pente, les cailloux diminuent en surface et le sol devient plus sableux ; celui-ci s'est vraisemblablement formé aux dépens de la couche argilo-sableuse, l'horizon d'éléments grossiers et anguleux ayant disparu.

Un sondage en profondeur, effectué cinq cents mètres à l'ouest de Bellegarde (altitude 383 m), révèle par ailleurs un phénomène nouveau pour ces « terres à pisé » orientales ; il montre une succession d'horizons fins et grossiers : 0-100 cm : terre végétale ; 100-190 cm : petits graviers et sables ; 190-280 cm : argile noire ; 280-430 cm : graviers et gros cailloux ; 430-490 cm : sables ; 490-735 cm : sables argileux rouges ; 735-825 cm : sables rouges et gros cailloux ; 825-960 cm : sables rouges ; 960-1 020 cm : argiles ; 1 020-1 400 cm : sables, graviers et cailloux ; 1 400-1 430 cm : argiles.

Cette superposition de niveaux à granulométrie différente est-elle limitée à la région de Bellegarde ou affecte-t-elle l'ensemble de la bande orientale ? Nous ne possédons pas d'autres sondages dans ce secteur permettant de répondre à cette question.

— Le centre du glacis de Feurs est occupé par un vaste affleurement de sables argileux : c'est sans aucun doute l'ensemble de la rive droite de la Loire le plus délicat à interpréter dans la mesure où il n'est accompagné que de très rares éléments grossiers. La présence de sables et de galets sous ces dépôts est bien difficile à mettre en évidence.

De nombreux sondages effectués à la tarière à main démontrent que les sables argileux masquent des accumulations d'argiles situées entre 40 et 150 centimètres de profondeur. Ces argiles présentent souvent une coloration noire ou gris-bleu, leur plasticité est si grande que nous avouons y avoir longtemps vu des argiles tertiaires. La chance nous a cependant servi lors de la création d'un plan d'eau artificiel au sud-est de Magneux-le-Gabion (altitude 357 m). Une coupe de trois mètres de hauteur a été dégagée et a permis d'observer la succession de deux couches : sous une terre végétale de quelques centimètres d'épaisseur on remarquait, sur environ un mètre, une zone sablo-argileuse gris-jaune à structure prismatique et à taches emballant quelques très rares cailloux ou graviers, quartzeux pour la plupart ; elle reposait sur une puissante nappe de sables, de graviers et de galets visible jusqu'à la base de la coupe. Cette observation souligne l'opposition fondamentale qui existe entre les terrains sablo-argileux du plateau de Veauche et ceux du glacis de Feurs : si les uns et les autres recouvrent des graves sableuses, seuls les premiers, mêlés à des galets, sont apparentés avec celles-ci. Les seconds, malgré l'existence en certains endroits précis de quelques éléments roulés, forment un horizon indépendant.

— La partie occidentale du glacis est occupée par des terres sableuses jonchées de cailloux roulés : comme pour les niveaux inférieurs de la région

de Montrond, on est ici à la limite d'emploi du terme de « terres à pisé ». On rencontre pourtant dans ce secteur des épandages possédant la principale caractéristique des terres à pisé : une accumulation d'argile dans le sous-sol. Ces épandages sont situés immédiatement à l'ouest de la Nationale 82, au bas d'une courte pente parfaitement visible sur le terrain, mais si estompée qu'on ne peut la qualifier de talus. (Elle n'a donc pas été reportée sur la carte générale).

Ces terrains ont été étudiés dans une mare fraîchement creusée (altitude 344 m) ; le profil présentait de haut en bas : une terre végétale à texture sablo-limoneuse (0-10 cm), des limons sableux fins gris-jaune (10-40 cm), des argiles limoneuses à structure prismatique et à taches rouilles (40-80 cm) et au-delà de 80 centimètres des sables accompagnés de graviers et de galets.

Nous retiendrons au sujet de ces dépôts qu'ils sont, comme les « terres à pisé » centrales du glacier de Feurs, très pauvres en gros éléments.

— Au nord de la Loire, la disposition en longues bandes parallèles se prolonge de la même façon à une exception près : la zone argilo-sableuse du pied de l'escarpement disparaît laissant les terrains sablo-argileux atteindre le socle.

Au terme de cette description, il est déjà possible d'affirmer que les « terres à pisé » ne constituent pas une seule et même formation. Si nous avons regroupé dans la définition donnée au début de ce paragraphe les points communs, il nous faut maintenant insister sur quelques différences essentielles :

— la texture permet d'individualiser au moins quatre types de « terres à pisé » : les types argilo-sableux, sablo-argileux, limono-sableux et sableux. Nous devons signaler que des changements de texture interviennent fréquemment en quelques mètres, rendant toute cartographie à grande échelle presque impossible ;

— l'épaisseur des dépôts différencie deux grands ensembles : à l'ouest de la région étudiée, la hauteur de la couche de « terres à pisé » dépasse rarement un mètre : au contraire à l'est, tout le long du talus, les sondages indiquent une puissance de plusieurs mètres ;

— la fraction grossière varie en quantité et en nature d'un endroit à l'autre ; c'est par elle que nous aborderons l'étude de ces sédiments.

III. — ETUDE DES SEDIMENTS

1) LES CAILLOUTIS

Si les cailloutis ne forment jamais, à eux seuls, de véritables épandages sur la rive droite de la Loire, ils ne méritent pas moins en tant qu'éléments mêlés aux « terres à pisé » une grande attention. Leur présence permet d'aborder en particulier le problème des relations entre les « terres à pisé » et les alluvions anciennes de la Loire.

Nous avons entamé dans le précédent paragraphe l'analyse des cailloutis en distinguant d'après leur forme : d'une part les éléments anguleux, d'autre part les galets. Il nous faut maintenant étudier leur nature et proposer des hypothèses sur leur origine.

— *Les principales natures de roche* : en conformité avec les affleurements entourant la plaine, on rencontre au sein des cailloutis la plupart des roches éruptives et métamorphiques.

Le minéral le plus courant est le quartz, chacune des pétrographies réalisées sur notre secteur en a révélé et il forme souvent plus de 50 % du matériel. Ce fait n'est cependant pas étonnant pour les cailloutis de surface, exposés à une forte érosion physico-chimique.

Parmi les roches grenues c'est indiscutablement le granite qui domine, mais on reconnaît d'autres roches comme la syénite. Les roches microgrenues, les microgranites surtout, sont abondantes au nord de notre secteur. Les roches métamorphiques sont représentées par les gneiss mais aussi par des espèces moins fréquentes comme les amphibolites ou les leptynites. Nous avons confondu ces trois familles dans le tableau reproduit ci-dessous car elles s'accompagnent mutuellement sur le terrain. Une seule pétrographie n'en comporte pas.

Les roches volcaniques, enfin, sont présentes dans plusieurs échantillons. On dénombre parmi elles, en proportion sensiblement égale la phonolite et le basalte.

Tableau n° 1. — Résultats des pétrographies effectuées sur les cailloutis de surface

N°	Situation	% quartz	% roches grenues ou métamorph.	% roches volcaniques	Taille	Forme	Altitude relative par rapport au lit actuel de la Loire
1	Le Bas Rollet : 410 m	100	0	0	3-5 cm	Anguleuse	
2	Bellegarde : 385 m	2	98	0	2-3 cm	Anguleuse	
3	Salt-en-Donzy : 360 m	15	85	0	4-5 cm	Anguleuse	
4	Les Granges : 394 m	54	24	22	5-8 cm	Emoussée	37 m
5	Bouthéon : 396 m	70	20	10	2-3 cm	Emoussée	36 m
6	Les Places : 352 m	46	40	14	2-3 cm	Emoussée	18 m
7	La Barre : 350 m	58	20	22	4-5 cm	Emoussée	17 m
8	Les Cipières : 352 m	28	62	10	4-5 cm	Emoussée	13 m
9	Le Gd Moulin : 341 m	33	57	10	4-5 cm	Emoussée	16 m

Les principales natures de roches regroupées en trois catégories mettent en évidence de grands types de cailloutis. Ceux-ci correspondent à une localisation géographique assez précise.

— *Les cailloutis quartzeux du sud de la plaine* : ce sont les plus homogènes — ils sont uniquement composés de quartz (pétrographie n° 1) — et les plus limités en extension. Nous avons déjà noté que ces cailloutis mêlaient deux « populations » aux aspects différents : de nombreux quartz anguleux plus ou moins patinés par des oxydes de fer et quelques quartz blancs et émoussés.

Ils posent le double problème de leur origine et de leur lien avec les « terres à pisé ». Nous reviendrons plus loin sur cette dernière question pour n'envisager maintenant que la première.

La pente limitant au sud le plateau de Veauche et reliant le seuil de La Fouillouse au Forez est un lieu d'étude privilégié pour les cailloutis car d'une part — fait remarquable — ceux-ci s'y retrouvent et d'autre part des coupes nombreuses et profondes y sont visibles à la suite des travaux effectués pour l'autoroute Saint-Etienne-Clermont-Ferrand. Cette pente concave est un véritable glaciais d'érosion¹³ taillé dans les argiles sableuses de l'étage de base oligocène ; elle est partout recouverte sur quelques dizaines de centimètres de la même formation hétérométrique (des éléments quartzeux sont disséminés dans une matrice argilo-sableuse peu abondante) que celle décrite aux alentours de l'aérodrome de Bouthéon, à l'exception de l'horizon induré. Mais, phénomène que l'on n'observe pas sur le plateau de Veauche, des poches de quartz roulés blancs apparaissent sous ce dépôt, semblant correspondre à d'anciens chenaux. L'explication de ces concentrations de quartz se trouve dans le terme génétique de glaciais donné à la pente : les quartz blancs proviennent des argiles de base dans lesquelles ils sont très dispersés ; c'est le ruissellement, en s'exerçant sur un terrain sans doute mal protégé par la végétation, qui a entraîné les argiles sableuses et concentré la fraction grossière quartzueuse en surface.

Si l'origine d'une partie des cailloutis est ainsi retrouvée, il reste à s'interroger sur la provenance des quartz rougis. Il s'agit d'apports venus de l'amont, puisqu'on voit les épandages de quartz patinés se poursuivre sur les terrains primaires et sur le socle où ils témoignent d'une forte érosion sous climat chaud (mobilisation du fer), remontant peut-être à la fin du tertiaire.

Les cailloutis du sud et les argiles sableuses qui les accompagnent sont donc le résultat du remaniement de deux nappes quartzueuses d'origine différente et de la couche tertiaire de base.

— *Les cailloutis du pied de l'escarpement oriental* : composés de roches grenues ou métamorphiques à plus de quatre-vingts pour cent (pétrographies 2 et 3), ces cailloutis comprennent peu de quartz et aucune roche volcanique. On reconnaît facilement l'origine locale de ces roches : en plus de l'absence totale d'émoussé qui indique un transport sur une courte distance, l'existence sur les bordures de la plaine de faciès très caractéristiques et bien localisés, permet d'identifier la provenance du matériel. A hauteur de Bellegarde par exemple, on retrouve dans les champs les amphibolites visibles dans les grandes carrières de la vallée de l'Anzieux ; de même entre Civens et Pouilly-lès-Feurs des fragments de microgranite rose rappellent les filons de cette roche qui traversent le granite des Monts du Beaujolais.

La faible représentation des quartz, l'altération très limitée des cailloutis — le pourtour des cailloux est en général à peine altéré, la masse intérieure restant saine — démontrent leur caractère récent.

— *Les autres cailloutis accompagnant les « terres à pisé »* : on doit les regrouper par suite de leur parenté ; tous les autres épandages de la partie

13. L'étude de cette forme sera l'objet d'un autre travail.

orientale du Forez ont en commun, en plus de leur forme émoussée, leur composition pétrographique : ils réunissent toujours mais en proportion variable, quartz, roches grenues et métamorphiques, et roches volcaniques. La présence de ces dernières constitue une originalité par rapport aux autres cailloutis ; elle n'est pas surprenante pour autant : les venues basaltiques sont en effet nombreuses dans la plaine du Forez et à sa périphérie où elles se présentent sous forme de pointements d'un basalte très noir et compact contenant de rares nodules d'olivine.

L'étude de ces galets est de première importance pour comprendre les événements qui ont façonné le relief de la rive droite de la Loire. Ils sont manifestement issus des formations sablo-graveleuses sur lesquelles reposent presque partout les « terres à pisé » : retrouver la provenance des uns revient à déterminer l'origine des autres.

Le problème ne se pose pas de savoir si ces galets correspondent à la fraction grossière d'alluvions. Leurs indices d'émoussé et d'aplatissement comparés aux indices des alluvions actuelles de la Loire suffisent à prouver cette parenté¹⁴.

Il nous faut par contre essayer de situer dans l'espace et dans le temps la ou les rivières qui les ont déposés. Pour la plupart des chercheurs ces épandages jalonnaient des terrasses quaternaires de la Loire, classées depuis les travaux de Chaput¹⁵, selon leur altitude relative au-dessus du lit actuel. Mais récemment Pierre Duclos a soutenu une thèse contraire : pour lui ces dépôts fluviaux sont interstratifiés dans les couches du quatrième étage¹⁶. Il leur attribue donc le même âge miocène ; les cailloutis parsemant la rive droite proviendraient de l'érosion des formations tertiaires. Avant d'exposer des arguments pétrographiques allant à l'encontre de cette façon de voir, nous voudrions évoquer rapidement le problème soulevé par la présence d'une telle fraction grossière dans le tertiaire Forézien. On voit mal comment ces alluvions pourraient être interstratifiées dans un sédiment uniformément fin qu'elles se soient déposées simultanément ou alternativement avec les argiles : la mobilisation de galets nécessite de toute manière une crise climatique incompatible avec des dépôts exclusivement argileux. Nous croyons d'autre part suffisamment connaître les différentes couches tertiaires pour pouvoir affirmer qu'aucune d'entre elles n'emballerait de fragments de ce volume à une distance aussi grande des Monts du Forez qui devaient être, à l'époque, la principale source d'apports détritiques.

Dans son travail Pierre Duclos qualifie ces cailloutis d'alluvions à basalte, suggérant qu'elles proviendraient de l'attaque par les cours d'eau tertiaires des pointements basaltiques locaux. L'étude des roches volcaniques rencontrées dans les galets ne confirme pas cette hypothèse. Ce n'est pas

14. Voici les résultats obtenus : galets de surface prélevés au sud de Montrond (Meylieu. Altitude : 353 m). Médiane des indices d'aplatissement (sur 100 galets) : 2 ; médiane des indices d'émoussé (sur 100 galets) : 385. Alluvions actuelles de la Loire : médiane des indices d'aplatissement : 2,02 ; médiane des indices d'émoussé : 380.

15. Emile CHAPUT, *Recherches sur les terrasses alluviales de la Loire et de ses principaux affluents*, Annales de l'Université de Lyon, 1917.

16. C'est ainsi qu'il appelle à la suite de Le Verrier les argiles vertes affleurant dans le centre de la plaine.

toujours le basalte qui domine dans les séries analysées mais assez souvent la phonolite, facilement identifiable, lorsqu'on brise le galet, grâce à sa teinte verdâtre et sombre, à sa structure légèrement schisteuse et à sa gangue blanchâtre épaisse d'un ou deux millimètres. La présence de phonolite s'explique uniquement dans le cas de leur dépôt par un fleuve comme la Loire drainant des régions riches en laves de ce type, absentes de la région Forézienne.

La très grande ressemblance morphométrique constatée plus haut, entre ces galets et ceux façonnés par la Loire, une composition pétrographique parfois très proche indiquent clairement que les cailloutis roulés sont en fait des alluvions apportées par la Loire¹⁷.

Il reste à expliquer les différences relevées d'un échantillon à l'autre dans les « spectres » pétrographiques. Ce sont les pourcentages de quartz et de roches grenues ou métamorphiques qui varient le plus. Pour comprendre ce phénomène, on peut invoquer deux raisons :

— l'écart de 16 % existant entre les quartz des échantillons n° 4 et n° 5, prélevés tous deux sur le plateau de Veauche dans des conditions de gisement et d'évolution très semblables, est dû à la différence de taille des galets récoltés. Les quartz qui proviennent de filons et se fragmentent en petits morceaux, sont toujours les plus nombreux dans les petites tailles (2-3 cm : 70 % ; 5-8 cm : 54 %). Il est significatif que le gain enregistré par les quartz soit compensé par une diminution des roches volcaniques qui se débitent en éléments de volume supérieur ;

— mais la principale cause de différence entre les pourcentages pour des tailles comparables est l'altération du matériel : le nombre des quartz augmente alors au détriment de celui des roches grenues, les plus fragiles vis-à-vis de l'érosion, comme le confirme la grande quantité de galets pourris de cette nature.

L'altération des cailloutis et l'augmentation des quartz est à mettre en parallèle avec leur altitude relative au-dessus du lit actuel de la Loire : plus celle-ci est élevée, plus l'importance de la silice est grande. Au contraire le pourcentage des quartz se rapproche de celui des alluvions actuelles lorsqu'on « descend » les trois niveaux du sud ou le glacis de Feurs (voir le tableau n° 1). Seule une différence d'âge entre les dépôts permet d'expliquer ce phénomène.

Quels sont les enseignements que nous pouvons tirer de cette analyse des galets ?

— Les « terres à pisé » semblent en relation étroite, lorsqu'elles sont parsemées de galets, avec des formations alluviales dont elles forment l'horizon supérieur (plateau de Veauche, ouest du glacis de Feurs).

— Ces formations alluviales rencontrées presque partout sous la partie orientale de la plaine n'appartiennent pas aux couches tertiaires comme l'hypothèse en avait été suggérée — ce sont des dépôts de la Loire.

17. Les pétrographies ont donné les résultats suivants : galets de surface des terres à pisé (Meylieu) : 17 % de quartz, 57 % de roches grenues ou métamorphiques, 26 % de roches volcaniques ; galets de surface des alluvions actuelles de la Loire : 10 % de quartz, 65 % de roches grenues ou métamorphiques, 25 % de roches volcaniques.

— Enfin l'âge de ces dépôts n'est pas toujours le même à en juger d'après leur degré différent d'altération. Nous devons étendre cette importante constatation aux « terres à pisé » qui leur sont liées si elles ne correspondent pas à des remaniements postérieurs.

2) LES FORMATIONS ARGILO-SABLEUSES

Sans une analyse détaillée des composants de cette fraction des « terres à pisé », on ne peut espérer comprendre leur mode de mise en place. Cette analyse sera menée suivant les méthodes de la granulométrie, de la pétrographie et de la morphoscopie.

A - *L'apport de la granulométrie*

La granulométrie des sables et des argiles peut paraître d'une utilité limitée dans le cas des « terres à pisé ». Deux raisons justifient ce manque d'intérêt :

— autant les cailloutis étudiés précédemment sont « typés », autant les formations argilo-sableuses se ressemblent les unes les autres ;

— Il est bien difficile par ailleurs d'affirmer que la courbe obtenue avec un échantillon caractérise l'ensemble d'une formation : il n'est pas rare de constater des écarts de 5 à 10 % entre les résultats de deux prélèvements effectués à l'intérieur d'un même horizon.

Cette double évidence conduit à abandonner la méthode classique de la courbe et de l'histogramme et à la remplacer par la construction et l'étude de « fuseaux granulométriques ».

Cette technique, mise au point pour la circonstance, consiste à regrouper les courbes du plus grand nombre possible d'échantillons suivant leur faciès, leur localisation géographique, et leur profondeur de prélèvement. Cette façon d'opérer nécessite un classement des courbes, arbitraire à première vue. En fait celui-ci repose sur une cartographie préalable précise et il connaît lui-même la sanction de la granulométrie : un échantillon est écarté, puis reclassé si sa courbe ne correspond pas au fuseau de la formation à laquelle il avait été rattaché.

Si une pareille technique s'avère particulièrement longue — nous avons réalisé pour l'étude granulométrique des seules « terres à pisé » environ cent cinquante analyses — elle permet d'employer les méthodes classiques de la statistique (histogramme de classement, médiane et autres indices numériques) non plus sur les échantillons isolés et ainsi moins représentatifs mais sur des moyennes obtenues par regroupement de nombreux résultats.

Parmi les huit fuseaux granulométriques établis figure n° 2, trois ne concernent pas directement les « terres à pisé » ; ils servent de point de comparaison. Ils représentent certaines formations de la région qui ont pu jouer un rôle dans l'élaboration des « terres à pisé » : tertiaire, colluvions de pente et « chambons » de la Loire. Nous entamerons notre étude par l'un d'entre eux.

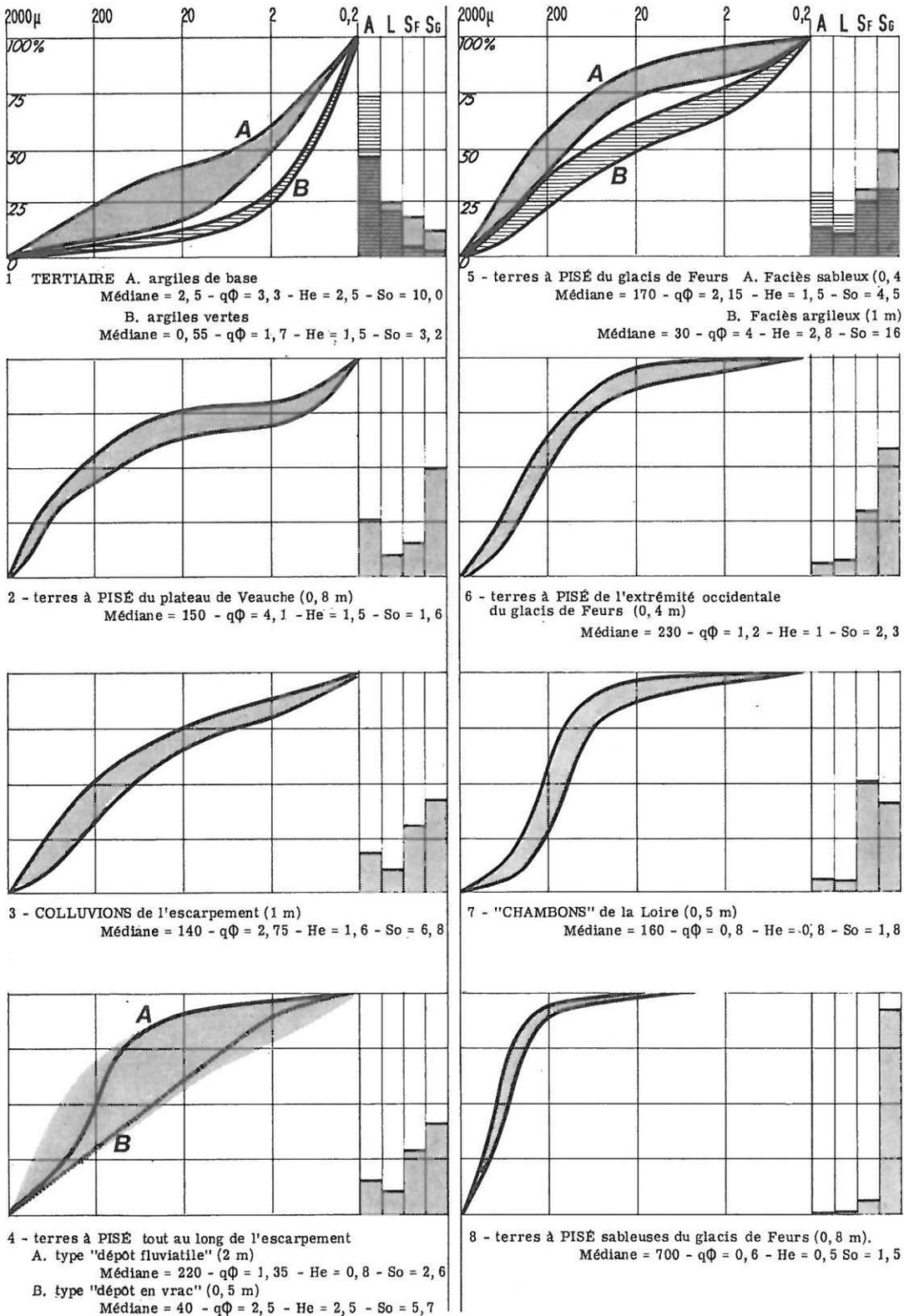


Fig. 2. — *Fuseaux granulométriques*

A, argiles ; L, limons ; SF, sables fins ; SG, sables grossiers.

— *Les formations tertiaires* : les deux couches tertiaires susceptibles d'être confondues avec les « terres à pisé » — argiles sableuses de base et argiles vertes du centre — figurent sur le premier croquis :

— les formations argilo-sableuses du glaciaire de La Fouillouse sont assez bien classées. Quarante-cinq pour cent d'argile et vingt-cinq pour cent de limon constituent l'essentiel du sédiment. Une nette différence les sépare des « terres à pisé » à galets du plateau de Veauche dont la majorité des composants est sableuse ;

— le triage des argiles vertes est encore plus prononcé (qdphi : 1,7 contre 3,3 aux argiles de base). Toute confusion même avec les horizons les plus argileux des « terres à pisé » (fuseau n° 5) est impossible.

Séparées, comme le révèlent coupes et sondages, par une épaisse couche d'alluvions, les « terres à pisé » assurent aussi sur le plan de la granulométrie leur individualité par rapport au tertiaire qu'elles recouvrent. Un argument de plus nous est donc fourni pour contester la cartographie dressée par Pierre Duclos des sédiments de rive droite de la Loire : nulle part le tertiaire n'y est visible à l'exception de quelques talus.

— *Les terres à pisé argilo-sableuses du plateau de Veauche* : elles présentent toute une double analogie : une forte quantité de sables grossiers (50 %) et une bonne concentration en argile (26 %). Les courbes marquent un palier à hauteur des sables fins et surtout des limons ; le qdphi très élevé (4,1) traduit l'importance des fractions extrêmes et la dispersion générale, l'indice d'hétérométrie beaucoup plus faible (1,5) montre à l'inverse le bon classement des seuls sables grossiers. Cette association entre des éléments de taille disparate pose un problème. Les sables supérieurs à deux cents microns ont sans doute la même origine que les galets : les alluvions sous-jacentes ; mais comment doit-on expliquer la présence des argiles et leur mélange avec des sables et des galets ?

La moins plausible des deux hypothèses envisagées est celle d'un apport ultérieur de ces argiles et de leur mélange avec les alluvions soit lors de leur arrivée, soit postérieurement. Nous avons vu qu'un phénomène assez proche était responsable de la formation hétérométrique de l'extrémité méridionale de la plaine. Cependant, si dans ce cas un remaniement sous forme de coulée boueuse ou de colluvionnement était rendu possible par la pente du glaciaire de La Fouillouse, la planéité à peu près parfaite du plateau de Veauche impose une action de l'eau ou du vent, action elle-même incompatible avec le mauvais triage du sédiment.

Nous donnerons notre préférence à une deuxième solution : la fraction fine serait le résultat d'une évolution pédologique « *in situ* » par altération et transformation en argile d'une partie du matériel alluvial. La disparition déjà constatée d'un bon nombre de galets de roches grenues et l'hydrolyse de leurs silicates d'alumine, biotites ou feldspaths, pourraient expliquer la provenance de certaines argiles, mais il nous appartiendra à l'occasion de l'étude pétrographique de préciser leur origine.

— *Les colluvions de pente et les « terres à pisé » du bas de l'escarpement* : elles se succèdent de haut en bas du talus oriental et il était intéressant de les comparer.

Les premières nommées ne sont pas à proprement parler des « terres à pisé », il s'agit de véritables arènes formant tout au long de la pente une couverture d'épaisseur variable. Nous avons choisi pour les désigner le terme de « colluvion » car certains indices prouvent que ces arènes ne sont pas en place : plusieurs coupes montrent, par exemple, les filons de quartz parcourant la roche, tronqués à la base du manteau de colluvion. Pourtant le fuseau granulométrique de ces sédiments — fuseau n° 3 — indique plus l'arénisation qu'un quelconque transport. Une petite quantité d'argile, une importante masse de sables, distribués d'une manière logarithmique, sont les traits dominants d'un fuseau remarquable par son étroitesse, particularité due à une même composition de tous les échantillons analysés.

Comparé à celui-ci le fuseau des « terres à pisé » s'étendant au pied des Monts du Lyonnais est dissemblable — fuseau n° 4 — : c'est le fuseau le plus large que nous ayons obtenu. Mais cette opposition n'est qu'apparente, une étude attentive montre qu'il regroupe deux types de courbes. Les unes sont caractérisées par une grande abondance de la fraction sableuse et elles sont assez redressées ($q_{dphi} = 1,15$; $Hé = 0,8$), conséquence d'un triage par l'eau. Les autres offrent une dispersion maximum ($q_{dphi} = 2,5$; $Hé = 2,5$), elles indiquent une mise en place différente sous forme de transport en vrac. La parenté de ces dernières avec les courbes des colluvions de pente mérite d'être soulignée. Il existe donc bien une relation entre les deux fuseaux, même si elle est masquée par la juxtaposition de plusieurs sortes de dépôts au sein des « terres à pisé ».

La localisation de ces dépôts au bas de l'escarpement n'est pas le fait du hasard : si les échantillons de sédiments mal triés ont été prélevés un peu partout au pied du talus, les dépôts classés se rencontrent seulement aux débouchés des cours d'eau venus des Monts du Lyonnais et en profondeur (cinquante centimètres ou plus). Nous les avons ainsi étudiés dans la région de Valeille (Garollet) et de Bellegarde (Anzieux) où ils paraissent correspondre aux niveaux sablo-graveleux du sondage décrit dans le paragraphe précédent. Ces deux types de sédiment ne s'excluent d'ailleurs pas : c'est leur superposition que nous avons observée dans la tranchée de Bourchanin, hameau situé un kilomètre au nord de Bellegarde, puisque les deux courbes tracées à l'intérieur du fuseau n° 4 représentent la matrice emballant les nombreux cailloux anguleux (courbe logarithmique) et les sables fins ocre-jaune (courbe sigmoïde).

La granulométrie démontre la double mise en place des « terres à pisé » orientales par colluvionnement ou par alluvionnement. Mais dans les deux cas, leur origine se trouve dans les Monts du Lyonnais. Cette constatation nous rappelle les vues de Le Verrier, pour qui les « terres à pisé » étaient les restes d'argiles tertiaires issues des Monts du Lyonnais. Doit-on dès à présent éliminer cette hypothèse parce que les courbes granulométriques, avec leur forte concentration en sable, sont très éloignées de celles du tertiaire ? Le mode de transport ne pourrait-il pas expliquer la différence relevée entre les courbes, le ruissellement ou les cours d'eau entraînant les argiles ? Cette dernière interrogation nous amène à différer toute affirmation à ce sujet.

— *Les argiles sableuses du glacis de Feurs* (fuseau n° 5) : contrastant

avec l'horizon sableux¹⁸ qui les recouvre en surface, les dépôts de la partie centrale du glacis se sont révélés riches en argile ; environ un tiers des particules ont moins de deux microns. Sur l'histogramme de classement, sables grossiers, sables fins, limons et argiles sont presque également représentés, ce qui indique un sédiment très mal classé pour la fraction argilo-sableuse¹⁹. Si le qdphi (4) est comparable à celui des terres du plateau de Veauche, l'indice d'hétérométrie (2,8) est le plus élevé de tous.

L'absence de nappe de cailloutis, le mélange bien proportionné d'argiles et de sables sont autant de facteurs qui rendent délicate une réflexion sur l'origine de ces « terres à pisé ». Malgré la présence de quelques rares galets, elles nous sont apparues indépendantes des alluvions sous-jacentes : il s'agit donc d'un apport postérieur dont le mode de mise en place transparait mal de l'analyse granulométrique. La solution la plus simple est de voir dans cette formation le prolongement des « terres à pisé » du bas de l'escarpement, leur quantité supérieure d'éléments fins s'expliquant par leur situation en aval.

— *Les dépôts sableux de l'ouest et les « chambons » de la Loire* : notre hésitation à parler de « terres à pisé » pour désigner les épandages sableux situés dans la partie occidentale du glacis de Feurs est confirmée par l'étude de leur granulométrie — fuseau n° 8. L'absence totale d'argile dans des échantillons pourtant prélevés à quatre-vingts centimètres de profondeur — c'est-à-dire dans l'horizon le plus argileux des « terres à pisé » — en est la raison déterminante. Le triage excellent de cette formation (qdphi : 0,6 ; Hé : 0,5), proche de celui des sables du lit de la Loire, la présence de très nombreux galets roulés permettent de l'assimiler aux alluvions anciennes de la Loire, alluvions qui n'auraient été recouvertes par aucun dépôt ou n'auraient connu aucune évolution postérieure.

Cette remarque n'est toutefois pas applicable à l'ensemble de l'espace occidental, puisque de véritables nappes de sables fins et limoneux ont été signalées ; elles s'accompagnent d'une raréfaction notable des galets. On peut situer la marge qui sépare nappes sablo-limoneuses et sables grossiers à galets, en comparant sur les fuseaux n° 6 et n° 8 leurs médianes respectives, 250 microns pour les premières contre 0,7 millimètre pour les seconds ! Les autres indices numériques indiquent cependant un classement proche de celui des dépôts sableux (qdphi : 1,2 ; Hé : 0,8), donc une mise en place par l'eau.

L'étude des diverses formations sédimentaires foréziennes montre la ressemblance entre le fuseau de ces sédiments²⁰ et celui obtenu avec les « chambons » de la Loire — fuseau n° 7. On désigne sous ce terme, dans le Forez, les terrains apportés à la fin de chaque crue par la Loire. Ils forment actuellement une couche indépendante des alluvions wurmiennes, très facilement observable dans les nombreuses gravières qui bordent le fleuve ; simi-

18. C'est lui qui figure sur la carte générale. La figure n° 5 regroupe les fuseaux des deux formations.

19. Une courbe regroupant tous les composants des argiles aux blocs présenterait cependant un bien meilleur classement étant donné la rareté des éléments supérieurs à deux millimètres.

20. C'est pourtant la couche supérieure — voir description de la coupe d'Echalon —, la moins fine, qui a fait l'objet d'une analyse. Les prélèvements ont été effectués vers 0,40 m.

lares pour la fraction fine, les deux courbes diffèrent légèrement par l'importance des sables grossiers (58 % contre 40 % pour les chambons). Malgré un apport en éléments de forte taille ou un lessivage de la partie fine du sédiment, ces nappes ont vraisemblablement la même origine que les « chambons » actuels. Elles se seraient peu à peu déposées sur les alluvions anciennes de la Loire à une époque où le lit majeur les englobait.

La granulométrie aboutit à diviser les « terres à pisé » en grands ensembles et à les rattacher à d'autres formations sédimentaires foréziennes : les dépôts du plateau de Veauche seraient liés aux alluvions anciennes, ceux situés à l'est, seraient apparentées aux colluvions du talus oriental et aux arènes des Monts du Lyonnais ; les placages sablo-limoneux jalonnant l'extrémité occidentale rappelleraient enfin les « chambons » de la Loire. La morphoscopie des grains de sable et surtout l'étude pétrographique de la fraction argilo-sableuse vont nous permettre de préciser cette division.

B - Pétrographie et morphoscopie

Si l'observation au binoculaire des grains de quartz compris entre 1 et 2 millimètres de diamètre s'est déroulée rapidement par suite du petit nombre de formes rencontrées, la reconnaissance de la nature des sables et des argiles s'est avérée beaucoup plus complexe.

La recherche des principaux composants des sables a été menée de diverses manières : les micas par exemple n'ont fait l'objet que d'une simple appréciation de leur quantité ; nous avons établi des pourcentages pour le quartz et le feldspath, après coloration de ce dernier, le basalte enfin a été repéré en utilisant un puissant aimant orienté.

L'étude des argiles a été effectuée dans les laboratoires du C.N.R.S. de Caen et de Paris, où une trentaine d'échantillons concernant les plus argileuses des « terres à pisé » ont pu être analysés.

Le rapport quartz-feldspath : d'une façon générale, les pourcentages de quartz ou de feldspath exprimés directement ou sous forme de rapport servent de point de comparaison entre les différents dépôts et permettent de discuter leur degré d'altération, l'ordre de vulnérabilité des minéraux étant connue grâce aux travaux de Goldich.

Une série de résultats étonne ; on doit s'y intéresser même si elle concerne indirectement les « terres à pisé ». Depuis Le Verrier les géologues ont toujours donné le nom de « sables et argiles feldspathiques » aux argiles sableuses de base et chacun a insisté sur l'abondance du feldspath qu'elles contiendraient. Notre surprise a été grande, lors de leur analyse, de ne jamais trouver une majorité d'éléments feldspathiques mais des pourcentages en quartz compris entre quatre-vingt et cent²¹ ! De pareils chiffres confrontés aux rapports beaucoup plus équilibrés rencontrés dans les « terres à pisé » — la teneur en quartz varie entre quarante-quatre et soixante-dix-huit pour cent — sont un argument supplémentaire contre l'hypothèse soutenue par Le Verrier : si les « terres à pisé », étaient issues du tertiaire de base²², le quartz devrait largement dominer.

21. Nous avons étudié une quinzaine d'échantillons prélevés sur la partie méridionale du pourtour de la plaine entre Saint-Galmier (sondage) et Boën-sur-Lignon.

22. C'est évidemment lui qui est concerné par cette conception puisqu'il est l'« étage » le plus épais et aurait été le dernier à être entraîné par l'érosion.

La plupart des dépôts sont bien individualisés par leur quantité en quartz et en feldspath ; les « fourchettes » entre lesquelles sont situés les pourcentages, ne s'écartent jamais de plus de 15 %. Seule une formation associée aux « terres à pisé » s'est signalée par un large éventail de résultats, les rapports variant d'un échantillon à l'autre de 0,8 à 5,4. Cette exception se comprend facilement : les sédiments en question sont des colluvions de pente ; très proches de la roche-mère, elles connaissent d'un lieu à l'autre les mêmes changements de composition que celle-ci.

Le rapprochement des divers résultats montre une double évolution pour les « terres à pisé » orientales du glacis de Feurs. En surface (de 0 à 50 centimètres) le rapport quartz-feldspath qui est voisin de l'unité au bas de l'escarpement passe à 3 pour les prélèvements de la partie médiane du glacis ; à un mètre de profondeur, ce même rapport ne change pas, il reste entre 1 et 1,2. Ce fait correspond pour la zone médiane à une diminution du nombre des quartz de haut en bas du profil. Les forts pourcentages en silice (71 à 78 %) de la couche superficielle du centre du glacis nécessitent une explication ; elle réside dans l'altération du matériel et surtout des feldspaths plagioclasses absents dans de nombreux échantillons. Comparées aux dépôts du bas de l'escarpement, les terres à pisé centrales apparaissent plus altérées en surface ; cette dégradation ne peut être liée qu'à une différence d'âge, leur origine étant semblable. Le faciès très argileux des couches profondes, expliqué plus haut par les conditions de transport, doit également provenir du lessivage et de la concentration dans les horizons inférieurs du sol, des produits de l'altération.

Les pourcentages de quartz relevés pour les « terres à pisé » du plateau de Veauche sont comparables aux précédents : ils sont compris entre 57 et 62 % à un mètre de profondeur et entre 70 et 75 % en surface. Ces résultats ne sont pas conformes aux remarques formulées à propos du glacis de Feurs : il serait normal de rencontrer dans ces dépôts une fraction sableuse encore plus riche en quartz, puisque, par leur altitude, par l'état des cailloutis auxquels elles sont mêlées, les « terres à pisé » du sud de la plaine semblent les plus anciennement mises en place. Nous allons essayer de résoudre ce paradoxe tout en reprenant la discussion sur l'origine des argiles contenues dans le sédiment : les deux problèmes sont en effet étroitement imbriqués.

Une partie du matériel argileux s'est bien créée par transformation des feldspaths, nous nous basons pour l'affirmer sur l'évolution démontrée dans le cadre des « terres à pisé » du glacis de Feurs. Il reste à fournir une explication valable de leur nombre encore important (de 25 à 40 %).

— On aurait pu faire remarquer que les feldspaths du plateau de Veauche et ceux du glacis de Feurs sont représentés par des quantités semblables malgré un temps d'évolution différent à la suite de l'élimination dans un cas comme dans l'autre des feldspaths calcosodiques, le maintien d'un climat tempéré ou froid bloquant l'évolution²³. Malheureusement la présence de feldspaths plagioclasses parmi les sables du plateau élimine cette hypothèse et complique singulièrement le problème.

23. On sait que sous climat chaud, ce sont les feldspaths potassiques qui se révèlent souvent les plus fragiles.

— Dans la mesure où les feldspaths contenus dans les sables ont bien connu une forte altération, la seule solution se trouve dans des apports en minéral « frais », apports apparemment inexplicables, l'étude granulométrique empêchant d'envisager des remaniements postérieurs. C'est donc au sein même des terres à pisé qu'il faut rechercher la source des feldspaths ! Le rappel d'une série de chiffres, sa confrontation avec d'autres pourcentages permet de découvrir cette dernière.

Situation	Profondeur	Quartz	Roches grenues et métamorph.	Roches volcaniques	Taille
Les Granges (rappel)	En surface	54 %	24 %	22 %	5-8 cm
Bouthéon : 396 m x : 751 ; y : 61	3 m	10 %	72 % (dont 30 % pourries)	18 % (dont 6 % pourries)	5-8 cm

Tableau n° 2. — *Pétrographie des alluvions anciennes de la région de Bouthéon*

C'est la destruction, dans les premiers décimètres du sol, de nombreux éléments polyminéraux qui produit l'essentiel de l'argile et l'apparition de nouveaux grains de feldspaths. Les graviers et les galets contenus dans les alluvions se comportent comme une roche-mère, ils s'altèrent par hydrolyse et se transforment peu à peu en véritables « galets mous » dans lesquels on devine encore, grâce à leur texture, les granites, mais on ne reconnaît plus les basaltes. Cette grande fragilité des galets s'explique par l'existence en leur sein de minéraux peu résistants vis-à-vis de l'érosion chimique tels l'olivine, l'augite, la biotite ou les feldspaths calciques ; leur édifice cristallin est rapidement détruit à la différence de celui des autres minéraux : le quartz, la muscovite, les feldspaths potassiques et quelques feldspaths calcosodiques demeurent sous leur forme première emballés dans la matrice argileuse.

Les galets de granite, représentant plus de la moitié des éléments supérieurs à cinq centimètres de diamètre, proviennent dans leur grande majorité du Velay. Comme l'on connaît, par des études récentes²⁴, les roches de cette région, il est intéressant de signaler leur composition moyenne : 30 à 35 % de quartz, 30 à 35 % de feldspaths potassiques, 25 à 30 % de feldspaths calcosodiques, 6 à 8 % de biotite, 3 à 4 % de minéraux divers. Un galet qui aurait une semblable composition, fournirait, après altération, de 15 à 20 % d'argile, 30 à 35 % de quartz et de 40 à 50 % de feldspath. On comprend ainsi de quelle manière le rapport quartz-feldspath qui doit se situer, pour les sables des alluvions pris isolément, aux alentours de quatre, est ramené à des valeurs inférieures par un apport interne en feldspath, apport qui diminuera au fur et à mesure de la destruction des nouveaux feldspaths et de l'épuisement des galets.

— *La présence du basalte* : le tertiaire et les Monts du Lyonnais sont totalement privés de basalte, le seul pointement basaltique de la rive droite

24. V. GABIS, *Etude minéralogique et géochimique de la série sédimentaire oligocène du Velay*, Bulletin de la société française de minéralogie et de cristallographie, 1963.

de la Loire est la butte de Montrond-les-Bains ; la roche qui le forme, doit d'ailleurs être plutôt taxée de pépérite que de basalte : il s'agit d'argiles vertes cuites et transformées par la montée des laves. La présence de grains de basalte parmi les sables des « terres à pisé » a, dans ces conditions, une signification comparable à celle des galets de même nature : les uns et les autres trouvent leur origine dans les alluvions anciennes de la Loire.

Si la détection²⁵ du basalte dans les « terres à pisé » du plateau de Veauche²⁶ et leur absence au bas de l'escarpement oriental confirment simplement nos observations précédentes, les autres résultats méritent par contre quelques remarques :

— les « terres à pisé » médianes du glacis de Feurs, apparentées à l'occasion de l'étude granulométrique à celles du bas de l'escarpement, contiennent parfois du basalte. La présence de cette roche volcanique est le deuxième indice traduisant une liaison entre les alluvions anciennes et ces « terres à pisé », après les rares galets que nous avons déjà signalés ;

— les recherches opérées sur les épandages sablo-limoneux de l'extrémité occidentale du glacis se sont révélées négatives. L'absence de basalte ne compromet cependant pas notre hypothèse d'un dépôt assimilable aux Chambons de la Loire ; elle la renforce puisque, fait remarquable pour des dépôts de ce fleuve, les Chambons n'en contiennent pas eux-mêmes. Cette particularité des limons de débordement est explicable : formées essentiellement de phénocristaux, les roches volcaniques n'ont pas tendance à se décomposer en petits éléments ; elles demeurent sous forme de galets ou de graviers, elles se débitent rarement en sables grossiers, jamais en sables fins, les fragments inférieurs à un millimètre étant très vite décomposés. Les Chambons et les « terres à pisé » sablo-limoneuses ont par conséquent une fraction grossière trop peu abondante pour leur réserver une place.

— *Les Micas* : la présence, l'absence ou la quantité des micas dans un sédiment dépendent de trois facteurs principaux :

— la roche-mère est, au départ, déterminante : la granulite riche en mica blanc n'est vraiment abondante qu'au sud et à l'ouest de la plaine — les Monts du Lyonnais en sont démunis sauf au-dessus de Bellegarde (Embréchites à deux micas), mais ils sont bien pourvus en biotite qui se rencontre dans presque tous les faciès ;

— le transport influe sur la quantité : les paillettes de micas très légères sont par exemple plus nombreuses dans les dépôts fluviatiles fins ;

— l'altération enfin joue un rôle : la grande fragilité de la biotite et la résistance de la muscovite à l'érosion chimique sont des phénomènes connus.

On peut classer les échantillons analysés en deux grands groupes :

— le premier concerne des « terres à pisé » dépourvues de micas : il comprend les terrains situés tout au long du talus oriental et les « terres à pisé » qui

25. Les échantillons étudiés se sont révélés pauvres en basalte : les sables les mieux pourvus en contiennent un à deux pour cent.

26. Uniquement dans les échantillons récoltés à un mètre de profondeur : les prélèvements superficiels en sont privés.

leur font suite au centre du glacis de Feurs. Formés d'apports latéraux provenant des Monts du Lyonnais, ils ne pourraient contenir, comme nous venons de le préciser, que de la biotite, la première à avoir été détruite lors de l'arénisation de la roche-mère ;

— le deuxième groupe rassemble les « terres à pisé » sableuses du glacis de Feurs et celles du plateau de Veauche : les unes et les autres montrent en quantité variable des micas blancs dont les alluvions de la Loire sont vraisemblablement la source.

— *La forme des grains de quartz* : les différentes formes prises par les grains de quartz sont peu nombreuses. On en distingue essentiellement deux : la forme « non usée » la plus fréquente et la forme « subanguleuse » plus rare (certains grains montrent pourtant avec netteté, au binoculaire, des angles contrastant avec les angles vifs de la forme précédente). L'aspect général des quartz est parfois si modifié que l'on peut parler d'« émoussés » et non plus de subanguleux, le très faible nombre de ces éléments empêche cependant d'introduire une catégorie supplémentaire.

L'absence de subanguleux dans les échantillons tertiaires, leur existence en forte quantité (50 à 70 %) dans plusieurs prélèvements des « terres à pisé » sableuses du glacis de Feurs, une certaine « logique » enfin nous ont poussé, pendant un temps, à établir un rapport entre ces grains subanguleux et les alluvions de la Loire. L'étude de sables quartzueux récoltés dans la couche même des alluvions anciennes devait nous faire changer d'avis : les « non usés » y étaient exclusivement représentés. Finalement l'identification de leur provenance a été rendue possible par trois observations :

— l'état de surface des quartz est la plus importante. Un fort grossissement au binoculaire permet de distinguer des traces de choc sur le pourtour des grains ; leur surface dépolie ne présente jamais l'aspect luisant des éléments façonnés par l'eau ;

— les deux autres ont trait à la situation des échantillons comportant des subanguleux : ils se rencontrent uniquement dans l'horizon superficiel des « terres à pisé » (cinquante premiers centimètres)²⁷ et dans les zones très sableuses (plus le sédiment est riche en sables grossiers, plus les subanguleux sont nombreux).

De tels faits incitent à voir dans ces formes l'œuvre du vent ; les modalités de son action seront précisées plus loin.

— *La nature des argiles* : si la reconnaissance des minéraux argileux est aujourd'hui grandement facilitée par l'utilisation des rayons « X », interpréter leur présence est toujours un exercice délicat. Notre objectif n'est donc pas d'engager un débat sur la signification des argiles contenues dans les « terres à pisé », mais de fournir de nouvelles données sur la nature des argiles rencontrées dans une formation corrélative. C'est aussi de dégager, à partir de telles données, quelques idées générales.

27. La seule exception notable à cette règle est le dépôt sableux de type fluvial de Bourghanin, situé sous les cailloux anguleux à matrice argileuse.

Les résultats obtenus ont été reproduits sur un tableau où ils sont répertoriés suivant leur appartenance soit à des éléments de référence — tertiaire-alluvions — soit aux grands types de « terres à pisé ». Les numéros qui leur ont été attribués, aident à les localiser sur la carte générale. Les coordonnées « Lambert » et la profondeur des prélèvements ont été indiquées dans la colonne I. Dans la colonne II figurent les natures d'argiles reconnues dans les échantillons. Elles sont classées par ordre d'importance décroissante. Certains minéraux apparaissent entre crochets : il s'agit d'argiles interstratifiées de nature différente ; d'autre ont été placés entre parenthèses : cela signifie qu'ils se trouvent en quantité infime par rapport aux autres éléments reconnus dans l'échantillon. Il a été parfois impossible de déterminer avec précision certaines argiles : les deux natures éventuelles ont été inscrites au-dessous de l'autre. Lorsque le laboratoire les recherchait, la nature de quelques minéraux non argileux mais possédant une taille inférieure à deux microns, a été précisée (colonne III). La colonne IV revêt une importance particulière, elle signale l'état de cristallisation des argiles étudiées. On s'est aperçu, grâce au manque de netteté des diagrammes de diffraction, que la majorité des échantillons présentait des argiles mal cristallisées.

La lecture du tableau révèle une grande unité des résultats à l'intérieur de chaque type de sédiment. Les quatre premières analyses regroupent des prélèvements effectués dans les argiles de base — n^{os} 1 et 2 — et dans les argiles vertes du centre de la plaine — n^{os} 3 et 4. L'argile dominante reconnue dans les échantillons du tertiaire de base est l'illite. Elle est accompagnée de la kaolinite. Pour avoir fait étudier plusieurs autres prélèvements toujours situés dans les argiles sableuses, mais intéressant la partie occidentale de la plaine du Forez, nous croyons utile de signaler que ceux-ci révèlent une proportion de kaolinite souvent supérieure à celle d'illite, ces deux natures d'argile restant associées.

Les argiles vertes du centre sont composées essentiellement de montmorillonite. Le résultat, confirmé par d'autres analyses sur la rive gauche de la Loire, est différent de celui obtenu par Pierre Duclos pour qui les argiles vertes sont surtout des illites²⁸.

Les argiles du tertiaire s'individualisent de celles des « terres à pisé » par une cristallisation excellente : les raies de diffraction qu'elles produisent sont fines et symétriques.

La série suivante présente la nature des argiles contenues dans les alluvions actuelles de la Coise — n^o 4 — de la Loire — n^o 5 — et de la Loire — n^o 6. Il s'agit de dépôts de crue argilo-limoneux remontant à la période post-glaciaire²⁹. L'homogénéité des résultats (la montmorillonite vient toujours en tête devant l'illite et la kaolinite ; la cristallisation est mauvaise dans les trois cas) permet d'établir une comparaison valable avec ceux du tertiaire ou des « terres à pisé ».

28. Il faut reconnaître que nos résultats ne sont pas tout à fait conformes à l'idée généralement admise par les spécialistes de la géologie des argiles, suivant laquelle l'illite serait le minéral dominant des dépôts argileux digocène du Massif Central.

29. Ils recouvrent les dépôts plus grossiers du Wurm.

	I	II	III	IV
Tertiaire	n° 1 x : 753 ; y : 59 2 m	Illite-Kaolinite	Feldspath Quartz { faible	Bonne cristallisation
	n° 2 x : 752 ; y : 72 14 m	Illite-(Montmorillonite-Kaolinite)	?	—
	n° 3 x : 748 ; y : 83 8 m	Montmorillonite-Illite	?	—
	n° 4 x : 747 ; y : 87 4 m	Montmorillonite-Kaolinite-Illite	?	—
Alluvions	n° 5 x : 754 ; y : 62 0,70 m	Montmorillonite-Illite-Kaolinite	Aucun	Mauvaise cristallisation
	n° 6 x : 751 ; y : 84 0,80 m	Montmorillonite-Illite-Kaolinite	Feldspath Quartz	—
	n° 7 x : 748 ; y : 69 2 m	Montmorillonite-Illite-Kaolinite	?	Bonne cristallisation
Plateau de Veauche	n° 8 x : 753 ; y : 61 1 m	Illite-Chlorite	Feldspath Quartz { faible moyen	Mauvaise cristallisation
	n° 9 x : 751 ; y : 61 1,30 m	Illite-Chlorite-Kaolinite	Feldspath Quartz { faible	—
	n° 10 x : 752 ; y : 61 3 m	Illite-Chlorite	Feldspath Quartz { faible	—
	n° 11 x : 753 ; y : 63 0,50 m	(Illite-Montmorillonite)-Kaolinite	?	—
	n° 12 x : 753 ; y : 66 0,60 m	Illite-Chlorite-Kaolinite	Feldspath Quartz { fort	—
	n° 13 x : 752 ; y : 69 0,60 m	Illite-Chlorite	Feldspath Quartz { faible	Bonne cristallisation
n° 14 <i>idem</i> 3 m	Illite-Chlorite	Feldspath Quartz { fort	Mauvaise cristallisation	

	f	g	h
Pied de l'Escarpement	1,50 m		— 3
	n° 16 <i>idem</i> 3 m	(Illite-Montmorillonite) - Kaolinite	?
	n° 17 x : 752 ; y : 82 1 m	Montmorillonite-Illite-Kaolinite	Aucun
	n° 18 x : 751 ; y : 84 2 m	Illite-Kaolinite-(Illite-Montmorillonite)	?
	n° 19 x : 752 ; y : 74 0,70 m	Montmorillonite -Illite-Kaolinite ou Vermiculite	Feldspath
	n° 20 x : 752 ; y : 74 1,20 m	Illite-(Illite-Montmorillonite) -Kaolinite	?
Glacis de Feurs	n° 21 x : 750 ; y : 77 1,20 m	Montmorillonite-(Illite-Montmorillonite) -Kaolinite	Quartz
	n° 22 x : 750 ; y : 76 1,50 m	Montmorillonite-Illite-Kaolinite	?
	n° 23 x : 749 ; y : 75 0,60 m	Montmorillonite-Illite-Kaolinite	?
	n° 24 x : 750 ; y : 74 0,50 m	Montmorillonite -Illite-Kaolinite ou Vermiculite	Feldspath Quartz
	n° 25 <i>idem</i> 1 m	Montmorillonite-Illite-Kaolinite	Aucun
	n° 26 x : 749 ; y : 80 0,50 m	Vermiculite-Illite-Kaolinite	Feldspath Quartz
	n° 27 <i>idem</i> 1 m	Montmorillonite-Illite-Kaolinite	Quartz
	n° 28 x : 749 ; y : 81 0,70 m	Montmorillonite-Illite-Kaolinite	?
	n° 29 x : 748 ; y : 82 0,40 m	Vermiculite-Illite-Montmorillonite	Feldspath Quartz
	n° 30 x : 747 ; y : 83 0,80 m	Montmorillonite-Illite-Kaolinite	?
			Moyenne cristallisation
			—
			—
			Moyenne cristallisation
			Mauvaise cristallisation
			Moyenne cristallisation
			Mauvaise
			—
			—

Tableau n° 3. — La nature des argiles des « terres à pisé »

Parmi ces dernières les argiles du plateau de Veauche sont essentiellement des illites, mais à la différence des argiles tertiaires de base, elles ne sont que très rarement associées à de la kaolinite : leur minéral accompagnateur est la chlorite. Elles se distinguent avec netteté des argiles du glaciaire de Feurs, où l'illite est aussi présente, mais en quantité moindre ; elle est devancée par la montmorillonite dans les horizons profonds et par la vermiculite dans la couche superficielle. La parenté de composition entre ces dépôts argileux et les alluvions récentes est, par ailleurs, remarquable.

La dernière série concernant les « terres à pisé » est composée d'échantillons prélevés au bas de l'escarpement ; ceux-ci tranchent sur les précédents par la diversité des résultats obtenus : certains sont dominés par l'illite, d'autres par la montmorillonite, un seul a pour principale argile la kaolinite.

On pourrait regretter de ne pas voir figurer dans ce tableau, à titre de référence, des analyses portant sur la fraction argileuse des colluvions de pente ou des arènes des Monts du Lyonnais, et s'interroger sur cette absence. L'explication en est simple : nous n'avons pas voulu renoncer à un ou plusieurs résultats concernant les sédiments de la plaine alors que la nature de ces argiles est bien connue grâce aux travaux de Victor Gabis³⁰ : c'est à 75 ou 80 % de la montmorillonite, la kaolinite et l'illite étant des constituants accessoires.

L'étude des argiles permet d'éclaircir un problème essentiel : celui d'une parenté éventuelle entre les « terres à pisé » et les argiles tertiaires. Si des rapports très étroits ont pu être établis entre certaines « terres à pisé » et les alluvions anciennes de la Loire d'une part et d'autre part entre des « terres à pisé » et les colluvions de pente descendues des Monts du Lyonnais, nous n'avons pas pu jusqu'à présent démontrer l'impossibilité de l'hypothèse formulée par Le Verrier, cela malgré plusieurs arguments — granulométrie, rapport quartz/feldspath — la rendant très improbable. La nature des argiles nous apporte un témoignage capital.

En admettant le jeu d'une grande faille orientale, seules les argiles tertiaires de base dont l'affleurement est masqué par les « terres à pisé » tout au long de l'escarpement, ont pu être soulevées sur les Monts du Lyonnais³¹. Ces argiles sont caractérisées par une bonne cristallisation et la prépondérance de l'illite et de la kaolinite. Ce sont donc des minéraux argileux de cette nature que l'on devrait déceler dans les « terres à pisé ». Or si on retrouve des illites sur le plateau de Veauche, pourtant le moins bien placé pour voir transiter des colluvions, à cause de sa parfaite planéité, elles ne viennent qu'en constituant annexe sur le glaciaire de Feurs derrière les montmorillonites absentes des argiles de base. N'y a-t-il donc pas de point commun entre les argiles tertiaires et les argiles des « terres à pisé » ? Il serait très imprudent de l'affirmer sans envisager auparavant l'éventualité d'une « transformation » des premières au cours de l'érosion ou après leur dépôt dans la plaine.

30. Ouvrage cité.

31. Voir la représentation du soubassement tertiaire sur la carte générale. Le Verrier pensait que, sous les terres à pisé, les argiles vertes se poursuivaient jusqu'au talus ; une série de sondages a infirmé cette idée. Notre carte du tertiaire a été réalisée à l'aide de leur résultat.

Par rapport à l' « héritage », cas des argiles qui subissent, à la suite d'un transport, une érosion uniquement mécanique, incapable de bouleverser leur composition minérale, la « transformation » est un premier stade de modification des argiles. On parle de transformation lorsque celles-ci tout en conservant leur structure cristalline à deux ou trois couches, perdent ou gagnent des éléments constitutifs, c'est-à-dire des ions. On désigne la première évolution, transformation par perte de substance, sous le nom de dégradation³² ; la seconde — transformation par gain de substance — est appelée agradation, elle ne peut se produire que sur des argiles déjà dégradées. Pour juger si de telles transformations³³ sont à l'origine des argiles reconnues sur le glacis de Feurs, il faut examiner les deux facteurs dont elles dépendent : la stabilité des argiles tertiaires et l'agressivité du milieu.

Le plus stable des deux types d'argiles tertiaires est la kaolinite ; ce minéral, une fois formé dans la zone d'altération des sols, est très résistant, même dans un milieu particulièrement agressif : il ne se transforme que dans des cas extrêmes : on a constaté par exemple dans des sols latéritiques, la mutation de kaolinite en gibbsite, celle-là étant désilicifiée à la suite d'une accélération du drainage et d'une brusque baisse de la nappe phréatique. Comme la gibbsite est absente des « terres à pisé », on doit s'interroger sur la faible place tenue par la kaolinite : elle devrait se trouver en quantité beaucoup plus importante dans des argiles « héritées »³⁴ de l' « étage » de base.

L'illite est un minéral stable lorsque les altérations restent à caractère physique ; elle est vulnérable dans des milieux acides et lessivés, où elle se dégrade suivant le schéma suivant :

illite → (illite-vermiculite) → (vermiculite-montmorillonite) → montmorillonite

La présence de vermiculite dans les argiles des terres à pisé pourrait évidemment faire songer à une évolution de l'illite en cours de transport ou après son dépôt ; mais dans cette optique, l'absence des interstratifiés ne se justifierait pas. D'ailleurs le milieu est-il assez agressif pour permettre une telle évolution ?

Les transformations des minéraux argileux sont commandées par la chimie du milieu dans lequel ils se trouvent et par les conditions de drainage, souvent déterminantes. Un milieu que les eaux parcourent avec facilité et qui est ainsi lessivé de tous les éléments pouvant entrer en solution sera par excellence favorable aux transformations par dégradation, au contraire des milieux confinés dans lesquels les eaux et les produits dissous stagnent. Toute discussion sur le milieu présente cependant un obstacle majeur : s'il est aisé d'analyser le milieu actuel, celui-ci a fort bien pu changer dans le passé et amener une évolution différente des argiles. Cette constatation, tout en limitant la portée des remarques que nous allons faire, ne les annule pas. Pour

32. Un exemple simple de ce phénomène est la transformation par dégradation des illites : en perdant des ions K, elles voient leur espace interfoliaire s'ouvrir — celui-ci passe de 10 à 14 Å — et deviennent ainsi des vermiculites.

33. Nous n'envisageons pas le cas de néoformations ; cette réorganisation totale du réseau cristallin est très rare pour des argiles sédimentaires.

34. On doit parler d'argiles héritées puisque la transformation de la kaolinite ne peut être mise en évidence.

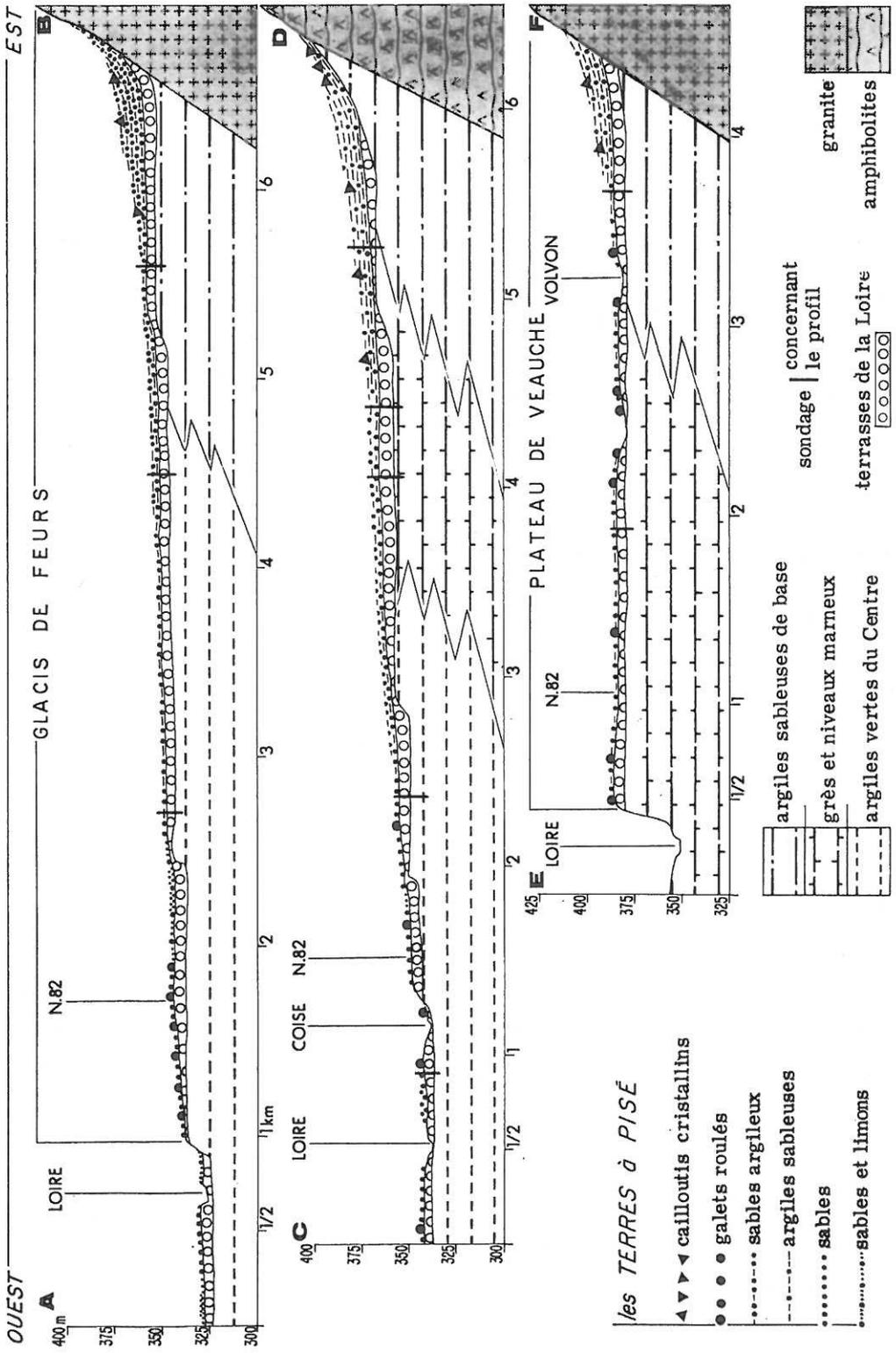


Fig. 3. — Coupes géologiques

le glacis de Feurs, les mesures d'acidité du sol donnent des « PH » variant entre 5 et 6, 9³⁵ en surface, quelques rares analyses en profondeur montrent une élévation du « PH » : on enregistre, dans l'horizon argileux, vers 80 centimètres, des valeurs de 6 à 7. Cette opposition s'explique par l'action de l'eau. Les « terres à pisé » situées sur les alluvions anciennes de la Loire — alluvions qui possèdent elles-mêmes une nappe phréatique sujette à des variations saisonnières — se comportent de façon indépendante du point de vue hydrogéologique. Leur texture permet de comprendre la superposition de deux milieux : l'horizon sableux de couverture est acide à la suite du lessivage des eaux de pluie, celles-ci sont arrêtées un peu plus bas par la couche argileuse créant une sorte de milieu confiné. Actuellement les argiles des « terres à pisé » connaissent en surface une légère dégradation qui justifie leur état de cristallisation particulièrement mauvais, mais on ne peut pas parler à leur propos de transformation. L'exemple du plateau de Veauche montre par ailleurs que l'agressivité du milieu n'a pas dû varier beaucoup pendant les différentes périodes du quaternaire : les argiles du plateau sont parmi les plus anciennes, leur milieu est aujourd'hui le plus acide — « ph » situé entre 4 et 5,5 — or leurs illites n'ont pas subi de dégradation.

Comment peut-on expliquer la nature des argiles des « terres à pisé » dans la mesure où elles ne sont ni héritées, ni transformées à partir des argiles tertiaires ?

Sur le glacis de Feurs, les « terres à pisé » orientales nous sont apparues en liaison avec des colluvions de pentes venues des Monts du Lyonnais, il s'agit donc de savoir si leurs argiles peuvent provenir de l'altération de roches-mères cristallines sous notre climat. Deux faits permettent de le penser : le premier est la part dominante de la montmorillonite, principal minéral de l'argile contenue dans les arènes d'après les travaux de Gabis ; le deuxième est la répartition des minéraux argileux ; elle est parfaitement semblable pour les alluvions actuelles des principaux cours d'eau de notre secteur, alluvions formées elles-mêmes par des matériaux fins issus de la désagrégation du socle.

Illite, vermiculite et montmorillonite sont vraisemblablement le résultat de la destruction de la biotite, abondante dans la roche-mère mais absente de la fraction sableuse des colluvions ou des « terres à pisé ». Des natures d'argiles aussi différentes pour l'altération d'un même minéral s'expliquent par la multiplicité des milieux d'argilisation : la montmorillonite se forme par exemple au départ de l'arénisation dans les lieux les plus confinés. La kaolinite aurait pu poser, malgré sa faible quantité, un problème. Après avoir été longtemps considérée comme le résultat de l'altération des feldspaths, la kaolinite s'est vue refuser, pendant un temps, toute possibilité de s'élaborer sous climat tempéré, le milieu d'hydrolyse étant trop alcalin. On la croyait alors caractéristique de climats plus chauds et surtout plus humides, si bien que sa présence aurait dû s'interpréter comme la preuve d'un paléoclimat, difficile à intégrer dans le schéma de formation des « terres à pisé » du glacis de Feurs. Des recherches³⁶, remontant à la dernière décennie, ont démontré l'erreur d'une

35. D'après différentes études pédologiques réalisées par la Direction départementale de l'Agriculture de la Loire.

36. Recherches des américains Barshad et Jackson et du français Tardy.

telle conception ; on sait aujourd'hui que certains feldspaths, en particulier les feldspaths plagioclases, sont capables de s'altérer en kaolinite. Nous lui attribuerons cette origine.

Au pied de l'escarpement, malgré un manque d'unité entre les résultats traduisant des conditions diverses de drainage et d'acidité³⁷, on ne note aucun changement fondamental dans la signification des argiles.

Par contre d'importantes modifications se produisent sur le plateau de Veauche. L'absence de la montmorillonite indique la faiblesse des apports en arène et une argilisation en milieu drainé, et si l'illite et la kaolinite s'interprètent de la même façon pour l'ensemble des « terres à pisé », la chlorite individualise la composition argileuse. La néoformation des chlorites est représentative de l'altération des minéraux ferromagnésiens comme la biotite, l'olivine, les pyroxènes ou l'amphibole, ces deux derniers se trouvant en abondance dans le basalte et la phonolite. Notre opinion sur l'origine des « terres à pisé » du plateau de Veauche se trouve ainsi confirmée : le matériel argilo-sableux provient de la décomposition d'alluvions anciennes mêlant roches granitiques et volcaniques.

Nous retiendrons de ces réflexions sur la nature des argiles, la marge qui les sépare des argiles tertiaires et leur caractère récent, puisqu'elles se sont formées à partir de l'altération du socle ou du matériel alluvial amené dans la plaine par la Loire.

IV. — CONCLUSIONS

L'étude des sédiments a précisé notre position vis-à-vis des différentes interprétations portant sur l'origine des « terres à pisé » : aucune ne semble correspondre tout à fait à ce que nous avons observé. Il s'agit maintenant pour nous de proposer un schéma conforme à nos constatations puis d'en dégager les conséquences.

1) LA FORMATION DES « TERRES A PISÉ »

Elle s'est produite en deux temps : le premier correspond à la mise en place du matériel, il est responsable des différences rencontrées entre les grands types de « terres à pisé » ; le deuxième au contraire a créé les points communs relevés lors de la description de ces formations, il consiste en une même évolution pédologique de tous les matériaux recouvrant la rive droite.

37. C'est par une augmentation locale de l'acidité que l'on peut expliquer le résultat obtenu pour le prélèvement n° 15 dans lequel la kaolinite l'emporte

— *Des processus de mise en place différents* : la pétrographie révèle qu'une bonne partie des « terres à pisé » s'est formée aux dépens d'alluvions anciennes de la Loire. L'action du fleuve est particulièrement nette dans le mélange de cailloux roulés et de sables grossiers qui composent l'essentiel des sédiments du plateau de Veauche. Cette action est plus discrète dans le cas des « terres à pisé » sablo-limoneuses de l'extrémité occidentale du glacis de Feurs ; l'absence de galets, la finesse et le triage du matériel évoquent cependant les alluvions parsemant aujourd'hui le lit majeur de la Loire. On se trouve donc en présence d'anciens limons de débordement qui correspondent au climat tempéré d'un interglaciaire. Il n'est pas impossible que des dépôts de cette nature jouent un rôle encore plus grand au sein des « terres à pisé » : la large tache argilo-sableuse entourant Veauche, assez pauvre en cailloutis de surface, pourrait remonter à la phase tempérée qui a suivi la formation de la plus haute terrasse de la Loire ; l'altération profonde subie par ce sédiment empêche pourtant de l'affirmer.

Le mode de mise en place des « terres à pisé » orientales est radicalement différent. Cerner la façon dont elles se sont déposées est délicat ; on peut néanmoins employer pour la désigner le terme de « colluvionnement ». Ces « terres à pisé » se sont peu à peu accumulées au pied des Monts du Lyonnais grâce à diverses actions. Les déplacements les plus importants se sont produits durant les périodes froides du quaternaire, à un moment où l'absence de végétation dense augmentait l'efficacité de processus comme le ruissellement diffus ou la solifluxion laminaire, et permettait à de véritables coulées boueuses de se former³⁸. Mais la mobilisation de la fraction fine a dû se poursuivre dans la partie amont du glacis sous forme d'une reptation très lente pendant les phases biostatiques des interglaciaires. Une semblable combinaison de processus est responsable de la mise en place des argiles sableuses accompagnant les cailloutis quartzeux du sud de la plaine. Il est par conséquent normal de rattacher ces dépôts aux « terres à pisé » même si le matériel qui les forme est en grande partie du tertiaire de base remanié.

Alluvions et colluvions présentent les marques d'un autre agent d'érosion : le vent. La localisation des grains éolisés dans l'horizon superficiel et le triage généralement très mauvais des « terres à pisé » indiquent que le vent n'a pas servi au transport de celles-ci, il s'est borné à les remodeler. La déflation éolienne qui s'est exercée au cours de phases rhexistatiques explique en partie certaines concentrations de sable à la surface du sol, dont les particules fines ont été chassées. Les forts pourcentages d'argile contenus dans les sédiments du bas de l'escarpement et du plateau de Veauche ont dû entraver, sinon annuler cette action ; comme ce dernier présente parfois des grains de quartz mats et subanguleux, il faut conclure à l'existence de plusieurs périodes d'usure par le vent : les quartz du plateau de Veauche ont été éolisés bien avant ceux de la région de Feurs, tandis que les premiers n'étaient pas encore mêlés à la grosse quantité d'argile dégagée plus tard par l'altération et que les seconds n'étaient pas encore déposés par la Loire. Avec l'action du vent, nous avons quitté le domaine de la mise en place des « terres à pisé » pour aborder celui de leur évolution.

38. Elles expliquent le déplacement d'éléments anguleux de la taille des cailloux.

— *Une même évolution* : les alluvions et les colluvions sont des formations normalement bien individualisées ; les traits communs qui les unissent sur la rive droite de la Loire, nécessitent une explication. Celle-ci réside dans l'évolution connue par les « terres à pisé ».

Un premier rapprochement s'est opéré sur le plan de la granulométrie lorsque les dépôts fluviaux anciens — ceux de la terrasse de Veauce — ont acquis la fraction argileuse nécessaire à leur ressemblance avec les colluvions, par destruction des minéraux les plus fragiles des sables et surtout des galets. Ces derniers, très abondants au cœur de la terrasse, sont devenus beaucoup plus rares en surface, au point qu'il est bien difficile parfois de reconnaître l'origine alluviale du sédiment.

Mais la nature des sols est le véritable lien entre les diverses formations étudiées : le terme de « terres à pisé » désigne finalement un horizon pédologique plutôt qu'un véritable dépôt.

Le lessivage de la couche superficielle, la concentration de l'argile à une profondeur comprise entre 40 et 90 centimètres, la pente très faible enfin ont contribué à la création d'une nappe phréatique perchée et temporaire ; celle-ci est capable de s'écouler latéralement avec une extrême lenteur, mais elle ne peut disparaître complètement que par évaporation. Sa présence commande l'évolution pédologique ; tous les sols, mal drainés par suite de leur capacité de rétention élevée et de leur texture argileuse, appartiennent à la classe des sols hydromorphes³⁹. Cependant comme l'anaérobiose, entraînée par la saturation en eau du sol, n'est que temporaire, nous les qualifierons de sols à pseudogleys⁴⁰.

Les coupes décrites dans les paragraphes précédents apportent des preuves de cet apparentement, les différentes couches que l'on y reconnaît correspondent assez souvent aux horizons caractéristiques des « pseudogleys ». La première rappelle un horizon « G₀ » à gley oxydé avec taches rouille, elle est située sous une terre végétale — horizon A — d'épaisseur variable et recouvre un horizon « Bg » à structure prismatique, présentant lui aussi le long des fentes qui le parcourent, des taches rouille. Un phénomène classique des sols à pseudogley marque le contact entre ces deux horizons : l'apparition de petites concrétions brun-noir qui se réunissent parfois en véritables blocs rappelant le machefer. Ce type de sol est en effet caractérisé par le comportement du fer : celui-ci est réduit et solubilisé lorsque la nappe phréatique se forme⁴¹ ; il migre sur de courtes distances, quitte l'horizon de surface pour

39. On doit parler à leur propos d'endohydromorphie structurale.

40. Des sondages à la tarière à main ont révélé sur le glaciaire de Feurs l'existence de larges zones de sols à gley. Nous les expliquerons par d'anciennes nappes stagnantes dues à des étangs aujourd'hui asséchés.

41. Malgré l'irrégularité de précipitations dans la plaine du Forez, les données fournies par la station de l'aérodrome de Bouthéon, pour les trente dernières années, montrent une opposition entre une saison arrosée allant de Mai à Novembre et la période de Décembre à Avril au cours de laquelle il tombe moins de 30 % du total annuel (731 mm). La nappe phréatique temporaire devrait donc se former pendant l'été. Le bilan hydrique — rapport des précipitations sur l'évapotranspiration potentielle — étant largement déficitaire durant la saison chaude — voir à ce propos le remarquable diplôme de maîtrise de Dominique PRENAT, *Le climat et les besoins en eau de la plaine du Forez*, soutenu en juin 1973 à l'Université de Lyon II — la nappe ne peut se maintenir que pendant les mois d'hiver ou durant quelques jours à la suite des fortes pluies d'été.

la zone argileuse où il précipite à l'état ferrique dans les endroits les plus aérés en période sèches — fentes liées à la structure prismatique —, sous forme de taches rouille ou de concrétions. On rencontre sur la rive droite de la Loire toutes les nuances possibles dans la taille et le degré d'évolution de ces concrétions. Elles vont des simples pisolithes à l'épaisse dalle observée à l'extrémité méridionale de la plaine. Ces différences d'aspect rendent leur étude intéressante.

On doit s'interroger tout d'abord sur leur composition chimique. Le laboratoire de chimie des sols du Centre de géomorphologie de Caen a effectué une série d'analyses concernant le ciment du machefer (tableau n° 4).

Situation	% SiO ₂	% Al ₂ O ₃	% Fe ₂ O ₃	% TiO ₂	% MnO	% CaO	% MgO	% K ₂ O	% Na ₂ O	% humid.	% perte au feu
Le Bas Rollet (dalle) x: 752; y: 60	61,32	8,40	9,68 *	0,320	3,04 *	0,321	3,62	1,65	3,48	2,05	5,15
Veauche (bloc) x: 752; y: 64	65,15	11,05	6,62 *	0,437	0,569 *	0,446	5,08	2,85	2,84	1,29	3,40
Civens (petit bloc) x: 748; y: 86	69,88	8,20	4,48 *	0,320	0,271 *	1,14	4,36	3,57	1,51	1,52	4,52
Le Buisson (petit bloc) x: 751; y: 72	68,13	13,25	2,29	0,435	0,016	0,678	2,41	3,72	1,33	2,30	3,87
Les Sermages (pisolith.) x: 751; y: 75	67,34	12,05	2,65	0,467	0,052	0,975	3,21	3,40	1,71	2,08	5,86

Tableau n° 4

* l'astérisque signale les fortes concentrations

L'examen des résultats montre une concentration en fer et en manganèse, plus ou moins forte suivant les échantillons. Le problème revient à expliquer l'origine de cette concentration. Les apports se sont-ils produits latéralement ou par lessivage? La première hypothèse peut surprendre mais elle est suggérée par l'observation de certains phénomènes: on remarque dans les nombreuses gravières foréziennes, des niveaux de sables et de galets noircis par les oxydes de fer et de manganèse.

Ils résultent du battement saisonnier de la nappe phréatique. De pareilles concentrations ont bien pu être utilisées par la pédogénèse pour la formation du machefer.

Valable pour les « terres à pisé » développées sur alluvions anciennes, cette solution ne l'est pas dans le cas des « terres à pisé » sur colluvions. Comme la solubilisation du fer, celle du manganèse s'opère dans le milieu acide et réducteur des sols hydromorphes: l'ion Mn est alors sujet à un lessivage et à une accumulation en certains points du profil. Fer et manganèse se comportant de manière semblable, la seule source d'enrichissement de l'horizon concrétionné dans les « terres à pisé » d'origine colluviale est le lessivage verticale ou oblique. Celui-ci peut justifier la formation de la « dalle » de

l'aérodrome de Bouthéon qui a bénéficié à la fois de la présence du glacis de La Fouillouse et de l'abondance de l'oxyde de fer dans les argiles sableuses de base.

L'évocation d'un deuxième problème s'impose à propos des rapports entre la pédogénèse et le machefer. Nous venons d'expliquer l'origine des puissantes concrétions du plateau de Veauche par la richesse de l'approvisionnement en oxydes de fer et de manganèse, mais ne pourrait-on pas y voir le résultat du temps ? Les concrétions seraient d'autant plus importantes que les « terres à pisé » auxquelles elles appartiennent, sont anciennes.

Si une telle conception a déjà été soutenue dans le cas assez semblable du « *grep* » des Boulbènes d'Aquitaine⁴², il nous paraît délicat de l'appliquer au machefer forézien pour deux raisons : d'une part nous sommes attachés à montrer l'aspect déterminant des conditions d'alimentation en oxydes de fer et de manganèse et d'autre part le machefer est en mesure de se créer très rapidement. Au contraire d'un horizon se formant avec lenteur au cours des temps géologiques, certaines concrétions semblent être le résultat de brèves et modestes crises climatiques telles plusieurs années de forte sécheresse ; c'est la conclusion à laquelle on aboutit après analyse de l'exemple de Roanne⁴³ puisque, dans un contexte pédologique similaire, des objets gaulois, âgés d'environ deux mille ans ont été retrouvés prisonniers du machefer au sein même des alluvions de la Loire. Cette constatation nous prive d'un précieux moyen de datation relative.

En parlant de chronologie nous avons quitté le domaine de la formation des « terres à pisé » pour aborder celui des enseignements que l'on peut retirer de leur étude.

2) LES APPORTS DE L'ÉTUDE DES « TERRES A PISÉ »

Les « terres à pisé » jouent un rôle ambigu dans la compréhension de la morphogénèse forézienne. À la suite de son évolution pédologique, cette formation corrélatrice complique l'observation en masquant les alluvions et en uniformisant les terrains de rive droite. Elle livre cependant, après une analyse détaillée, un témoignage capital sur l'action des processus passés et permet de reconstituer un peu de l'histoire géologique de la plaine.

— *L'apport à la stratigraphie du quaternaire* : ignorée par la plupart des auteurs qui lui ont préféré les problèmes posés par le tertiaire, la stratigraphie

42. Voir à ce sujet les travaux de J. LIWERANT, *Les sols d'alluvions de la vallée de la Garonne*, Annales Agronomiques 1939 et 1941 ; et de H. ENJALBERT, *Les modelés et sols des pays Aquitains*, 1960.

43. Ces renseignements nous ont été fournis par Jean Poncet du Groupe de Recherches Archéologiques de Roanne. Il nous a lui-même fait visiter un bâtiment en construction — rue des Aqueducs à Roanne — dont les fondations permettaient de voir le phénomène. Un fragment de machefer, situé à un mètre de profondeur, a été analysé par le laboratoire de Caen, en voici les résultats : SiO₂ : 72,49 % ; Al₂O₃ : 9,25 % ; Fe₂O₃ : 1,67 % ; TiO₂ : 0,195 % ; MnO : 1,29 % ; CaO : 0 % ; MgO : 3,44 % ; K₂O : 3,91 % ; Na₂O : 1,76 % ; humidité : 1,01 % ; perte au feu : 1,70 %. La couleur et la consistance du ciment sont assurées essentiellement par le manganèse.

du quaternaire régional est très mal connue. Les seules études détaillées s'y rapportant ont été menées au début de ce siècle par Emile Chaput⁴⁴, elles concernent les terrasses de la Loire ; encore sont-elles basées sur une théorie eustatique aujourd'hui largement dépassée. Il s'agit donc pour nous de placer avec prudence les premiers jalons. Cette tâche est d'autant plus difficile que les indices sont peu nombreux.

Sans évoquer les moyens de datation absolue, la datation relative, elle-même, est fortement compromise par l'absence de toute trace de faune ou de flore. Nous avons cru pouvoir apporter un cadre à la stratigraphie quaternaire en entreprenant une étude palynologique de certains sédiments. Laissant de côté la plupart des « terres à pisé » dont l'horizon supérieur lessivé nuit à une bonne conservation des pollens, nous comptons opposer les spectres polliniques d'une formation très récente à celui d'une formation ancienne afin de situer dans le temps l'ensemble des « terres à pisé ». Dans ce but nous avons choisi des colluvions de pente au faciès très argileux et des fragments du machefer de Bouthéon, espérant retrouver dans les premiers une flore caractéristique du post-glaciaire et dans le ciment des seconds quelques pollens appartenant à des espèces tertiaire ou quaternaire ancien. Malheureusement les échantillons argileux se sont révélés vierges de tout pollen, quant au machefer, soit il est de formation très récente, soit il a subi une contamination⁴⁵. Privés jusqu'à présent de l'apport de la paléontologie et de la palynologie, seul le raisonnement, s'appuyant sur les observations de terrain, peut nous permettre de jeter les bases d'une chronologie.

Selon la nature alluviale ou colluviale des « terres à pisé », les repères dont on dispose sont différents.

Le degré d'altération de la fraction grossière est, pour les « terres à pisé » développées aux dépens des alluvions, le critère de différenciation le plus valable. Le constat en avait déjà été fait au cours de l'analyse des sédiments, il faut maintenant en tirer des conclusions. La proportion de quartz servant à indiquer l'ancienneté des dépôts, on peut établir toute une hiérarchie entre les 60 à 70 % de galets quartzeux comptabilisés à la surface⁴⁶ du plateau de Veauche et les 10 à 20 % de la « plaine » alluviale actuelle. Il ressort de ces données une première certitude d'importance : la partie occidentale du glacis de Feurs ne présente pas des résultats homogènes comme la continuité topographique aurait pu le laisser supposer. Les « terres à pisé » sableuses situées à l'ouest de la Nationale 82 ont des pourcentages en quartz compris

44. Ouvrage cité.

45. Voici les résultats obtenus à partir du ciment des concrétions : graminées : 90 (dont 8 de type « céréale ») ; composées : 18 (fenestrées : 14, échinulées : 4) ; calluna : 22 ; plantago : 11 ; rumex : 10 ; chénopodiacée : 1 ; polygonum : 2 ; cargophyllacées : 3 ; fougère : 1 ; pinus silvestris : 8 ; tilia : 1 ; betula : 1 ; alnus : 2 ; quercus : 1 ; varia : 4 ; abimés : 2. Total des spores et pollens : 177.

Nous tenons à remercier Mme Planchais, chargée de recherches du C.N.R.S. et M. le Professeur Pons du laboratoire de botanique historique et de palynologie de Marseille, pour avoir accepté de traiter chacun une série d'échantillons.

46. Tous les pourcentages en quartz cités dans ce paragraphe concernent des galets jonchant le sol — ils sont beaucoup plus faibles pour les pétrographies réalisées dans la masse des alluvions.

entre 25 et 35 % ; ceux-ci sont comparables aux chiffres enregistrés sur le plus bas niveau du système de la Coise. A l'est de la voie ferrée, le nombre des quartz augmente sensiblement pour se rapprocher de celui obtenu sur le plateau de Veauche : 45 à 55 % ! Nous en déduisons que toutes les alluvions parsemant le glacis de Feurs ne sont pas de la même époque⁴⁷.

Il ne serait pas raisonnable avec le peu d'éléments dont nous disposons pour l'instant de préciser le classement des « terres à pisé » d'origine alluviale et surtout d'en venir à une corrélation avec des épisodes connus du quaternaire français. Il faut se contenter d'ajouter une remarque : les galets du lit majeur de la Loire comprenant environ dix pour cent de quartz, la multiplication par deux de ce chiffre pour les alluvions les moins riches en silice du glacis de Feurs indique qu'elles ont subi une phase d'érosion longue et efficace. Comme la destruction des galets de roches grenues par l'hydrolyse — processus chimique le plus fréquent — nécessite un climat chaud et humide, nous relierons cet événement aux périodes de réchauffement interglaciaires et placerons une telle période entre le dépôt des alluvions actuelles et celui des alluvions les plus récentes du glacis⁴⁸. De la même manière les cailloutis roulés de la zone médiane, riches de 50 % de quartz, ont selon toute vraisemblance connu plusieurs réchauffements climatiques dont le long interglaciaire situé par tous les chercheurs au quaternaire moyen.

Les repères chronologiques sont extrêmement rares dans les « terres à pisé » colluviales. Nous avons insisté au cours de l'étude des argiles sur le caractère très récent des terrains superficiels situés au bas de l'escarpement, cela ne sous-entendait pas que l'ensemble du sédiment possède en profondeur la même particularité. En effet, le mode de mise en place que nous avons décrit, implique des apports successifs mais de faciès indifférencié, si bien qu'il est impossible de reconnaître une quelconque stratigraphie dans des dépôts pourtant discontinus dans le temps. Certains sédiments échappent à cet inconvénient ; de type fluviatile, nous les avons rencontrés au débouché dans la plaine des petits cours d'eau venus des Monts du Lyonnais. Incapables d'inciser comme la Coise ou la Loire la masse des alluvions anciennes de la Loire, ces rivières ont du évacuer lors des périodes rhéxistatiques d'importantes quantités de matériaux. Nous les avons ignorées au moment de l'étude des processus parce que leurs effets sont limités dans l'espace et résultent d'un phénomène d'alluvionnement.

Seul l'appareil le plus puissant, celui de l'Anzieux, mérite une attention particulière ; il a formé un petit cône de déjection sur lequel est construit le village de Bellegarde. Connu grâce au sondage qui le traverse, ce cône présente l'intérêt d'une succession de couches à granulométrie différente. En décrivant le sondage, nous avons noté l'intérêt d'une structure qu'il convient maintenant d'expliquer. Les alternances d'argile et de sables graveleux corres-

47. Cette observation amène un changement notable par rapport aux vues d'Emile Chaput, pour qui le glacis de Feurs correspondait à une seule et même terrasse, baptisée d'après son altitude relative au-dessus du fleuve « 10-18 mètres ».

48. Chaput datait la terrasse « 10-18 mètres » de l'époque Moustérienne en se basant sur des découvertes de silex taillés, faites en aval du Forez. Cette datation nous paraît ici très difficilement concevable ; nous y voyons une nouvelle illustration des erreurs de l'eustatisme et de son système d'altitude relative des terrasses beaucoup trop approximatif.

pondent aux phases biostasiques sous climat tempéré, les sables aux phases rhexistasiques sous climat périglaciaire. Ce schéma simple permet de se faire une idée du nombre des alternances, au moins cinq, sans pouvoir toutefois les comptabiliser avec exactitude. Plusieurs raisons s'y opposent :

— le sondage ne donne pas le détail de la couche superficielle baptisée « terre végétale ». A en croire les observations faites dans ce secteur, elle contient des cailloutis ; mais doit-on y voir les traces de la dernière glaciation ou seulement celles de la période tardiglaciaire qui a marqué de son empreinte la limagne voisine ⁴⁹ ? Cette remarque soulève le problème des stades à l'intérieur des époques glaciaires et il ne saurait être question d'apporter ici une réponse définitive ;

— la deuxième difficulté est causée par la forte vague d'altération dont les signes sont évidents à partir de cinq mètres de profondeur. Une telle altération est un repère appréciable dans le temps — l'érosion chimique qui en est responsable est à mettre en parallèle avec le long épisode chaud du quaternaire moyen — malheureusement elle empêche de distinguer les strates fines et les strates grossières sur les quatre mètres de sédiments colorés par les oxydes de fer.

A la base du sondage, l'existence de plusieurs mètres de sables, de graviers et de galets traduit un phénomène différent : l'alluvionnement de l'Anzieux n'excède jamais un mètre d'épaisseur pour chaque phase climatique ; le dépôt a donc été effectué par un agent plus puissant, la Loire ⁵⁰. Le cône de déjection de l'Anzieux comme les colluvions issues de l'escarpement repose sur des alluvions du fleuve.

Juxtaposés les uns aux autres, les renseignements fournis par l'analyse des « terres à pisé » permettent de proposer ce tableau des principaux événements (tableau n° 5).

— *L'apport à la géomorphologie* : les apports de l'étude des « terres à pisé » à la définition des formes sont inégaux :

— sur les trois formes majeures de la rive droite une, est facile à définir : la topographie du plateau de Veauche correspond manifestement au sommet d'un remblayage alluvial plus ou moins attaqué par l'érosion à l'ouest et « recouvert » par des colluvions dans sa partie orientale ;

— la deuxième forme majeure, l'escarpement des Monts du Lyonnais, semble avoir peu de rapport avec les « terres à pisé » ; elle pose un seul problème : est-on en présence d'un escarpement de faille ou de ligne de faille ? La réponse à cette question intéresse cependant notre étude puisque la première solution proposée par Le Verrier et Pierre Duclos, s'appuie sur un argument : les épandages de « terres à pisé ». Persuadé par l'analyse de dépôts de l'erreur d'un tel raisonnement, nous n'abandonnerons pas pour autant cette définition

49. Voir à ce sujet Louis GACHON, *Contribution à l'étude du quaternaire récent de la Grande Limagne marno-calcaire : morphogénèse et pédogénèse*, Institut National de la Recherche Agronomique, 1963.

50. Nous disposons pour l'affirmer d'autres arguments. Il est cependant impossible de les présenter sans effectuer une étude complète des nappes alluviales, étude bien difficile à insérer dans cet article.

"TERRES A PISE" ALLUVIALES

"TERRES A PISE" COLLUVIALES

	"TERRES A PISE" ALLUVIALES	"TERRES A PISE" COLLUVIALES
Villafranchien	dépôt des alluvions du plateau de Veauche (maximum période froide)	façonnement du glacis "de la Fouillouse" (période froide)
Quaternaire ancien	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> éolisation de la couche superficielle des alluvions (fin périodes froides) </div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> évolution pédologique des "terres à pisé" au fur et à mesure de leur dépôt </div>
	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> Altération des alluvions (périodes chaudes) </div>	
	<u>Mise en place des alluvions du bas de l'escarpement</u> (maximum période froide)	
Quaternaire moyen	dépôts des alluvions de la zone médiane du glacis de Feurs (maximum périodes froides) <u>Interglaciaire</u> disparition de nombreux galets de roches grenues - en surface -	dépôts grossiers du cône de Bellegarde et mise en place de plusieurs mètres d'épaisseurs de colluvions (périodes froides) <u>chaud et long</u> altération profonde du cône de Bellegarde
(Avant dernière période froide)	dépôt des alluvions du bas niveau de la Coise et de l'extrémité occidentale du glacis de Feurs (maximum période froide)	dépôts de plusieurs mètres de colluvion (elles atteignent la région de Magneux le Gabion et des strates grossières du cône de Bellegarde (au dessus de la zone altérée) périodes froides
Quaternaire récent	dépôt des "terres à pisé" sablo-limoneuse (début de période chaude)	
(Dernière période froide)	dépôt des alluvions se trouvant sous le lit majeur actuel du fleuve	

de l'escarpement de faille au profit de la seconde. Celle-ci, défendue par François Tomas qui voit dans le talus oriental l'œuvre de la dissection plio-quaternaire, nous paraît incompatible avec l'installation de la Loire, dès le pliocène, au pied des Monts du Lyonnais. Un double phénomène explique l'abandon par le fleuve de l'axe de la plaine : un basculement du bassin vers l'est, sans doute à l'occasion de mouvements tectoniques dans les Monts du Forez, et la présence dans cette direction d'un barrage préexistant : l'escarpement des Monts du Lyonnais. A l'origine de ce talus, la faille des Monts du Lyonnais, après s'être formée peu à peu au cours de la sédimentation oligocène, à dû subir un réajustement de quelques dizaines de mètres d'ampleur lors du soulèvement épéirogénique connu par le Massif Central à la fin du tertiaire.

Nous sommes donc amenés à définir le talus oriental comme un escarpement direct, atténué à la base par l'accumulation des « terres à pisé »

colluviales et au sommet par l'érosion. Les formes très différentes prises par l'abrupt suivant la nature des roches : pente raide dans les amphibolites de Bellegarde ou pente faible dans les granites à biotite du nord, montrent avec netteté l'œuvre de l'érosion différentielle.

— La troisième forme majeure, le glacis de Feurs doit son originalité aux « terres à pisé ». Cette originalité réside moins dans la forme elle-même : une légère déclivité au profil concave, que dans sa genèse. Celle-ci est complexe, plusieurs processus ayant modifié la topographie primitive.

On retrouve la forme de départ sur la coupe A-B (figure n° 3) dont le soubassement a été reconstitué grâce à une série de sondages : de Montrond à Feurs l'espace compris entre le lit majeur de la Loire et les Monts du Lyonnais a été découpé en un escalier de terrasses. Notre propos n'est pas de discuter du nombre ou de l'extension exacte de ces terrasses ; ce qu'il nous importe de saisir, c'est le passage de cette première topographie à la topographie actuelle.

A l'est, la réponse est classique : la plus haute terrasse a disparu sous des colluvions venues des Monts du Lyonnais. Le même sort paraît avoir été réservé à la terrasse suivante le long du profil A-B, mais cette situation n'est pas vraie partout : une ébauche de talus existe à l'est de Magneux-le-Gabion⁵¹. Sur le terrain cette dénivellation de trois ou quatre mètres de hauteur correspond à l'apparition de quelques galets roulés⁵² qui témoigne de l'érosion subie par le talus. La succession le long du plus ancien étagement de terrasses de la Loire, de zones « empatées » et de zones érodées, indique comment accumulation et érosion se sont relayées pour estomper les replats alluviaux de la rive droite. François Tomas explique, dans sa thèse, la genèse du glacis par l'action de coulées boueuses périglaciaires qui en auraient « raboté les bosses » et « colmaté les creux ». Cette hypothèse paraît trop simple pour rendre compte d'un phénomène complexe. Ce processus n'a pu agir à l'échelle du glacis : si des coulées boueuses se sont formées, elles n'ont eu aucune force érosive sur une pente aussi faible. Nous pensons que les talus se sont effacés peu à peu sous l'effet du ruissellement et de la solifluxion, les cours d'eau venus des Monts du Lyonnais ayant pu jouer un rôle local dans leur disparition. La petite dénivellation qui limite, aux environs de la Nationale 82, les terrains sablo-limoneux de l'extrémité du glacis sert d'exemple à notre conception ; aucune coulée boueuse ne l'a atteinte puisque la couche indépendante des alluvions s'arrête à hauteur de Magneux-le-Gabion ; les très nombreux galets visibles non seulement entre la voie ferrée et la Nationale, mais encore dans la pente et à son pied sur les sables limoneux⁵³ ont été répandus par les mouvements de masse qui ont affecté le talus.

Les colluvions orientales ont parachevé la morphologie actuelle en créant une large concavité sur une topographie déjà très aplanie. Le glacis de Feurs résulte finalement d'une double action d'accumulation en amont et d'érosion

51. Voir la carte générale.

52. Les rares échantillons des « terres à pisé » médianes contenant quelques grains de basalte ont été récoltés dans cette zone.

53. L'apport venu de la terrasse supérieure explique la présence d'une fraction grossière (galets ou sables) mélangée aux « chambons » du glacis.

en aval ; le tout a eu pour effet d'oblitérer une série de terrasses et de la remplacer par une forme difficile à définir avec le vocabulaire classique. Il faut voir dans ce résultat la réunion d'un certain nombre d'éléments rarement regroupés, comme une faible dénivellation entre les terrasses, une épaisseur limitée et régulière de la couche d'alluvions ou une migration constante du fleuve dans une direction.

Le principal intérêt de l'étude détaillée des « terres à pisé » est cette découverte des terrasses cachées sous le curieux glacis de Feurs. Les « terres à pisé » sont à notre avis responsables des lacunes présentées par les travaux concernant le quaternaire Forézien et les terrasses fluviales de la Loire, mais elles enseignent combien la recherche des replats alluviaux doit être menée avec persévérance... et prudence.

RESUME

Baptisées « terres à pisé », les argiles sableuses qui recouvrent la rive droite de la Loire dans le bassin du Forez, ont été reconnues très tôt dans leur extension. A la fin du 19^e siècle, un géologue, Le Verrier, a basé tout un épisode de l'histoire morphologique de la plaine sur leur présence. Depuis cette époque, aucun chercheur n'a entrepris de les définir avec précision.

Après une analyse détaillée de tous les composants, les « terres à pisé » n'apparaissent pas comme un dépôt, il s'agit essentiellement d'un horizon pédologique développé sur deux types de sédiments : des alluvions anciennes et des colluvions. Formées peu à peu tout au long du quaternaire, elles masquent sur la majeure partie de la rive droite un escalier de terrasses.

ABSTRACT

Called « puddled soils », the sandy clay which covers the right bank of the Loire in the Forez basin, have been spotted very early on in their development. At the end of the nineteenth century, a geologist named Le Verrier based a whole episode of the plain's morphological history on their being there. From then onwards, no investigator has taken it upon himself to define exactly what they are.

After a detailed analysis of all the components, the « puddled soils » are not, it appears, deposits, it is fundamentally a question of a pedological horizon developed on two kinds of sediment : old alluviums and colluviums. They have formed gradually throughout the quaternary and cover up a stair-like system of terrasses along most of the right bank.