

# Particularités de l'évolution du système fluviatile solognot dans le bassin de la Loire au Quaternaire. Corrélations possibles\*

Serge DEBRAND-PASSARD <sup>(1)</sup>

Jean-Jacques MACAIRE <sup>(2)</sup>

Léopold CLOZIER <sup>(1)</sup>

Régis FLEURY <sup>(1)</sup>

*Particular evolution of the Sologne fluviatile system  
within the Loire basin during the Quaternary.*

*Possible correlations*

Géologie de la France, n° 2, 1998, pp. 55-68, 7 fig., 1 tabl.

Mots-clés : Alluvions, Quaternaire, Paléosols, Terrasses, Bassin parisien, Sologne, Fleuve Loire.

Key words: Alluvium, Quaternary, Paleosols, Terraces, Paris Basin, Sologne, Loire River.

## Résumé

Les données acquises lors du lever des cartes géologiques à 1/50 000 de la Sologne ont été l'occasion d'une comparaison de l'évolution des systèmes fluviaux en Sologne (« système solognot ») et en Loire moyenne (« système ligérien ») au Quaternaire.

Les alluvions fluviales couvrent environ 90 % de la surface de la Sologne alors que les alluvions de la Loire ne sont présentes qu'à proximité du fleuve. La Sologne apparaît comme un lieu de production et de stockage de sédiments après un court transport dans une dépression morphotectonique, tandis que le couloir ligérien est un lieu de transit de particules issues du Massif central.

On dénombre jusqu'à huit terrasses alluviales en Sologne contre six maximum dans le système ligérien. L'activité alternativement érosive ou sédimentogène des cours d'eau solognots paraît avoir été particulièrement sensible aux variations hydro-climatiques du Quaternaire. Dans le couloir ligérien, les phases de sédimentation semblent avoir été plutôt

favorisées par l'englacement temporaire du bassin versant en amont. Les conditions inégales de conservation des stocks alluviaux peuvent aussi être liées aux évolutions morphostructurales spécifiques à certains tronçons de ces cours d'eau.

Les alluvions de la Loire, sablo-graveleuses, sont riches minéralogiquement tandis que celles des rivières de Sologne sont sablo-argileuses et principalement quartzueuses. L'altération météorique et les paléopédogenèses post-dépôt ont engendré des faciès répartis en toposéquences. Ils sont marqués par des horizons pédologiques Bt d'autant plus rubéfiés et colmatés qu'ils sont vieux (hautes terrasses), et des horizons A2 de dégradation présents dans les sols d'une certaine ancienneté.

Bien que toujours à dominante sableuse et non carbonatée, les roches-mères de ces « vieux sols » sont cependant suffisamment différentes dans les systèmes solognot et ligérien pour que les échelles lithostratigraphiques soient distinctes. Des équivalences possibles entre les deux systèmes sont proposées.

## Abridged English version

### Introduction

A stratigraphic scale for the Quaternary, based on stepped terraces and weathering facies of the deposits, has been proposed for the middle Loire ("Ligerian system") in the Cretaceous rim of the southwestern Paris Basin (Macaire, 1981 and 1986). In Sologne, a sub-basin within the Loire basin ("Sologne system"), recent mapping has revealed multiple terraces associated with the "old soil" facies described by Honorato (1971). The present article compares the two stratigraphic scales and suggests equivalences.

The pre-Ligerian hydrographic network of the Neogene can be divided into two zones:

- one corresponding to Sologne, the hydrographic hub and permanent centre for the flows and deposition of particles from the Massif Central,

- the other, with a course fluctuating between N-S and E-W, situated upstream

\* Manuscrit déposé le 15 décembre 1996, accepté le 25 mars 1998.

(1) Service géologique national, BRGM, Avenue Claude Guillemin, BP 6009, 45060 Orléans cedex 2.

(2) EA 2100, Laboratoire de Géologie des Environnements Aquatiques Continentaux, Faculté des Sciences et Techniques, Parc de Grandmont, 37200 Tours.

and downstream of Sologne; the associated deposits are very discontinuous.

This differentiation is also found in the "Ligerian" hydrography of the Quaternary.

#### Quaternary river deposits of the middle Loire

From Nevers to Angers, the Loire flows through Mesozoic and Cenozoic formations of the southern Paris Basin (Fig. 1), its valley ranging from 2 to 20 km wide and 40 to 80 m deep, depending on the section. River alluvia are limited to a maximum lateral extent of 20 km, and cover only a small part of the valley sides that supplied them; they are arranged in a sequence of terraces, the number of which varies from section to section (Table 1):

- Between Nevers and Gien, 5 to 6 levels of terraces can be observed: these include the Bourbonnais sands and clays at about +50 m above the Loire, a high terrace (+30 m), a middle terrace (about +10 m), a low terrace (+5-6 m), and the low alluvial plain.

- In the Sologne around Orléans, the terraces are laterally extensive, with the "Upper Gravels" or "pre-Ligerian Gravels" (Denizot, 1927) on the plateaus, and levels Fv (+30 m), Fw (+15 m), Fx (+6-8 m) and Fy ("hillocks", +2-3 m) above the flood plain Fz (Gigout et al., 1972). The Fv and Fw levels can combine to form a polygenic glaciais.

- In Touraine, the plateaus are covered with "post-Helvetian" sands and gravels (about +40-50 m above the Loire), from which the upper sand/gravel unit has been assigned to the Upper Pliocene ("montdorion" minerals). The terraces comprise Fv (+30-35 m), Fw (+15-20 m), Fx (+8-10 m) and Fy (+5-6 m) above the Loire flood plain Fz (Macaire, 1981).

In its middle section, the Loire has cut through plateaus covered with Upper Pliocene deposits (Fig. 2), and 5 or 6 separate morphological flats have been itemized in the valley, including the present-day alluvial plain (Fig. 3b). A similar number of terraces are identified along the river's major left-bank tributaries, the Cher, the Indre, the Vienne and the Creuse (Macaire, 1981, 1983).

The river deposits are dominated by sand/gravel and are rich in minerals (Babonaux, 1970; Gigout et al., 1972; Tourenq, 1972 and 1989; Macaire, 1981; Brossé, 1982). Over 50% of the gravel consists of granite, metamorphic rock, basalt and quartz; limestone and flint make up the local drift. The sand, mainly quartzose, contains 30% feldspars (including 1/3 plagioclases), minor limestone and some mica; the heavy minerals (3-4% of the grains) are varied and include mainly pyroxenes (70-80% of the transparent grains). The older drift is poorer in minerals than the recent drift (Macaire, 1985).

Weathering has produced "old soils" with differing facies and mineral parageneses that have been used as the basis of a lithostratigraphic scale (Horemans, 1961; Macaire, 1981 and 1986) (Fig. 3a). Thus, the sub-present Fz unit contains drifted soils that are poorly to non-evolved; the Fy unit is lightly weathered and displays a yellowish-brown argilloferric vermiculite matrix (Bt horizon); the Fx unit is moderately weathered and has a brown smectite and kaolinite matrix (Bt); the Fw unit is strongly weathered, reddish brown (Bt), rich in kaolinite and displays a bleached degraded A2 horizon; and the Fv unit is very strongly weathered, variegated (Btg), rich in smectite and kaolinite and degraded in its upper part (A2). The Fv facies represents the final degree of evolution.

#### River deposits in Sologne

The Miocene sand/clay deposits of Sologne are drained by the Cosson, the Beuvron and the Sauldre which make up a sub-basin (5000 km<sup>2</sup>) within the Loire Basin (Figs. 1 and 4). Quaternary river alluvia cover approximately 90% of the area. The valleys are less than 40 m deep, but up to 8 terraces are observed (Fig. 5b).

The "Upper Gravels" ("pre-Ligerian Gravels" of Denizot [1927], and annotated Fv or Fwa on different maps), including Upper Pliocene "montdorion" minerals, partly cover the plateaus (Fig. 2). To the south and southeast, these gravels grade into alluvial fans (Fv), below which the Fwb (+15-30 m), Fx (subdivided into Fxa, Fxb and Fxc; +10 to +30 m), Fy (subdivided into Fya and Fyb; +2 to +15 m) and Fz or Fy-z (flood plain) levels are identified (Table 1 and Fig. 6).

The Quaternary alluvia of the Sologne sub-basin are more clayey and poorer in minerals than those of the Loire. The sands are mainly quartzose with exclusively potassium feldspars, ubiquitous heavy minerals and scarce metamorphic minerals, as in the Sologne formations from which they derive (Rasplus, 1982). They also include quartz and flint gravel and pebbles.

The weathering facies and pedogenesis show similarities with those of the "Ligerian" system, and also some specific features described by Honorato (1971) (Fig. 5a and b). The most recent soils (units 1 and 2) are mostly influenced by hydromorphic processes. Units 3 and 4 are characterized by an argilloferric Bt horizon which is brown (unit 3) to reddish (unit 4), respectively similar to the Fx and Fw units of the "Ligerian" system. The bleached A2 horizon is also present though, unlike in the "Ligerian" system, it affects the Bt horizons at an early stage of their development (unit 3). The clay minerals (prevalence of montmorillonite over kaolinite and illite) mostly reflect a legacy of the Sologne formations (Honorato, 1971). The most evolved facies (unit 5), not described by Honorato, was observed on the plateau gravels.

#### Comparison of the "Ligerian" and "Sologne" systems

The number of terraces and the amount of river-deposit cover in the "Ligerian" and "Sologne" basins reflect different sedimentary balances and river dynamics (Meade, 1988). The Loire has a fairly steep longitudinal gradient (5 to 0.5‰) and thus only a small proportion of the sedimentary materials from the Massif Central has been stored due to the river's rather substantial hydraulic energy. In Sologne, where the unconsolidated Neogene substratum was easily eroded, the low gradients of the Cosson, the Beuvron and the Sauldre (0.2 to 0.5‰) and the valley sides have limited the removal of sedimentary matter by running water; this accounts for the high amount of alluvial sediment cover (around 90%) in this sub-basin. The morphological evolution of Sologne during the Quaternary can be seen on the DEM image (Fig. 7): erosion has tended to remove the Upper Gravels. Also noted are the recent reactivation of the main regional faults, the N 80° E Bourbonnais palaeochannel (Upper Gravels), and the dissymmetric character of

*the present valley sides, which is probably of tectonic origin.*

*The river terraces of the middle Loire basin are of climatic origin (Gras, 1963; Gigout et al., 1972; Macaire, 1981). The Loire's hydrodynamics and the production of sediments were strongly influenced by the snow cover and the glaciers of the Massif Central during the glacial stages (Goer de Herve, 1972; Veyret, 1978; Church and Ryder, 1972). The cold and wet periods were periods of high sediment storage in the middle Loire, in sharp contrast with the river's typical, mainly erosive activity.*

*In the Sologne sub-basin, the Quaternary climatic fluctuations were less marked than in the Massif Central. However, the high number of terraces shows that the hydrodynamics and the particle flows were sensitive to these fluctuations.*

*The Loire's highly sandy alluvia were unfavourable to the development of hydromorphic processes, since the fragile minerals supplied an abundant argillo-ferric matrix which gradually plugged the Bt pedological horizon (Fv facies). In Sologne, however, the more clayey recent alluvia (units 1 and 2) favoured hydromorphic processes; the mineralogically poor sands produced only a sparse argilloferric matrix (units 3 and 4), except in the Pliocene plateau deposits (facies 5). In both systems, the degraded A2 horizons point to a relatively long period of pedological development — subsequent to the deposition of unit 3 and associated with podzolisation in Sologne (Honorato, 1971), and prior to the deposition of unit Fx and of palaeoclimatic origin in the Loire (Macaire, 1981). Degradation was furthered by a mineralogically poor material, which may account for its prompt occurrence in the sandy Sologne alluvia (3 to 5).*

*Possible equivalences between the terraces and the alluvial lithofacies of the "Ligerian" and "Sologne" river systems are suggested in Table 1.*

## Conclusion

*Despite their geographical proximity, the hydrodynamics and the sedimentary balance of the middle Loire and the Sologne differed during the Quaternary. This can be explained by the fact that*

*each of these river basins had its own tectonic, morphological, lithological and climatic characteristics.*

## Introduction

Les formations fluviales ont souvent servi de base à la stratigraphie du Quaternaire en raison de leur ubiquité à la surface des continents. La célèbre chronostratigraphie alpine du Quaternaire de Penk et Bruckner (1901-1905) a été en grande partie fondée sur la distribution des terrasses fluviales. Cependant, la valeur stratigraphique de ces formations est rapidement apparue médiocre, car la dynamique fluviale ne permet pas, sauf exception, la conservation des fossiles dans de bonnes conditions pour la biostratigraphie. Cette dynamique engendre de multiples discontinuités et lacunes brouillant l'enregistrement du temps dans les sédiments.

En revanche, de nombreux auteurs comme Barrière (1971), Hubschman (1973), Torrent (1976), Bornand (1978), Chartres (1980), ont proposé des stratigraphies relatives fondées sur l'étagement morphologique des terrasses et les faciès d'altération des dépôts associés. Ces stratigraphies, bien que de précision médiocre, sont très utiles localement en l'absence d'autres critères de datation. Leur champ d'application est régional et limité à des bassins présentant des caractères climatique, morphologique, hydrologique et surtout lithologique bien définis.

Une telle échelle lithostratigraphique a été proposée pour la Loire moyenne et ses affluents de rive gauche (Cher, Indre, Vienne et Creuse), tous situés dans l'auréole créacée du sud-ouest du Bassin parisien (Macaire, 1981 et 1986). En Sologne, sous-bassin bien individualisé physiographiquement au sein du bassin de la Loire, les leviers cartographiques récents ont mis en évidence la multiplicité des terrasses associées à des faciès de « vieux sols » déjà décrits par Honorato (1971).

Cet article a pour but de présenter les caractéristiques morphologiques et lithologiques des systèmes fluviaux de la Loire moyenne (« système ligérien ») et de la Sologne (« système solognot ») au Quaternaire. Ces caractéristiques sont

ensuite comparées. Leurs différences sont expliquées à la lumière des connaissances actuelles sur l'évolution morphostructurale du sud du Bassin parisien et sur les flux particuliers dans les systèmes fluviaux. Les champs d'application des échelles stratigraphiques sont ainsi définis et des équivalences proposées.

## L'héritage néogène

Le réseau fluvial ligérien, qui a pris sa configuration actuelle (fig. 1) durant le Quaternaire, est l'aboutissement d'une longue évolution du système fluvial issu du Massif central pendant le Néogène. Les travaux concernant cette évolution sont nombreux. On peut citer notamment : Denizot (1927 et 1968), Gigout (1975), Cavalier et Pomerol (1979), Cavalier (1980), Macaire (1981), Rasplus (1982), Tourenq (1989). La brève synthèse ci-après est issue des travaux de Debrand-Passard (1995) et Debrand-Passard *et al.* (1995).

Au Miocène inférieur, une partie des flux particuliers venant du Massif central est venue se mêler aux dépôts calcaires du lac de Beauce alors régressif, pour donner les Sables et marnes de l'Orléanais. En aval, ce réseau hydrographique aboutissait dans un golfe de l'océan Atlantique qui s'avancait sur la Touraine et le Blésois : ces écoulements contribuaient largement à l'alimentation de la phase détritique terrigène des faluns. Cette influence plus marquée des processus fluviaux dans la sédimentation, par rapport à l'Oligocène, paraît liée à une augmentation des précipitations.

Au Miocène moyen puis supérieur, les Sables et argiles de Sologne « inférieurs » ont succédé aux Sables et marnes de l'Orléanais dans la cuvette solognote. La mer a quitté le Blésois puis la Touraine. La formation fluviale solognote a progressé vers l'ouest au fur et à mesure du comblement du golfe ligérien (partie inférieure probable des sables « post-helvétiques » de Touraine), s'avancant jusqu'en Anjou où la mer était encore présente (faluns d'Anjou).

A la transition Miocène terminal - Pliocène inférieur, le relèvement de la partie sud du bloc armoricain a chassé la mer de la région, inhibant ainsi l'écoulement du fleuve des Sables et argiles de Sologne en direction de l'ouest. Les

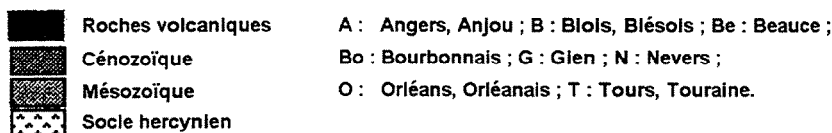
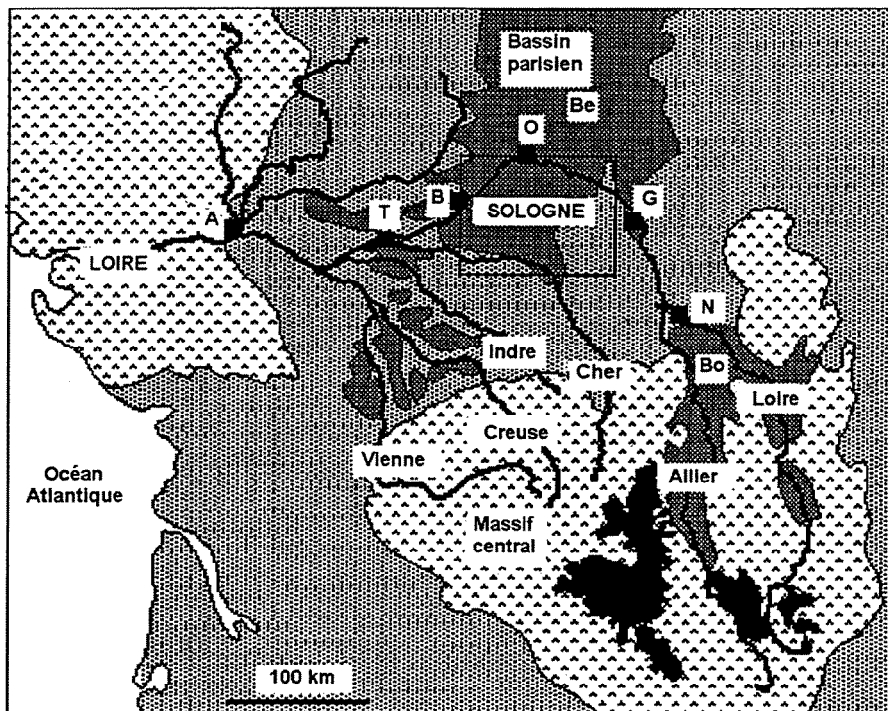


Fig. 1.- Le bassin sognot dans le système ligérien.

Fig. 1.- The Sologne basin in the "Ligerian" system.

écoulements et flux particuliers issus du Massif central, ont alors exploité la topographie déprimée selon un axe sud-nord en Beauce, rejoignant la Manche après avoir suivi le tracé de l'actuelle Seine : les Sables et argiles de Sologne « supérieurs » et les Sables de Lozère, correspondant aux parties moyenne et inférieure d'un même fleuve, sont les témoins de cet épisode.

Au Pliocène supérieur, le rajonissement du relief du Massif central et le volcanisme du Mont-Dore ont coïncidé avec le dépôt des Sables et argiles du Bourbonnais à zircons volcaniques et quartz de ponce. Les « Cailloutis culminants » de Sologne et la partie supérieure des « Sables post-helvétiques » de Touraine contiennent les mêmes indices minéralogiques montrant l'abandon du cours N-S et le retour vers l'ouest des écoulements préligériens.

Ce rapide panorama montre que le réseau hydrographique préligérien peut être divisé en deux zones :

- une zone correspondant à la Sologne, pivot de l'hydrographie, qui a été le siège permanent au Néogène des écoulements et du stockage des particules issues du Massif central ;

- une zone à tracé fluctuant, située à la périphérie de la Sologne, en amont et en aval. Elle correspond à des écoulements linéaires d'orientation (sud-nord, est-ouest) et de longueurs variables selon la position des rivages marins. Les dépôts associés y sont très discontinus.

Cette différenciation se retrouve dans l'hydrographie ligérienne au Quaternaire.

### Dépôts fluviaux de la Loire moyenne au Quaternaire

De Nevers à Angers, la Loire traverse les formations mésozoïques et cénozoïques du sud du Bassin parisien : calcaires et marnes jurassiques, sables et craies crétacées, sables et argiles néogènes de Sologne au cœur de la boucle orléanaise

(fig. 1). Dans cette section, les alluvions ligériennes sont localisées à proximité du fleuve et présentent des caractéristiques lithologiques nettes.

### Distribution morphologique des dépôts fluviaux

La vallée de la Loire a une largeur de 2 à 5 km entre Nevers et Gien, 15 à 20 km en Sologne, 2 à 3 km en Blésois et Touraine, et 7 à 10 km en Anjou en aval de la confluence avec la Vienne. La plupart des stocks alluviaux actuels et anciens se trouvent dans la vallée profonde de 40 à 80 m selon les sections. Les alluvions ligériennes les plus anciennes (fleuve à augite Loire-Loing-Seine) s'étalent latéralement jusqu'à 20 km du cours actuel. Les alluvions fluviales ont donc une extension limitée et ne couvrent qu'une faible proportion de la surface des versants qui les ont alimentées. L'évaluation quantitative précise des dépôts stockés dans le réseau ligérien est en cours.

Ces alluvions sont distribuées en terrasses dont le nombre, généralement réduit, varie selon la section considérée (tabl. 1) :

- entre Nevers et Gien, on repère cinq à six niveaux de terrasses selon les sections. Les dépôts les plus anciens ont été attribués aux Sables et argiles du Bourbonnais, contemporains des éruptions du Mont-Dore (2 à 3 Ma) (Tourenq, 1989). Selon les cartes, ces dépôts sont notés Fx (feuille Léré à 1/50 000 : Bigot *et al.*, 1969), Fu ou m-p (feuille Gien : Gigout, 1977). Ils se trouvent en bordure de la vallée actuelle, en rive droite entre La Charité-sur-Loire et Cosne-sur-Loire, en rive gauche à proximité de Châtillon-sur-Loire. Lorsqu'il n'y a pas rejeu tectonique, ils dominent la Loire d'une cinquantaine de mètres. En contrebas, ont été identifiées assez régulièrement une haute terrasse à 30 m d'altitude relative (notée Fv, Fu ou FC selon les cartes), une moyenne terrasse vers 10 m (Fw), une basse terrasse vers 5-6 m (Fx) et les unités Fy et Fz formant la basse plaine alluviale ;

- en Sologne orléanaise, les terrasses possèdent une grande extension latérale. Les plateaux sont couverts, à 45-50 m au-dessus du fleuve, de « Cailloutis culminants » ou « préligériens » (Denizot,

	LOIRE		SOLOGNE		
AGE	Morphologie*	Lithofaciès (Macaire, 1981)	Morphologie* (Fleury)	Lithofaciès (Honorato, 1971)	
Holocène	Plaine inondable Fz (0m)	Fz	Plaine inondable Fz et Fy-z (0 m) (HP19 et 20)		
Pléistocène	Très basse terrasse Fy et « montilles » (2-6 m)	Fy	Basse terrasse Fyb (2-10m) (HP18)		
	Basse terrasse Fx (5-10 m)	Fx			
	Moyenne terrasse Fw (10-20 m)	Fw	Moyennes terrasses Fx (10-25 m)	Fxc	(HP17)
			Basse terrasse Fya (5-15m)	Fxb	
			Fxa		
	Haute terrasse Fv (30-40 m)	Fv	Haute terrasse Fwb (15-30 m) (HP8)		
Pliocène sup.	Plateau Fu, p ou m-p (40-50 m)		Plateau Fwa ou Fv (30-40 m)		

\* Cotes relatives minimum et maximum en m par rapport à la plaine inondable.  
Notation adoptée sur la majorité des cartes géologiques du secteur couvert.

Tabl. 1.- Unités morphologiques et lithologiques des systèmes fluviaux ligérien et solognot avec équivalences possibles.

Table 1.- Morphological and lithological units of the "Ligerian" and "Sologne" river systems with possible equivalences.

1927), pouvant contenir localement des minéraux mont-doriens (Pliocène supérieur : feuille Châtillon-Coligny à 1/50 000 : Gigout, 1977). En contrebas, ont été reconnus les niveaux Fv (30 m : terrasse de Dampierre), Fw pouvant être subdivisés en niveau de Châteauneuf (14-17 m) et niveau des Nées (11-13 m), Fx (6-8 m : terrasse de Tigy), Fy pour les « montilles » culminant à 2 ou 3 m au-dessus de la plaine d'inondation et Fz pour cette dernière (Gigout *et al.*, 1972). Les niveaux Fv et Fw peuvent être réunis en un glaciaire polygénique continu, sur le versant de rive convexe à Olivet ;

- en Touraine, les plateaux, situés à une altitude relative de 40 à 50 m environ au-dessus de la Loire, sont couverts de sables et graviers dits « post-helvétiques » car superposés au falun miocène. L'unité sablo-graveleuse supérieure peut localement être attribuée au Pliocène supérieur (minéraux mont-doriens). En contrebas, les terrasses sont peu nombreuses. On repère (Macaire, 1981) les niveaux Fv (30 à 35 m) en rares placages discontinus parfois emboîtés dans les sables « post-helvétiques » en haut des versants, Fw (15 à 20 m) surtout bien représentés en rive droite à Bourgueil, Fx (8-10 m) formant d'étroites banquettes discontinues à la base des versants, Fy (5-6 m) bien développé à la confluence Loire-Vienne et Fz formant le lit majeur de la Loire.

Dans sa section moyenne (Gien à Angers), la Loire a donc incisé des plateaux couverts de dépôts datés, au moins en partie, du Pliocène supérieur (fig. 2). Au sein de la vallée, selon les sections, on comptabilise cinq ou six replats morphologiques distincts, plaine alluviale moderne comprise (fig. 3b). Le nombre des terrasses identifiées le long des grands affluents de rive gauche (Cher, Indre, Vienne et Creuse) est comparable (Macaire, 1981 et 1983).

### Caractéristiques lithologiques et lithostratigraphie

#### Les apports initiaux

Sous les surfaces alluviales précédemment décrites, les dépôts fluviaux non remaniés par le colluvionnement ont une épaisseur variable jusqu'à un maximum de 10 m dans la plaine d'inondation moderne (Champion *et al.*, 1971).

Les analyses pétrographiques et minéralogiques (Babonaux, 1970 ; Gigout *et al.*, 1972 ; Tourenq, 1972 et 1989 ; Macaire, 1981 ; Brossé, 1982) ont montré que les alluvions modernes sont à dominante sablo-graveleuse et riches minéralogiquement. Elles sont composées essentiellement d'éléments issus plus ou moins directement du socle centralien. Plus de 50 % des graviers sont constitués de granites, roches métamorphiques diverses, basaltes et quartz.

Calcaires et silex sont en proportions variant selon les apports locaux en Loire moyenne.

La fraction sableuse est surtout quartzofeldspathique, riche en feldspaths (30 % dont 1/3 de plagioclases). Le calcaire représente quelques pour cents au plus et les micas (muscovite et biotite) sont localement abondants. Les minéraux lourds peuvent représenter jusqu'à 3 à 4 % des grains sableux. Ils comprennent surtout, à côté des ubiquistes résistants, des pyroxènes (70 à 80 % des grains transparents), du grenat, des amphiboles et de l'olivine, ainsi que de la magnétite. Cette composition varie sensiblement de l'amont vers l'aval et a aussi varié dans le temps : les apports anciens (unités Fv, Fw..) ont été plus pauvres minéralogiquement que les apports récents (Fy, Fz) (Macaire, 1985).

Parmi ces composants, l'augite est un bon minéral traceur de la direction des écoulements ligériens au Quaternaire (Tourenq, 1972). Les zircons émis par les éruptions volcaniques montdoriennes entre 3 et 2 Ma et fixés dans les stocks alluviaux du Bourbonnais ont permis de séparer les dépôts pliocènes des dépôts quaternaires (Tourenq, 1989).

#### L'évolution post-dépôt

La cumulation des phases d'altération météorique et de pédogenèse post-dépôt a

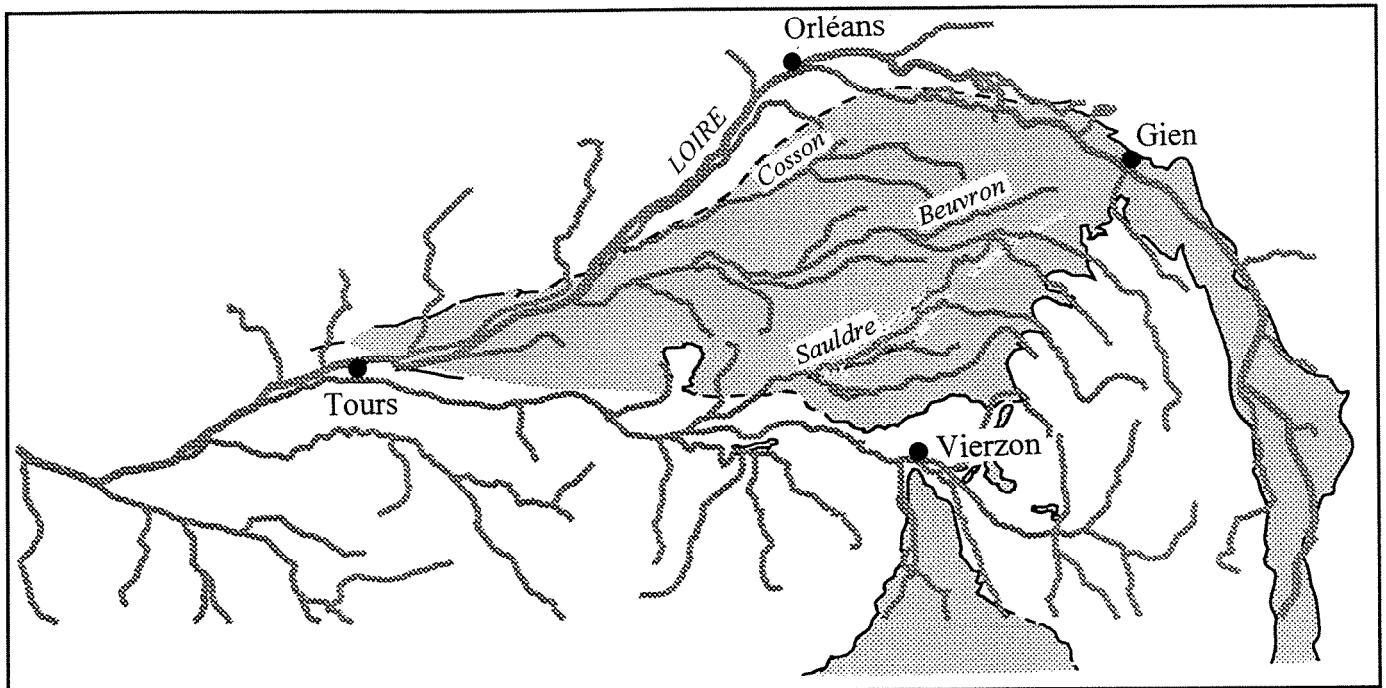


Fig. 2.- Extension des dépôts du Pliocène supérieur (-3 à -2 Ma) dans le bassin de la Loire moyenne.

Fig. 2.- Extension of the Upper Pliocene deposits (-3 to -2 Ma) in the middle Loire basin.

engendré des faciès particuliers (« vieux sols ») au sein des stocks alluviaux. Ces vieux sols sont visibles jusqu'à quelques mètres sous la surface. Ils sont parfois recouverts d'une couverture colluviale pluridécimétrique portant le sol actuel. Les faciès et paragenèses minérales des vieux sols sont d'autant plus évolués que la résidence des alluvions a été longue. Ceci a permis l'élaboration d'une échelle lithostratigraphique (Horemans, 1961 ; Macaire, 1981 et 1986) (fig. 3a) : les unités Fv à Fz décrites ci-après correspondent aux niveaux de terrasse portant la même notation.

L'unité Fz sub-actuelle porte des sols d'apport peu à pas évolués, parfois marqués par l'hydromorphie. L'unité Fy, faiblement altérée, présente un horizon Bt épais de 1 à 2 m, à matrice argilo-ferrique brun jaunâtre peu abondante, distribuée en bandes, surtout marquée par la présence de vermiculite. L'unité Fx, moyennement altérée, a un Bt peu colmaté en bandes, brun, épais de 3 à 4 m, à smectite et kaolinite plus abondante.

L'unité Fw, fortement altérée, est caractérisée par un horizon Bt à bandes argilo-ferriques brun rougeâtre, pouvant atteindre 6 m d'épaisseur, sans argiles 2/1 mais riche en kaolinite. Un horizon de

dégradation A2, blanchi, affecte la partie supérieure du Bt.

L'unité Fv, très fortement altérée, développe un Bt très colmaté et bariolé (rouge à glosses gris verdâtre d'hydromorphie), épais de 5 à 6 m, riche en smectite et kaolinite, et dégradé à sa partie supérieure dans un horizon A2. Ce faciès représente le degré d'évolution ultime.

Cette échelle lithostratigraphique est applicable non seulement aux alluvions de la Loire de l'Orléanais à l'Anjou, mais aussi aux dépôts des affluents de rive gauche (Cher, Indre, Vienne et Creuse) qui drainent en amont le socle centralien et sont aussi à large dominante sableuse. Dans ces vallées, le degré d'altération des alluvions les plus anciennes (niveaux Fu et Ft) est maintenu aux stades Fv ou Fw par l'érosion mécanique qui a rajeuni les profils en surface.

### Les dépôts fluviaux en Sologne

Les formations sablo-argileuses miocènes de Sologne se trouvent au cœur du coude ligérien (fig. 1). Elles sont drainées par de petits cours d'eau (Cosson, Beuvron, Sauldre) affluents de la

Loire et du Cher, formant un sous-bassin (5000 km<sup>2</sup>) inclus dans le bassin versant de la Loire, avec des caractéristiques morphologiques et lithologiques différentes (fig. 4).

### Distribution morphologique des dépôts fluviaux

En Sologne, les alluvions fluviales couvrent environ 90 % de la surface, comme le montrent les cartes géologiques récentes à 1/50 000 : feuilles Argent-sur-Sauldre (Fleury, 1991), Aubigny-sur-Nère (Fleury, 1990), Saint-Martin d'Auxigny (Fleury *et al.*, 1994), Salbris (Fleury, 1992), Romorantin (Fleury, 1998) et Lamotte-Beuvron (Fleury, 1998).

Les vallées sont peu marquées dans le paysage (profondeur inférieure à 40 m) mais le nombre des terrasses est assez élevé (jusqu'à 8) (fig. 5b). Des cailloutis fluviaux postérieurs à la formation miopliocène de Sologne couvrent en partie les plateaux (fig. 2). Ces « Cailloutis culminants » correspondent localement aux « Cailloutis pré-ligériens » de Denizot (1927). Ils ont été notés Fw ou Fwa voire Fv selon les cartes et renferment souvent des minéraux montdorians indiquant un



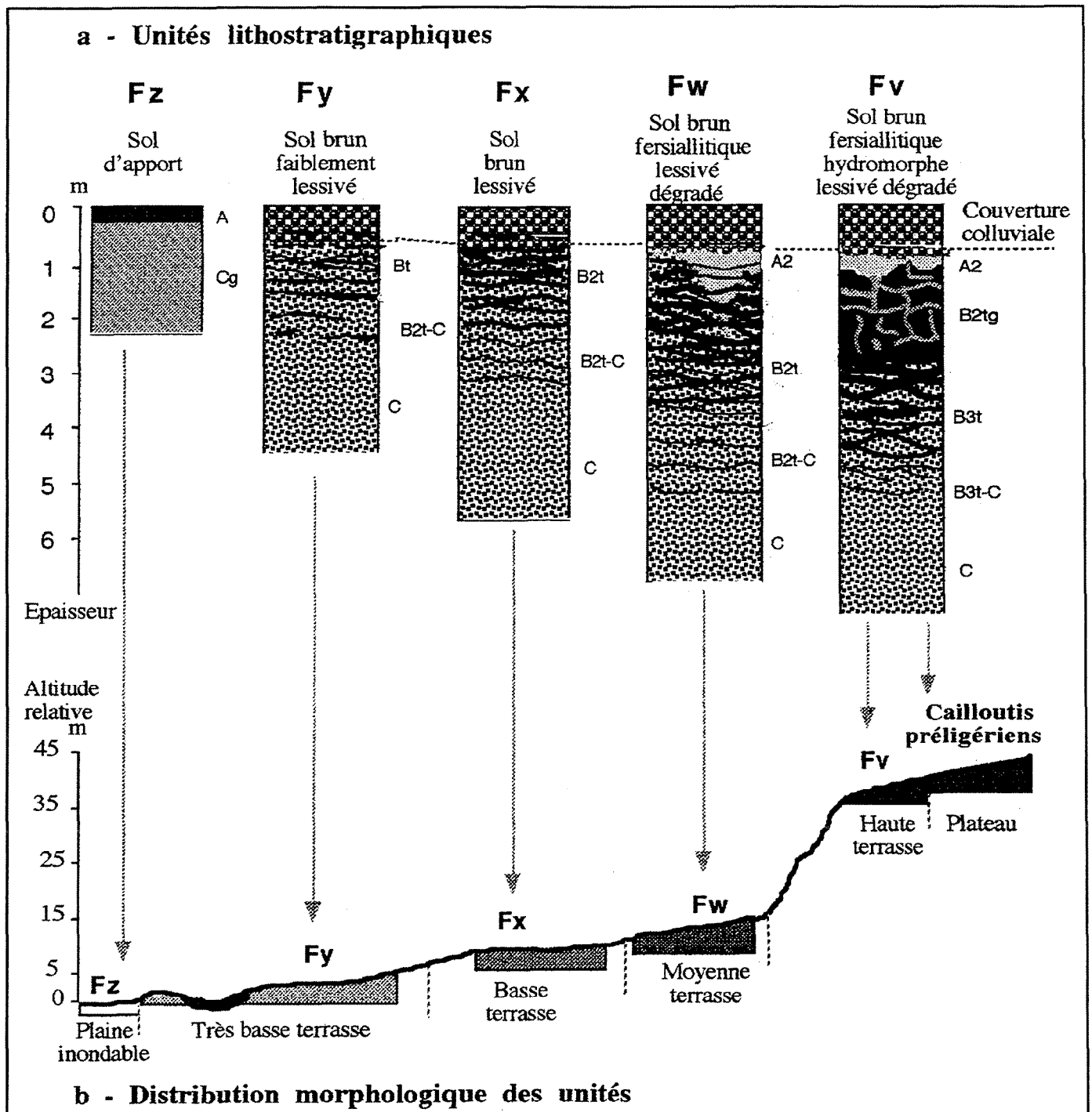


Fig. 3.- Les terrasses fluviales du système ligérien : (a) unités lithostratigraphiques et (b) distribution morphologique des unités.

Fig. 3.- River terraces of the "Ligerian" system: (a) lithostratigraphic units, and (b) morphological distribution of the units.

âge Pliocène supérieur. Latéralement, vers le sud et le sud-est, ces cailloutis passent à des éventails alluviaux (notés Fv) issus du compartiment occidental relevé de la faille de Sancerre.

En contrebas, les niveaux suivants ont été décelés (tabl. 1) :

- Fwb, consécutif à la première

entaille quaternaire, situé entre 15 et 30 m d'altitude relative selon les secteurs ;

- Fx, souvent subdivisé en trois niveaux étagés ou emboîtés (Fxa, Fxb et Fxc) entre 10 et 25 m selon les secteurs ;

- Fy, généralement subdivisé en Fya (5-15 m) et Fyb (2-10 m) ;

- Fz ou Fy-z selon les cartes, formant

la plaine inondable.

Les surfaces d'affleurement des formations anciennes se sont progressivement réduites au fur et à mesure de l'enfoncement du réseau hydrographique (fig. 6). Les dépôts de « moyenne terrasse » couvrent une grande partie de la Sologne actuelle.

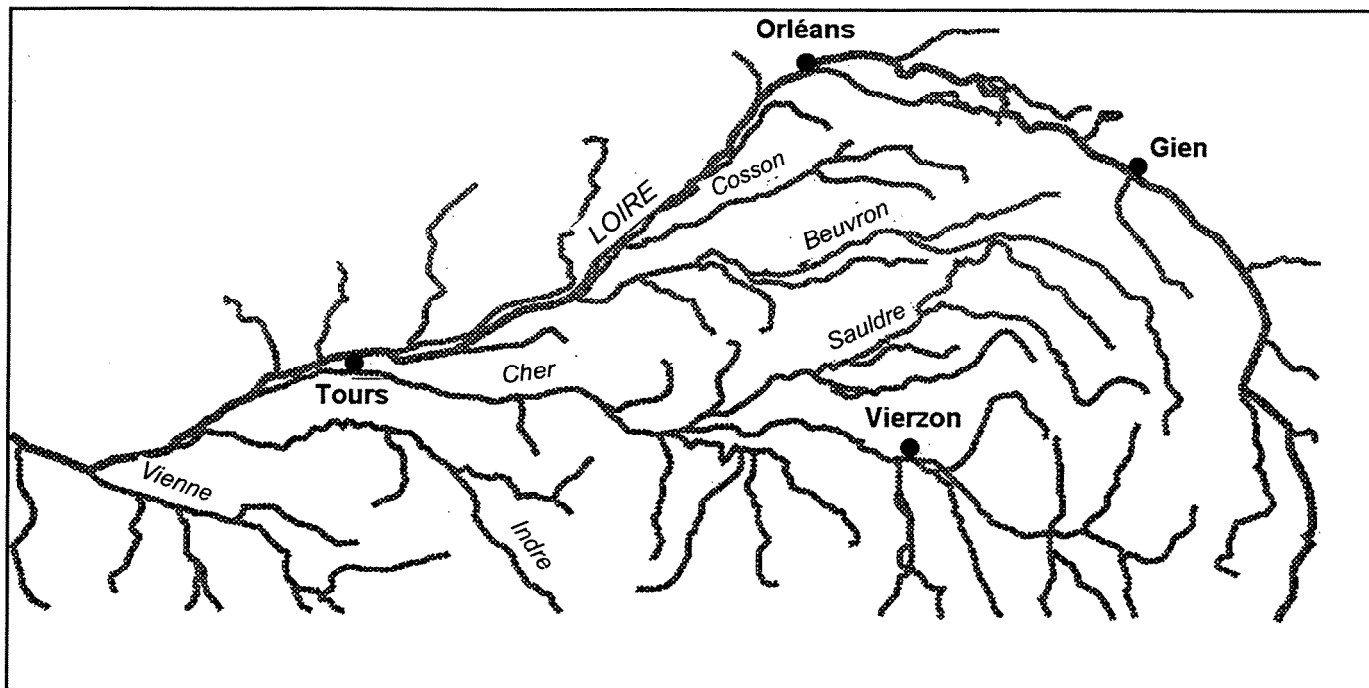


Fig. 4.- Hydrographie actuelle du bassin sognot.

Fig. 4.- Present hydrography of the Sologne basin.

## Caractéristiques lithologiques et lithostratigraphie

### Les apports initiaux

Les alluvions fluviales du sous-bassin sognot sont surtout sableuses et plus riches en argiles que les alluvions de la Loire. Elles se distinguent des sables et argiles mio-pliocènes sous-jacents par leur enrichissement en éléments grossiers. Ces alluvions ont été alimentées à partir de trois sources distinctes : la formation de Sologne, les dépôts ligériens anciens épandus à la surface de la précédente et les formations crétacées affleurant à la périphérie de la Sologne.

La formation de Sologne a été la principale pourvoyeuse de matière. La fraction sableuse a été préférentiellement stockée, la fraction argileuse ayant été plus fortement évacuée en aval du bassin. Les sables de la formation de Sologne sont essentiellement quartzo-feldspathiques : la teneur en feldspaths, exclusivement potassiques, est en moyenne d'environ 24 % (Rasplus, 1982). Les micas sont peu abondants et les minéraux lourds marqués par la dominance des ubiquistes résistants (tourmaline, zircon, rutile) sur les minéraux de métamorphisme (surtout andalousite, staurotide et sillimanite). Parmi les minéraux fragiles,

on remarque seulement un peu de grenat à la base de la formation (Rasplus, 1982).

Les dépôts ligériens du Quaternaire ancien ont fourni une fraction sableuse surtout quartzreuse. Ils sont principalement signalés par les abondants graviers et galets de quartz roulés issus du socle centralien ainsi que par des silix et roches siliceuses diverses. Les formations crétacées sont représentées par des silix mal roulés, généralement grossiers.

Au total, les dépôts fluviaux quaternaires du sous-bassin sognot, riches en quartz et en silix, sont pauvres minéralogiquement.

### L'évolution post-dépôt

L'altération et la pédogenèse post-dépôt ont engendré des faciès présentant certaines analogies avec ceux du système ligérien, mais aussi des spécificités nettes.

Dans la vallée du Cosson, Honorato (1971) a décrit une série de vieux sols répartis sur les divers niveaux de terrasses (unités 1 à 4, fig. 5a et b). Les sols les plus récents (unités 1 = HP19 et HP20 d'Honorato et unité 2 = HP18) sont essentiellement marqués par l'hydromorphie en raison du caractère initialement argileux des sédiments. L'unité 2 est

cependant plus évoluée, avec un léger lessivage de l'argile.

Les unités 3 (HP17) et 4 (HP8) sont à large dominante sableuse. Elles sont caractérisées par un horizon Bt d'accumulation argilo-ferrique brun (unité 3) à rougeâtre (unité 4), en bandes, d'autant plus épaisses que les alluvions sont anciennes. On y retrouve sensiblement les équivalents des unités Fx et Fw du système ligérien. L'horizon A2 de dégradation du Bt, blanchi et glossique, est présent dans les unités 3 et 4. Il affecte notamment des horizons Bt peu différenciés, de couleur brune, à un stade précoce de leur évolution (unité 3 comparable par son Bt à l'unité Fx du système ligérien). A ce stade, l'horizon A2, selon les cas, peut être tronqué par la couverture colluviale ou affecter la couverture et les alluvions sous-jacentes (fig. 5a) (Honorato, 1971).

Les cortèges de minéraux argileux, caractérisés par la dominance de la montmorillonite sur la kaolinite et l'illite dans la plupart des unités, traduisent plus un héritage des formations de Sologne qu'une genèse au sein des vieux sols (Honorato, 1971).

Le faciès le plus évolué (unité 5, fig. 5a), à horizon Bt très colmaté et bariolé et A2 de dégradation, comparable au faciès Fv du système ligérien, n'a pas été décrit



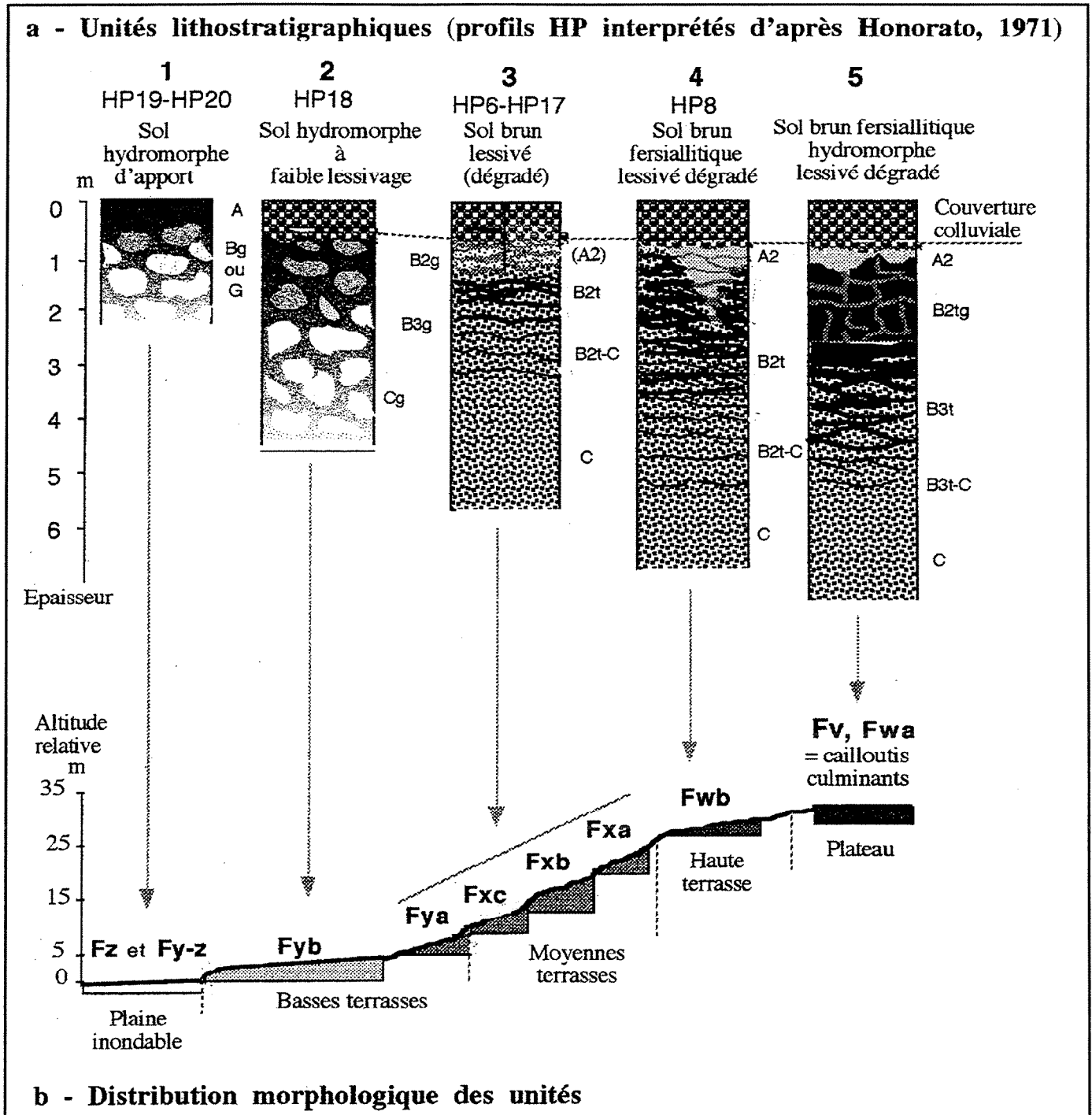


Fig. 5.- Les terrasses fluviales du système sognot : (a) unités lithostratigraphiques et (b) distribution morphologique des unités.

Fig. 5.- River terraces of the "Sologne" system: (a) lithostratigraphic units, and (b) morphological distribution of the units.

par Honorato. Il a cependant été observé sur les cailloutis de plateau.

Au total, la séquence des vieux sols alluviaux en Sologne est sensiblement différente de celle du système ligérien. Mis à part les termes extrêmes (unités 1, 2 et 4), les terrasses intermédiaires (Fx et Fya sognots) portent des sols peu différents les uns des autres (type unité 3).

**Comparaison des systèmes ligérien et sognot**

**Quantité de matériaux alluviaux stockés**

Les nombres de terrasses et les taux de couverture par les stocks fluviaux sont différents dans les bassins ligérien et

sognot. Ceci traduit des bilans sédimentaires et des dynamiques fluviales différents que l'on peut attribuer à des caractères morphologiques et hydro-climatiques distincts dans les deux bassins au Quaternaire (Meade, 1988).

Dans le couloir ligérien, les alluvions fluviales quaternaires sont situées à proximité du fleuve. Les versants du bassin de la

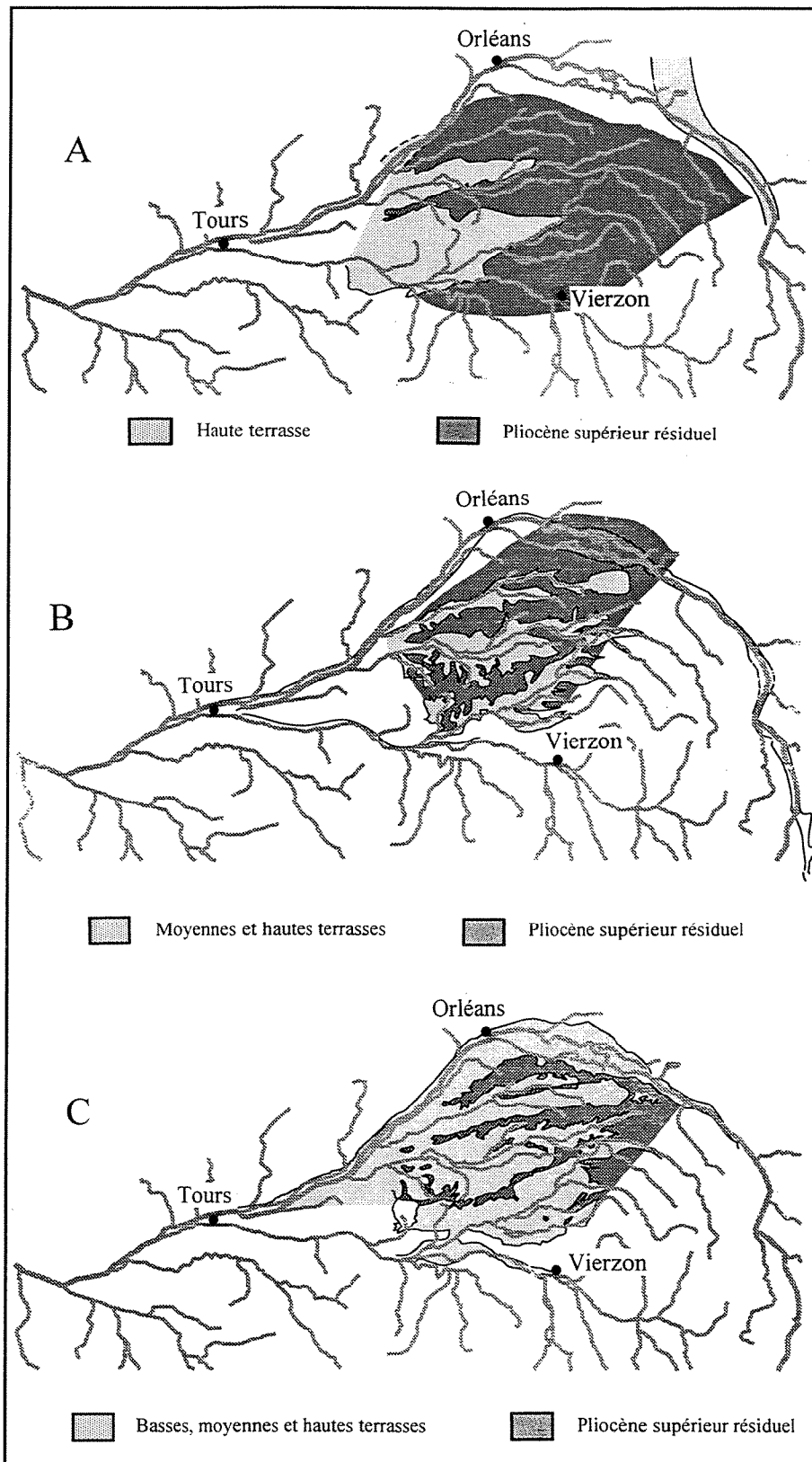


Fig. 6.- Reconstitution de l'extension des dépôts fluviaux quaternaires en Sologne à trois stades d'enfoncement du réseau hydrographique. A : haute terrasse (Fwb : 15-30 m) et Cailloutis préligérien ; B : moyennes terrasses (Fx : 10-25 m), haute terrasse (Fwb : 15-30 m) et Cailloutis préligérien ; C : basses terrasses (Fy : 2-15 m), moyennes terrasses (Fx : 10-25 m), haute terrasse (Fwb : 15-30 m) et Cailloutis préligérien.

Fig. 6.- Reconstruction of the extension of Quaternary fluvial deposits in Sologne at three stages in the down cutting of the hydrographic net work. A : high terrace (Fwb : 15-30 m) and "pre-Ligerian Gravels"; B : middle terraces (Fx : 10-25 m), high terrace (Fwb : 15-30 m) and "pre-Ligerian Gravels"; C : low terrace (Fy : 2-15 m), middle terraces (Fx : 10-25 m), high terrace (Fwb : 15-30 m) and pre-Ligerian Gravels.

Loire et de l'Allier ont des pentes marquées dans le Massif central (souvent de l'ordre de 10 %) où la majorité des particules circulant en Loire moyenne a été prélevée par l'érosion mécanique. La Loire a une pente longitudinale assez forte (moyenne 5 ‰ en amont à 0,5 ‰ en section moyenne). L'énergie hydraulique du fleuve n'a permis le stockage le long de son cours que d'une faible proportion de la production sédimentaire issue des versants.

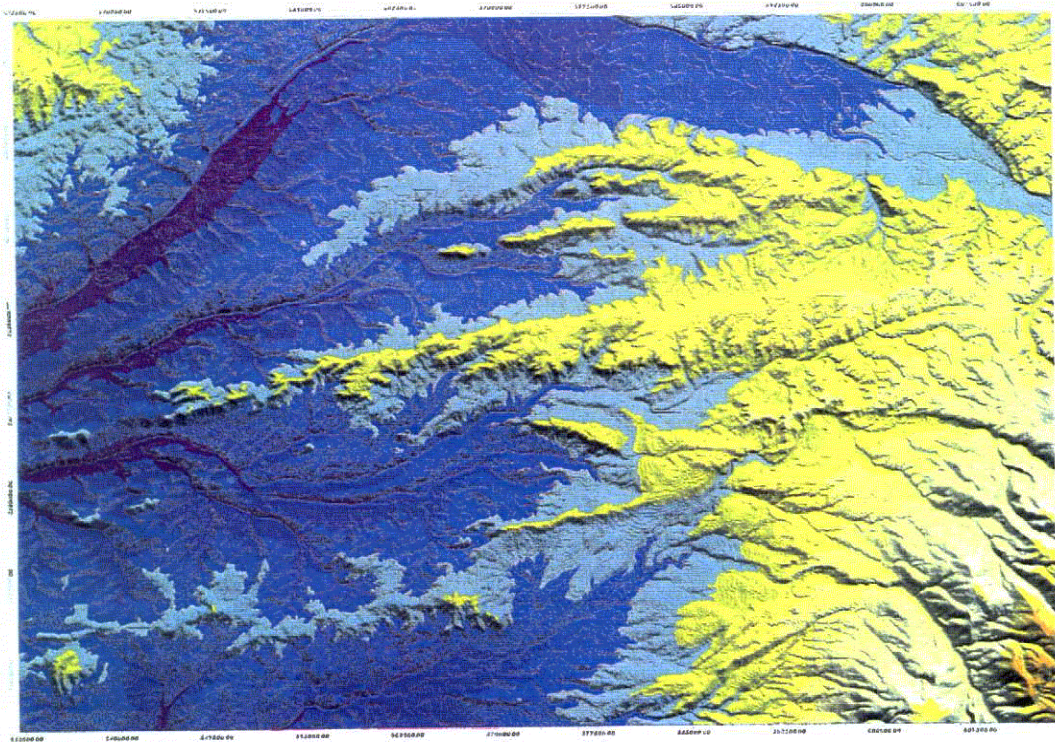
En Sologne, le caractère meuble du substrat néogène a facilité sa reprise par érosion mécanique. Les pentes longitudinales du Cosson, du Beuvron et de la Sauldre (0,2 à 0,5 ‰) et des versants soumis à l'érosion (de l'ordre de 0,5 ‰), sont faibles. Dans ce contexte de bassin à très faible relief, l'énergie nécessaire à la dispersion par les eaux courantes de la production sédimentaire des versants et à son évacuation de la Sologne vers la Loire ou le Cher, est faible. Ceci explique le fort taux de recouvrement (environ 90 %) et de stockage alluvial dans ce sous-bassin.

Le rôle de réceptacle privilégié de sédiments, joué par la dépression solognote durant tout le Néogène, a facilité la formation d'un bassin solognot au Quaternaire. Cependant, si au Néogène l'essentiel de la production sédimentaire piégée en Sologne était issue du Massif central, au Quaternaire, le bassin solognot s'est auto-alimenté à partir des formations détritiques antérieures.

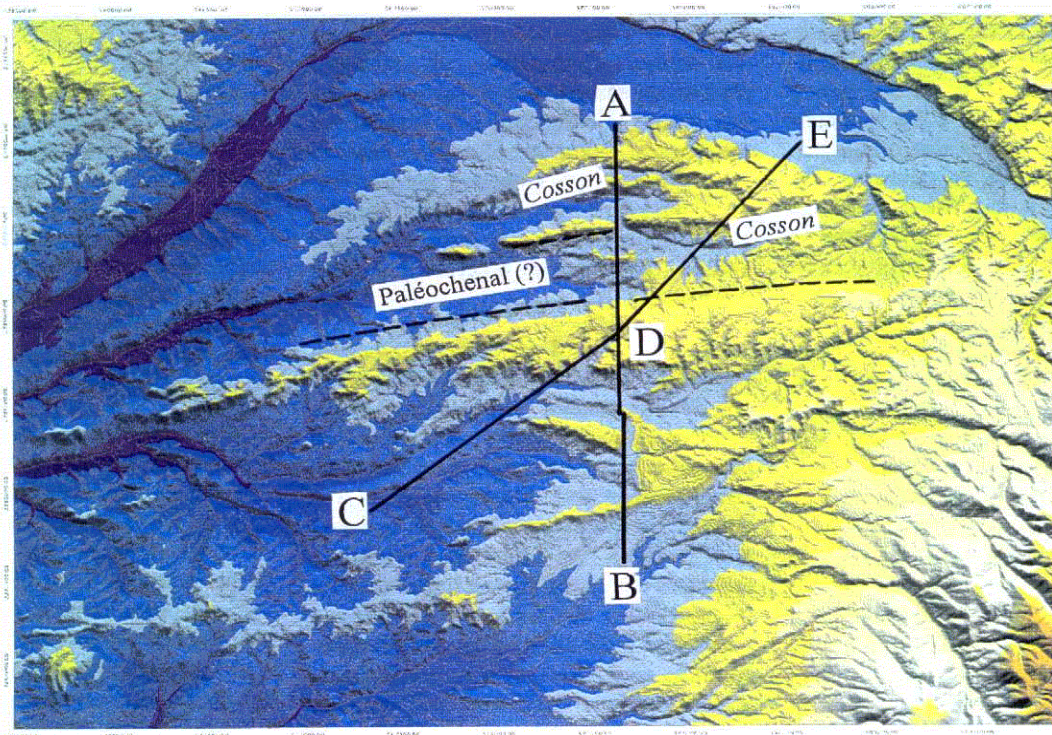
L'évolution morphologique de la Sologne au Quaternaire s'observe aisément sur une image MNT (image couleur obtenue à partir du Modèle Numérique de Terrain de l'IGN, fig. 7a). L'érosion « en doigt de gant », plus importante que l'alluvionnement, tend à faire disparaître les Cailloutis culminants, surtout dans la partie occidentale de la Sologne. Cette image montre aussi le rejeu récent des principaux accidents régionaux (faille de Senely W, de Sully, de Sept-Fontaines, de Bouteille ou Saint-Benoît-sur-Loire) : on observe par exemple le tracé en baïonnette du Cosson au niveau de la faille de Senely W (fig. 7b). L'image MNT révèle aussi le possible paléochenal N 80° E du Bourbonnais (Cailloutis culminants).

Le caractère dissymétrique des versants des vallées actuelles apparaît (fig. 7a) : versants exposés au nord assez raides et réguliers, et versants exposés au





(a)



(b)

Fig. 7.- Morphologie de la Sologne après traitement du modèle numérique de terrain (MNT) de l'IGN. (a) : image brute ; (b) : localisation des failles et du « paléochenal » possible de la formation du Bourbonnais.

AB : faille de Sennely W ; CD : faille de Sept Fontaines ; DE : faille de Bouteille ou de Saint-Benoît-sur-Loire.  
Les noms des cours d'eau sont indiqués sur la figure 4.

Fig. 7.- Morphology of the Sologne after processing the IGN digital elevation model. (a) : unprocessed image ; (b) : location of the faults and the possible Bourbonnais palaeochannel.

AB: W; Sennely Fault; CD: Sept Fontaines fault; DE: Bouteille or Saint-Benoît-sur-Loire Fault.  
The river names are given in Figure 4.



sud très longs, plus doux et disséqués par l'érosion hydrique. Ceci traduit d'abord une migration N-S des drains solognots sur une distance kilométrique. Cette dissymétrie est opposée à celle observée habituellement dans le Bassin parisien et attribuée à des processus climatiques périglaciaires (Jourmaux, 1976). Elle correspond plutôt à la dissymétrie climatique notée dans les régions nordiques, peut-être en raison du caractère argilo-sableux du substrat.

### Nombre des terrasses alluviales

Les terrasses fluviales du bassin de la Loire moyenne ont été essentiellement induites par les variations climatiques du Quaternaire (Gras, 1963 ; Gigout *et al.*, 1972 ; Macaire, 1981). Rappelons que le nombre des terrasses préservées correspond au nombre minimum de phases de stockage sédimentaire, certaines ayant été gommées par l'érosion.

Dans la vallée de la Loire, le nombre des terrasses est faible : 5 ou 6, plaine moderne comprise. Le régime hydrodynamique de la Loire et de ses grands affluents de rive gauche a été fortement marqué par l'alternance des phases climatiques quaternaires, en raison de l'influence des reliefs du Massif central en amont. Lors de périodes froides et humides, la présence de fortes couvertures neigeuses et de glaciers dans le Massif central (Goer de Herve, 1972 ; Veyret, 1978), a favorisé la production de sédiments (Church et Ryder, 1972) et la sédimentation en Loire moyenne après un transit des particules sur une distance de quelques centaines de kilomètres. Ces périodes de fort stockage sédimentaire en Loire moyenne, probablement brèves et peu nombreuses, ont tranché par rapport à l'activité habituelle du fleuve, surtout favorable à l'érosion comme l'indique le net creusement de la vallée (40 à 80 m). L'équilibre du bilan des flux amont-aval est en fait rarement réalisé (Trimble, 1975).

Dans le sous-bassin solognot, d'altitude moyenne basse (100-130 m), il n'y a jamais eu de glacier. Les variations des paramètres climatiques entre périodes glaciaires et interglaciaires ont été moins fortes que dans le Massif central. Cependant, le nombre élevé des terrasses (jus-

qu'à 8) et les faibles différences d'altitude entre elles, montrent que l'hydrodynamique des cours d'eau et les flux particuliers ont été sensibles à ces plus faibles variations climatiques. Les conditions favorables au stockage des sédiments, après un transit de quelques dizaines de kilomètres, ont été souvent réunies. La faible profondeur des vallées (moins de 40 m) confirme le caractère limité de l'érosion dans la cuvette solognote.

### Les lithofaciès alluviaux

Les différences observées dans les faciès d'altération et de paléopédogenèse des alluvions dans les deux systèmes étudiés résultent essentiellement de la lithologie initiale des dépôts alluviaux (Pedro *et al.*, 1969).

Les alluvions de la Loire, à large dominante sableuse, sont peu favorables au développement d'hydromorphie. Elles sont généralement riches en composants altérables (augites, olivines, plagioclases, biotite, basaltes...), particules de premier cycle (Suttner et Dutta, 1986) directement issues des roches magmatiques et métamorphiques du Massif central. Par cumulation des phases d'altération, ces composants fragiles ont fourni une abondante matrice argilo-ferrique qui a conduit progressivement au colmatage de l'horizon pédologique Bt, complet dans le faciès Fv le plus évolué (Bt bariolé à glosses hydromorphes).

En Sologne, les alluvions récentes plus argileuses (unités 1 et 2) ont été favorables au développement des faciès hydromorphes au détriment des autres processus pédogénétiques. Les sables, pauvres minéralogiquement, sont exclusivement polycycliques (remaniés de sédiments préexistants). Dans les alluvions fortement sableuses des unités plus anciennes (3 et 4), la production de matrice argilo-ferrique secondaire a été lente et insuffisante pour colmater complètement le squelette quartzofeldspathique des vieux sols, excepté dans les dépôts pliocènes de plateau (faciès 5).

L'apparition des horizons A2 de dégradation dans les Bt indique une certaine ancienneté de l'évolution pédologique dans les deux systèmes. En Sologne, la dégradation s'est développée après le dépôt de l'unité 3. Pour Honorato

(1971), elle serait liée à la podzolisation de la couverture colluviale des alluvions. Dans le sud-ouest du Bassin parisien, la dégradation est antérieure au dépôt de l'unité Fx ligérienne et aurait été déclenchée par une phase paléoclimatique (Macaire, 1981). Quelle que soit son origine, la dégradation est favorisée par un matériau pauvre minéralogiquement, ce qui peut expliquer sa forte représentation et son apparition rapide au sein des unités alluviales solognotes lorsqu'elles sont à dominante sableuse (3 à 5).

En conclusion, malgré une certaine similitude des processus et faciès paléopédogénétiques, les granularité et composition minéralogique initiales différentes des alluvions solognotes et ligériennes font qu'il ne peut y avoir de coïncidence exacte entre les faciès des vieux sols. La lithostratigraphie du système ligérien (Macaire, 1981 et 1986) n'est donc pas directement applicable au système solognot.

### Equivalences

Le nombre et l'altitude des terrasses d'une part, et les lithofaciès alluviaux d'autre part montrent que les systèmes fluviaux ligérien et solognot ont évolué différemment. En l'absence de datations précises après le Pliocène supérieur (dépôts de plateau), il est délicat d'établir des équivalences précises entre les phases morphogénétiques, notamment les phases de sédimentation. Des équivalences possibles sont proposées dans le tableau 1. Elles n'ont qu'une valeur indicative.

Ces équivalences sont fondées sur la position relative des terrasses dans les versants qui permet de distinguer dans les deux systèmes des dépôts de plateau, de haute, moyenne et basse terrasses, et de plaine inondable d'où se dégage parfois une très basse terrasse dans le système ligérien. Dans le système ligérien, chaque replat morphologique est marqué par un lithofaciès bien caractéristique, Fv à Fz. Dans le système solognot, les lithofaciès les plus évolués (5 et 4) et les moins évolués (2 et 1) correspondent à des replats bien identifiés dans la toposéquence. Ces replats (Fv et Fwa, Fwb, Fyb, Fz et Fy-z) sont corrélables avec les dépôts fluviaux les plus anciens (Fu, p ou m-p et Fv) et les plus récents (Fx *pp.*, Fy et Fz) du système ligérien. Le faciès 3 solognot se

trouve sur plusieurs replats de moyenne terrasse (Fx) et de basse terrasse (Fya). Il correspond donc essentiellement au faciès Fw de moyenne terrasse ligérien et sans doute au faciès Fx ligérien *pp.*. Mais les corrélations aux limites avec les dépôts antérieurs et postérieurs sont peu assurées.

## Conclusion

Les données et interprétations proposées dans ce travail ont été suscitées par le lever des cartes géologiques à 1/50 000 de la Sologne apportant des éléments nouveaux pour une synthèse régionale. La comparaison des caractéristiques morphologique et lithologique des systèmes fluviaux ligérien et solognot au Quaternaire a montré que :

1) la quantité d'alluvions stockées au Quaternaire, relativement à la surface du bassin versant pourvoyeur, paraît beaucoup plus élevée dans le bassin solognot que dans le bassin ligérien (parties moyenne et

supérieure). Ceci paraît résulter de la permanence d'une cuvette morphotectonique et d'un hydrodynamisme de plus faible énergie en Sologne ;

2) le nombre des terrasses alluviales est plus élevé en Sologne (jusqu'à 8) que dans le système ligérien (jusqu'à 6). Ceci traduit l'impact différent des paléoclimats sur l'hydrodynamisme fluviale dans ces deux bassins : la Sologne n'a pas été soumise à l'influence de flux d'origine glaciaire au Quaternaire, contrairement au couloir ligérien. Les conditions inégales de conservation des stocks alluviaux sont aussi liées aux évolutions morphostructurales spécifiques de ces bassins ;

3) les faciès lithologiques des dépôts fluviaux dans les toposéquences présentent des similitudes apparentes mais aussi des différences assez marquées. Ces différences résultent essentiellement des apports initiaux : à dominante sablo-graveleuse et riches minéralogiquement dans le couloir ligérien, plus argileux et pauvres

minéralogiquement en Sologne. Les similitudes proviennent de conditions d'altération météorique et de paléopédogenèse de stocks alluviaux riches en sables et non calcaires, comparables bioclimatiquement dans les systèmes ligérien et solognot. La combinaison des facteurs roche-mère, climat et végétation a induit des faciès alluviaux bien différenciés selon l'âge des dépôts dans le couloir ligérien et moins nettement discriminant en Sologne. Ceci ne permet pas l'application simple à la Sologne de l'échelle lithostratigraphique établie en Loire moyenne. Les parentés entre les deux systèmes permettent cependant de proposer des corrélations qui devront être étayées ultérieurement par des datations.

Bien que proches géographiquement, la Loire moyenne et la Sologne ont évolué différemment au Quaternaire. Ceci s'explique par des caractéristiques tectoniques, morphologiques, lithologiques et climatiques propres à chacun de ces deux bassins fluviaux.

## Références

- Babonaux Y. (1970) - Le lit de la Loire. Etude d'hydrodynamisme fluviale. Bibliothèque nationale, Paris, 252 p.
- Barrière J. (1971) - Utilisation des paléosols comme élément de datation des formations quaternaires. *C. R. Acad. Sci.*, Paris, 273, 310-313.
- Bigot M., Louat O., Hubert F. (1969) - Carte géologique de la France à 1/50 000, feuille Léré n° 463 et notice, BRGM éditions.
- Bornand M. (1978) - Altération des matériaux fluvio-glaciaires, genèse et évolution des sols sur terrasses quaternaires de la moyenne vallée du Rhône. Thèse doct. Etat, Montpellier, 329 p.
- Brossé R. (1982) - Les processus sédimentaires dans le fleuve Loire. Thèse doct. Etat, Université d'Angers, 350 p.
- Cavelier C. (1980) - Miocène et Pliocène. In Mégnien C. coord., Synthèse géologique du Bassin de Paris. Mém. BRGM, Fr., n° 101, 415-436.
- Cavelier C., Pomerol C. (1979) - Chronologie et interprétation des événements tectoniques cénozoïques dans le Bassin de Paris. *Bull. Soc. géol. Fr.*, (7), 21, n° 1, 33-48.
- Champion M., Maillard Ph., Cario P. (1971) - Les alluvions de la Loire dans la région Centre. Inventaire de la production et des gisements. *Bull. Liaison Lab. Routiers P. et Ch.*, n° 56, 47-68.
- Chartres C. J. (1980) - A quaternary soil sequence in the Kennet valley, Central southern England. *Geoderma*, 23, 125-146.
- Church M., Ryder J.M. (1972) - Paraglacial sedimentation: a consideration of fluvial processes conditioned by glaciation. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 83, 3059-3072.
- Debrand-Passard S. (1995) - Journées d'étude de printemps de l'AGBP. Histoire géologique résumée. *Bull. Inf. Bassin de Paris*, 32, n° 3, 18-25.
- Debrand-Passard S., Clozier L., Tourenq J. (1995) - Evènements tectoniques majeurs, post distension éo-oligocène, de la partie occidentale du bassin de Paris (France). Reconstitution à partir des paléogéographies successives. Colloque Géoprospective 18-19 avril 1994, Paris (France), 239-246.
- Denizot G. (1927) - Les formations continentales de la région orléanaise. Thèse, Marseille, 582 p.
- Denizot G. (1968) - Le Néogène dans le bassin moyen de la Loire (Orléanais, Touraine, Anjou). *Mém. Soc. Géol. Minéral. Bretagne*, 1-21.
- Fleury R. (1990) - Carte géologique de la France à 1/50 000, feuille Aubigny-sur-Nère n° 462 et notice, BRGM éditions.
- Fleury R. (1991) - Carte géologique de la France à 1/50 000, feuille Argent-sur-Sauldre n° 431 et notice, BRGM éditions.
- Fleury R. (1992) - Carte géologique de la France à 1/50000, feuille Salbris n° 461 et notice, BRGM éditions.
- Fleury R. (1998) - Carte géologique de la France à 1/50 000, feuille Romorantin n° 460 et notice, BRGM éditions.
- Fleury R. (à paraître) - Carte géologique de la France à 1/50 000, feuille Lamotte-Beuvron n° 430 et notice, BRGM éditions.
- Fleury R., Lablanche G., Maugest M.C. (1994) - Carte géologique de la France à 1/50 000, feuille Saint-Martin-D'Auxigny n° 492 et notice, BRGM éditions.

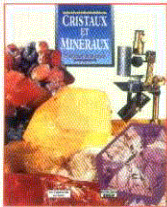
- Gigout M. (1975) - Sur l'histoire du coude de la Loire au Villafranchien (sens large) et au Quaternaire. *C. R. Acad. Sci., Paris*, **280**, 1653-1656.
- Gigout M. (1977) - Carte géologique de la France à 1/50 000, feuille Chatillon-Coligny n° 400 et notice, BRGM éditions.
- Gigout M. (1977) - Carte géologique de la France à 1/50 000, feuille Gien n° 432 et notice, BRGM éditions.
- Gigout M., Horemans P., Rasplus L. (1972) - Sur la géologie des environs d'Orléans. *Bull. BRGM, Fr.*, (2), Section I, n° 1, 1-28.
- Goer de Herve A. (de) (1972) - La planèze de Saint-Flour (Massif volcanique du Cantal - France). Vol. II Formes et dépôts glaciaires. *Ann. Sci. Université de Clermont-Ferrand*, **48**, 203 p.
- Gras J. (1963) - Le bassin de Paris méridional. Etude morphologique. Thèse doct. Lettres, Univ. Paris, 1 vol., 494 p.
- Honorato R. (1971) - Contribution à l'étude des sols de la vallée du Cosson dans la région de la Ferté Saint-Aubin (Loiret). Thèse de 3<sup>ème</sup> cycle, Université de Paris, 208 p.
- Horemans P. (1961) - Contribution à l'étude pédologique des terrasses de la Loire moyenne. Thèse de 3<sup>ème</sup> cycle, Paris, 164 p.
- Hubschman J. (1973) - Etablissement par l'étude des faciès d'altération d'un schéma stratigraphique du Quaternaire garonnais et ariégeois. *C. R. Acad. Sci., Paris*, **277**, 753-755.
- Journaux A. (1976) - Les grèzes litées du Châtillonnais. *Bull. Ass. Fr. Et. Quaternaire*, 3-4, 123-138.
- Macaire J.J. (1981) - Contribution à l'étude géologique et paléopédologique du Quaternaire dans le Sud-Ouest du bassin de Paris (Touraine et ses abords). Thèse de doctorat d'état, Sciences, Université de Tours, 2 tomes, 450 p.
- Macaire J.J. (1983) - Evolution du réseau hydrographique dans le sud-ouest du bassin de Paris pendant le Pliocène et le Quaternaire. *Bull. Ass. Fr. Et. Quaternaire*, n° 16, 183-195.
- Macaire J.J. (1985) - Relations entre les altérites formées sur les roches endogènes du Massif central français et les épandages détritiques périphériques, au Cénozoïque récent. *Géologie de la France*, n° 2, 201-212.
- Macaire J.J. (1986) - Apport de l'altération superficielle à la stratigraphie : exemple des formations alluviales et éoliennes plio-quaternaires de Touraine (France). *Bull. Ass. Fr. Et. Quaternaire*, n° 27-28, 43-55.
- Meade R.H. (1988) - Movement and storage of sediment in river systems. *In: Physical and chemical weathering in geochemical cycles*, A. Lerman and M. Meybeck editors, Kluwer Academic Pub., Dordrecht, 165-180.
- Pedro G., Jamagne M., Begon J.C. (1969) - Mineral interactions and transformations in relation to pedogenesis during the Quaternary. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, **107**, 462-469.
- Penk A., Bruckner E. (1901-1905) - Die Alpen im Eiszeitalter, Leipzig, 1-3.
- Rasplus L. (1982) - Contribution à l'étude géologique des formations continentales détritiques tertiaires du sud-ouest du bassin de Paris. *Mém. Sci. géol., Strasbourg*, n° 66, 227 p.
- Suttner L.J., Dutta P.K. (1986) - Alluvial sandstone composition and paleoclimate, 1. Framework mineralogy. *J. Sed. Petrol.*, **56**, 3, 329-345.
- Torrent J. (1976) - Soil development in a sequence of river terraces in Northern Spain. *Catena*, **3**, 137-151.
- Tourenq J. (1972) - L'augite, indicateur stratigraphique et paléogéographique des épandages détritiques en provenance du Massif central au Cénozoïque. *C. R. Acad. Sci., Paris*, **275**, D, 9-12.
- Tourenq J. (1989) - Les sables et argiles du Bourbonnais (Massif central, France) : une formation fluvio-lacustre d'âge pliocène supérieur. Etude minéralogique, sédimentologique et stratigraphique. *Doc. BRGM*, n° 174, 333 p.
- Trimble S.W. (1975) - Denudation studies: can we assume stream steady state? *Science*, **188**, 1207-1208.
- Veyret Y. (1978) - Les modelés et formations glaciaires dans le Massif central français : problèmes de distribution et de limites dans un milieu de moyenne montagne. Thèse doct. Etat, Univ. Paris I, 2 tomes, 783 p.

# LES SECRETS DE LA TERRE



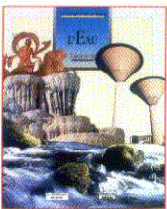
A la fois redoutés pour leurs imprévisibles colères destructrices et fascinants par le spectacle grandiose de leurs éruptions, les volcans dispensent aussi des bienfaits grâce à l'extraordinaire fertilité de leurs sols, aux matériaux qu'ils rejettent et aux eaux thermales qu'ils réchauffent en leur sein. Jadis, sièges des dieux ou de l'enfer, les volcans font maintenant l'objet d'études scientifiques de plus en plus sophistiquées visant à reconstituer leur histoire individuelle, à comprendre leur fonctionnement et à diminuer les risques qu'ils font encourir. Les volcans seront encore pour quelques milliards d'années les fidèles et dangereux compagnons des hôtes de notre planète.

64 pages en couleurs, format 28 x 21 cm, relié.  
Référence 000204 - Prix : 96 FF.



Bien que toute naturelle la perfection des cristaux répond à des règles physiques et chimiques ordonnées. Naître, grandir et vieillir telle est la destinée du cristal à l'intérieur des roches qui composent la croûte terrestre. La minéralogie est la science qui permet de découvrir cette merveilleuse organisation où se mêlent, en toute modestie, les simples cristaux aux extraordinaires joyaux. Dès la préhistoire, l'Homme s'intéresse au minéral, depuis, une large place lui est consacrée dans l'évolution du savoir, des sciences et des techniques les plus modernes. Avec cet ouvrage nous vous invitons à découvrir une extraordinaire saga du règne minéral.

64 pages en couleurs, format 28 x 21 cm, relié.  
Référence 000205 - Prix 96 FF.



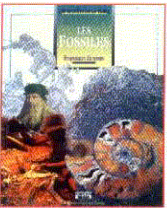
L'eau, source de vie, à l'origine de la formation de la terre, est une substance extraordinaire aux propriétés multiples, c'est aussi un des éléments clés avec le ciel et la terre. La molécule d'eau "H<sub>2</sub>O" est présente dans notre quotidien sous trois formes : l'eau, la glace et la vapeur. La valeur de l'eau est inestimable, première ressource minérale du monde, sa protection et sa gestion sont indispensables à la survie de l'humanité, du règne animal et végétal. Alors, partons à la découverte de ce formidable élément indispensable à notre vie.

64 pages en couleurs, format 28 x 21 cm, relié.  
Référence 000206 - Prix : 96 FF.



Il y a quinze milliards d'années, le commencement de notre univers a été marqué par une colossale explosion, le big bang. Il est le coup d'envoi simultané de l'énergie, du temps, de l'espace et de la matière, c'est-à-dire de tout ce qu'il faut pour faire un monde. Dix milliards d'années plus tard, dans un système stellaire en formation, une petite planète, qui deviendra bleue, connaît une évolution géologique et biologique étonnante. L'Homme d'aujourd'hui, qui en est un des extraordinaires aboutissements, a su reconstituer cette histoire inouïe.

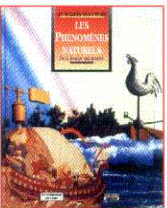
64 pages en couleurs, format 28 x 21 cm, relié.  
Référence 000201 - Prix : 96 FF.



Des mythiques dinosaures, aux plus petites coquilles marines, c'est un voyage dans le monde de la paléontologie qui nous invite à la découverte de l'histoire de notre planète à travers sa fantastique évolution biologique.

Les fossiles, rouage d'une fabuleuse machine à remonter le temps, nous entraînent si près des frontières de l'étrange, que vous ne pouvez l'imaginer.

64 pages en couleurs, format 28 x 21 cm, relié.  
Référence 000203 - Prix : 96 FF.



Les phénomènes présentés sont naturels, certes, mais ils étonnent soit par leur soudaineté, soit par leurs conséquences catastrophiques, soit par leur beauté ...

Des cyclones aux marées, de l'orage à l'arc-en-ciel, des geysers aux aurores boréales, une promenade à travers la météorologie, la géologie, l'océanographie et aussi l'histoire des Sciences.

64 pages en couleurs, format 28 x 21 cm, relié.  
Référence 000202 - Prix : 96 FF.

**BON DE COMMANDE** à remettre à votre librairie ou à défaut, à retourner aux  
Editions BRGM - BP 6009 - 45060 ORLÉANS CEDEX 2, France

A EXPÉDIER :

Nom .....

Prénom .....

Adresse .....

.....

.....

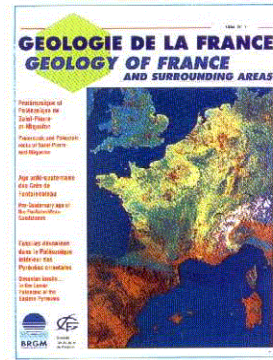
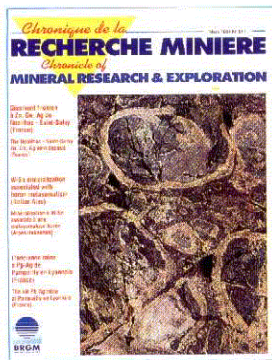
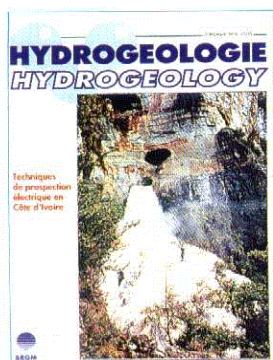
Date .....

Signature

- LA TERRE ET L'UNIVERS .....exemplaire(s)
- LES FOSSILES .....exemplaire(s)
- LES PHÉNOMÈNES NATURELS .....exemplaire(s)
- LES CRISTAUX ET MINÉRAUX .....exemplaire(s)
- L'EAU .....exemplaire(s)
- LES VOLCANS .....exemplaire(s)

PRIX UNITAIRE	TOTAL
96 FF	.....FF
96 FF	.....FF
96 FF	.....FF
96 FF	.....FF
96 FF	.....FF
96 FF	.....FF
FRAIS DE PORT	15 F par exemplaire
<b>TOTAL GÉNÉRAL</b>	





Revue scientifique et technique, Hydrogéologie est destinée aux spécialistes de l'eau souterraine : chercheurs conduisant des travaux sur les processus hydrodynamiques et géochimistes, modélisateurs, ingénieurs et praticiens de la prospection, de l'exploitation et de la gestion des nappes. Dédiée à un seul objet, l'eau souterraine et ses interfaces, Hydrogéologie publie des travaux concernant aussi bien les milieux de climat tempéré que les zones tropicales et arides.

Les articles peuvent porter sur des avancées dans la connaissance fondamentale et son application, des présentations de nouveaux outils, des études de cas ou encore des synthèses thématiques ou régionales. Régulièrement, la revue publie des numéros thématiques. Elle procède également à des analyses d'ouvrages et à des présentations de séminaires et colloques.

*Hydrogeology is a scientific and technical journal aiming at ground water specialists, including researchers studying hydrodynamic processes, and geochemists, modellers, engineers and technicians prospecting for, exploiting or managing ground water. Entirely devoted to ground water and related subjects, Hydrogeology publishes papers on topics in temperate as well as in tropical and arid zones.*

*Papers may cover advances made in fundamental knowledge and their applications, introduce new tools, discuss case histories or review particular themes or regions. The journal publishes entire issues devoted to specific themes on a regular basis. It also presents book reviews and covers seminars and conferences.*

**Prix de vente au numéro :**

Année en cours et année précédente : 190 F

Année antérieure (réduction de 50 %) : 95 F

**Règlement par chèque bancaire libellé au nom des Éditions BRGM - B.P. 6009 45060 Orléans cedex 2**

La Chronique de la recherche minière s'adresse aussi bien aux scientifiques qui font progresser les connaissances fondamentales sur la géologie des gîtes minéraux qu'aux géologues d'exploration.

Les contributions proposées à la revue doivent être inédites et traiter de sujets relatifs aux gisements de métaux et de minéraux industriels (descriptions de gisements, synthèses régionales ou thématiques, case histories de découvertes) et à leur prospection (méthodes et outils d'exploration) ; elles peuvent également concerner les méthodes de traitement et l'économie minière.

A côté des articles scientifiques, les communications scientifiques et techniques sont destinées à favoriser la publication rapide de résultats nouveaux sur des sujets qui n'ont pas encore fait l'objet d'études scientifiques détaillées (par exemple une découverte de gisement), ou pour présenter de courtes contributions sur des sujets techniques d'intérêt général.

*Chronicle of Mineral Research and Exploration is a journal aiming both at researchers studying the fundamental geology of mineral deposits and at exploration geologists.*

*Contributions to the journal must not have been previously published and should cover topics relating to metalliferous and industrial mineral deposits (descriptions of deposits, regional and thematic reviews, case histories of discoveries) and their exploration (methods and tools used); contributions will also be welcome on methods of processing and on mining economics.*

*In addition to scientific papers, the journal publishes the scientific and technical communications aimed at enabling rapid publication of new results relating to work which has not yet been the subject of detailed scientific study (for example, the discovery of a deposit), or at providing short contributions on technical subjects of general interest.*

Destiné aux chercheurs, enseignants, praticiens, tout public français ou étranger, Géologie de la France a pour vocation de diffuser les résultats de travaux relevant de toutes les disciplines des Sciences de la Terre et concernant le territoire français et les régions voisines.

Ces travaux peuvent relever de la connaissance géologique de base, correspondre à des actions de recherche ou être liés à des opérations de géologie appliquée.

L'objectif est d'appréhender tous les aspects de la géologie du substrat comme ceux de la surface. La prise en compte des régions voisines traduit le souci de ne pas être lié à des limites administratives mais de favoriser la compréhension d'ensembles géologiques cohérents.

Géologie de la France est ouvert à tous, auteurs français et étrangers. La revue accueille tout à la fois des articles importants et des notes brèves.

*Geology of France is a journal aiming at researchers, teachers, those to whom the knowledge of geology is essential to their work and the general interested public in France and elsewhere. It is devoted to the publication of results of projects related to all disciplines of the Earth Sciences, both in France and in the surrounding regions.*

*Papers may cover fundamental geological knowledge, or be related to specific research or applied geology programmes.*

*The aim is to cover all aspects of both sub-surface and surface geology. By including surrounding regions, studies need can take into account entire geological entities, without the restriction of national boundaries.*

*The journal welcomes publications from both French and other authors, both full-length papers and short notes.*

**Abonnement 1998 :**

Abonnement par revue :

Abonnement aux 3 revues, 12 numéros

France : 650 F Étranger : 700 F

France : 1800 F Étranger : 1900 F

Chèque à établir à l'ordre de : Éditions BRGM, 3, avenue Claude Guillemin, B.P. 6009, 45060 Orléans cedex 2, France

ISSN 0246-0874 © Éditions BRGM - BP 6009  
45060 Orléans Cedex 2 - France  
Directeur de la publication : Gérard Sustrac  
Commission paritaire : N° 627 ADEP  
Dépot légal : 3<sup>e</sup> trimestre 1998  
Imprimerie : BRGM Service Reprographie

