

# **Sédimentation postglaciaire fluviale et palustre près d'Avenches (Suisse) : implications climatiques**

Autor(en): **Strasser, André / Weidmann, Marc / Hochuli, Peter A.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin de la Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles = Bulletin der Naturforschenden Gesellschaft Freiburg**

Band (Jahr): **88 (1999)**

PDF erstellt am: **27.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-308758>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Sédimentation postglaciaire fluviale et palustre près d'Avenches (Suisse): implications climatiques

par ANDRÉ STRASSER<sup>1</sup>, MARC WEIDMANN<sup>2</sup> & PETER A. HOCHULI<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Institut de Géologie, Pérolles, CH-1700 Fribourg

<sup>2</sup> Sentier du Molard 3, CH-1805 Jongny

<sup>3</sup> Geologisches Institut, ETH-Zentrum, CH-8092 Zürich

## 1. Introduction

Lors de la construction en 1998 d'un hippodrome près du Haras fédéral d'Avenches, au lieu-dit «Les Longs Prés», on a creusé un bassin d'environ 300 m de long, 150 m de large et d'une dizaine de mètres de profondeur (Fig. 1). On en retirait du sable pour recouvrir les pistes de course. Pendant l'excavation, le niveau de la nappe phréatique était abaissé par un pompage continu, ce qui permettait un accès facile. Après la phase de construction, l'excavation a été remplie d'eau pour créer un étang. Ces travaux exceptionnels ont ainsi permis une analyse sédimentologique approfondie en trois dimensions d'un grand affleurement du Pléistocène récent et de l'Holocène de la plaine de la Broye qui, jusqu'alors, avait été étudiée surtout par des méthodes géophysiques et des forages.

Cette excavation est remarquable parce qu'elle a mis au jour de nombreux troncs d'arbres. Déjà en 1858, BESSARD avait signalé des «troncs de chêne entièrement noirs» à faible profondeur dans la plaine entre Payerne et le Lac de Morat, mais sans préciser l'endroit exact. En plus, il donnait une description de la succession des faciès jusqu'à une profondeur d'environ 3 mètres. Après les premiers relevés plus complets de GILLIÉRON en 1885, les dépôts quaternaires de la vallée de la Broye ont été étudiés par RUMEAU (1954), SIEBER (1958), INGLIN (1960), BRIEL (1962), BECKER (1972) et PARRIAUX (1978, 1981). Ils sont également décrits dans les notices explicatives des cartes géologiques Morat (BECKER, 1973) et Fribourg (PYTHON et al., 1998). SIGG et al. (1986) présentent une analyse des argiles holocènes de la région de Corcelles-Payerne qui sont utilisées pour la fabrication de tuiles et de briques depuis le siècle dernier. D'après PARRIAUX (1978), le soubassement molassique se situe à environ 250 m sous la plaine d'Avenches. PUGIN (1991) indique des valeurs comprises entre 100 et 150 m.

Les dépôts fluvio-glaciaires tardi-würmiens affleurent dans de nombreuses gravières sur les bords de la vallée de la Broye, tandis que les dépôts fluviaux, lacustres et palustres holocènes sont le plus souvent recouverts

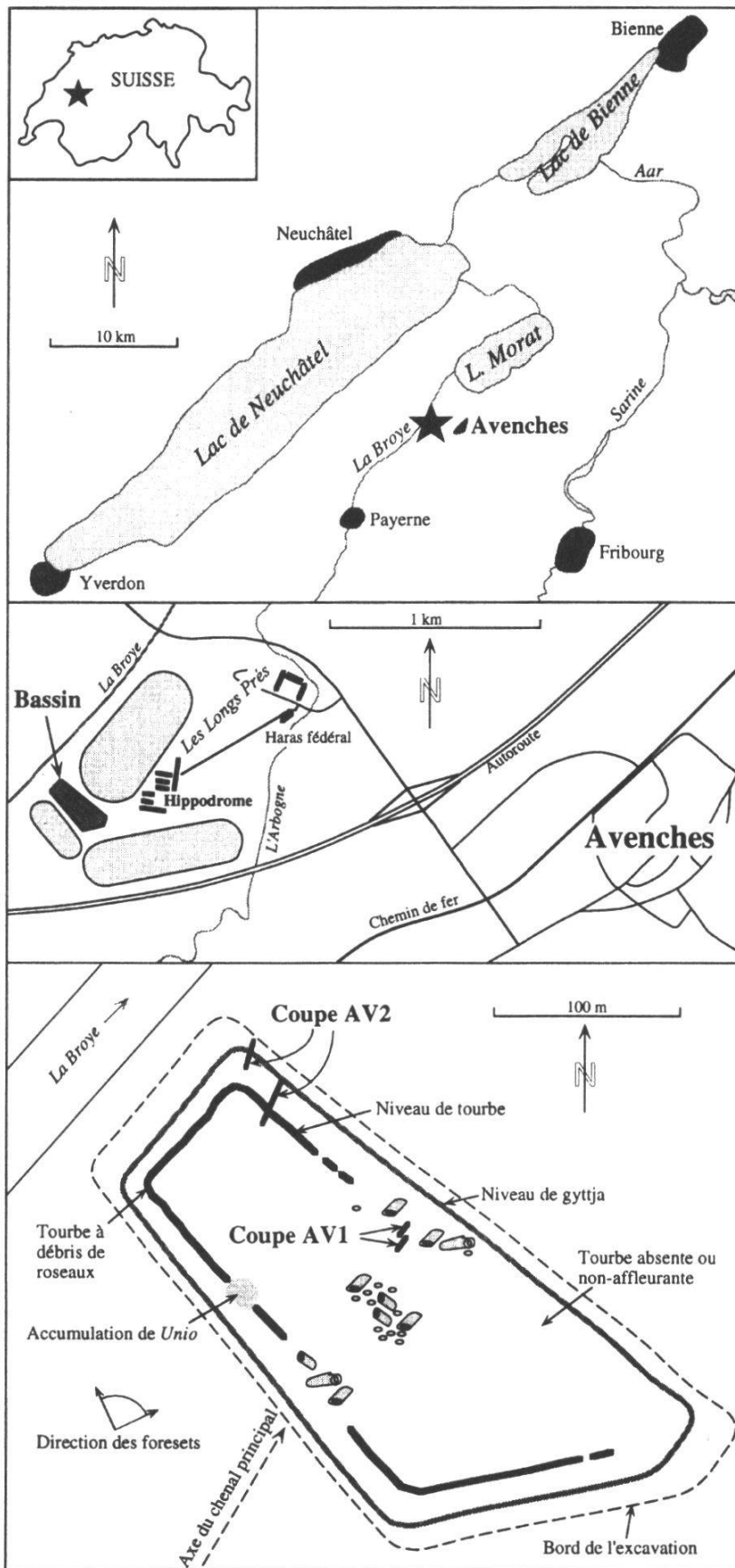


Fig. 1: Situation du bassin de l'hippodrome aux Longs Prés près d'Avenches et plan de l'affleurement avec emplacement des coupes.

par les alluvions récentes de la Broye et de l'Arbogne. Lors de la planification de l'autoroute A1 en 1992, des profils sismiques et des forages ont été effectués dans les alentours d'Avenches (rapports inédits des bureaux C.S.D. Fribourg et ABA-Géol Payerne). De ce fait, la répartition des faciès de la dernière dizaine de mètres du remplissage sédimentaire est relativement bien connue dans la région d'Avenches. Cependant, les structures sédimentaires n'étant pas visibles, l'interprétation sédimentologique détaillée était impossible avant le creusement du bassin de l'hippodrome.

## 2. Interprétation sédimentologique

La partie inférieure de l'excavation est occupée par des sables relativement homogènes. A mi-hauteur, sur les flancs d'une partie du bassin, un niveau brun-foncé de tourbe et de sédiment enrichi en matière organique végétale est visible (Fig. 1 et 2). Sur le côté sud-ouest du bassin, une accumulation de bivalves lacustres (*Unio* sp.) a été observée à la même cote. Le



Fig. 2: Vue vers le Nord. Le faciès sableux de l'Unité 1 est visible en bas à droite de la photo. La tourbe de l'Unité 2 se marque par un niveau discontinu foncé dans les sables plus clairs. L'Unité 4 est généralement plus sombre, avec le niveau de gyttja visible comme une bande noire à sa base. Hauteur de la coupe environ 10 m.

# Coupe AV1

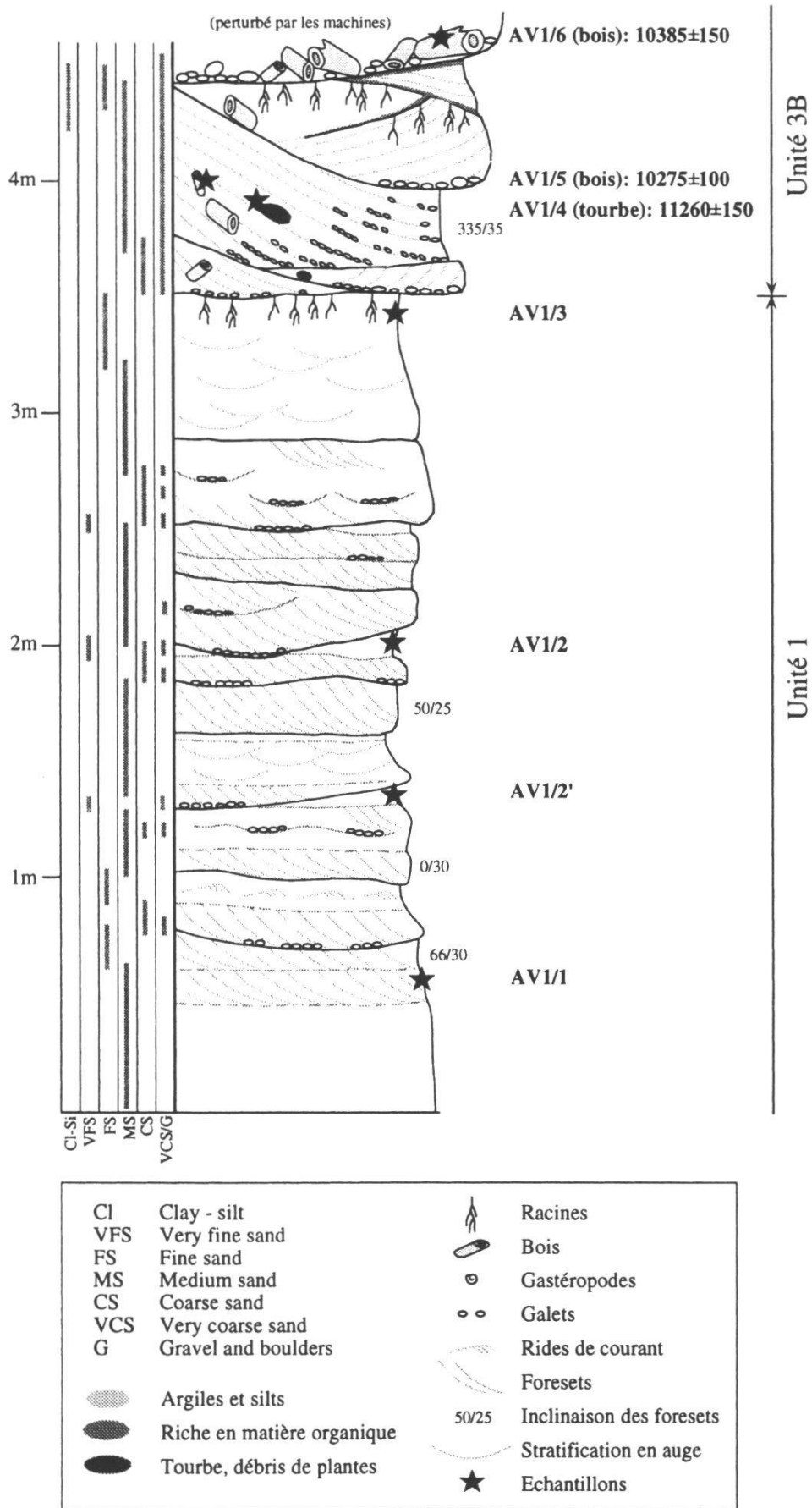


Fig. 3A: Coupe AV1 (coordonnées de la base: 566'920/192'420).

niveau de tourbe est interrompu sur les deux bords du bassin et remplacé par des accumulations de troncs d'arbres et de gros galets. La partie supérieure de l'excavation expose des silts et des argiles de couleur brune, avec des niveaux plus foncés qui sont latéralement continus. Deux coupes détaillées ont été levées sur le côté nord-est de l'excavation (Fig. 1 et 3): on y observe la plupart des faciès rencontrés. Quatre unités lithologiques sont distinguées.

## Coupe AV2

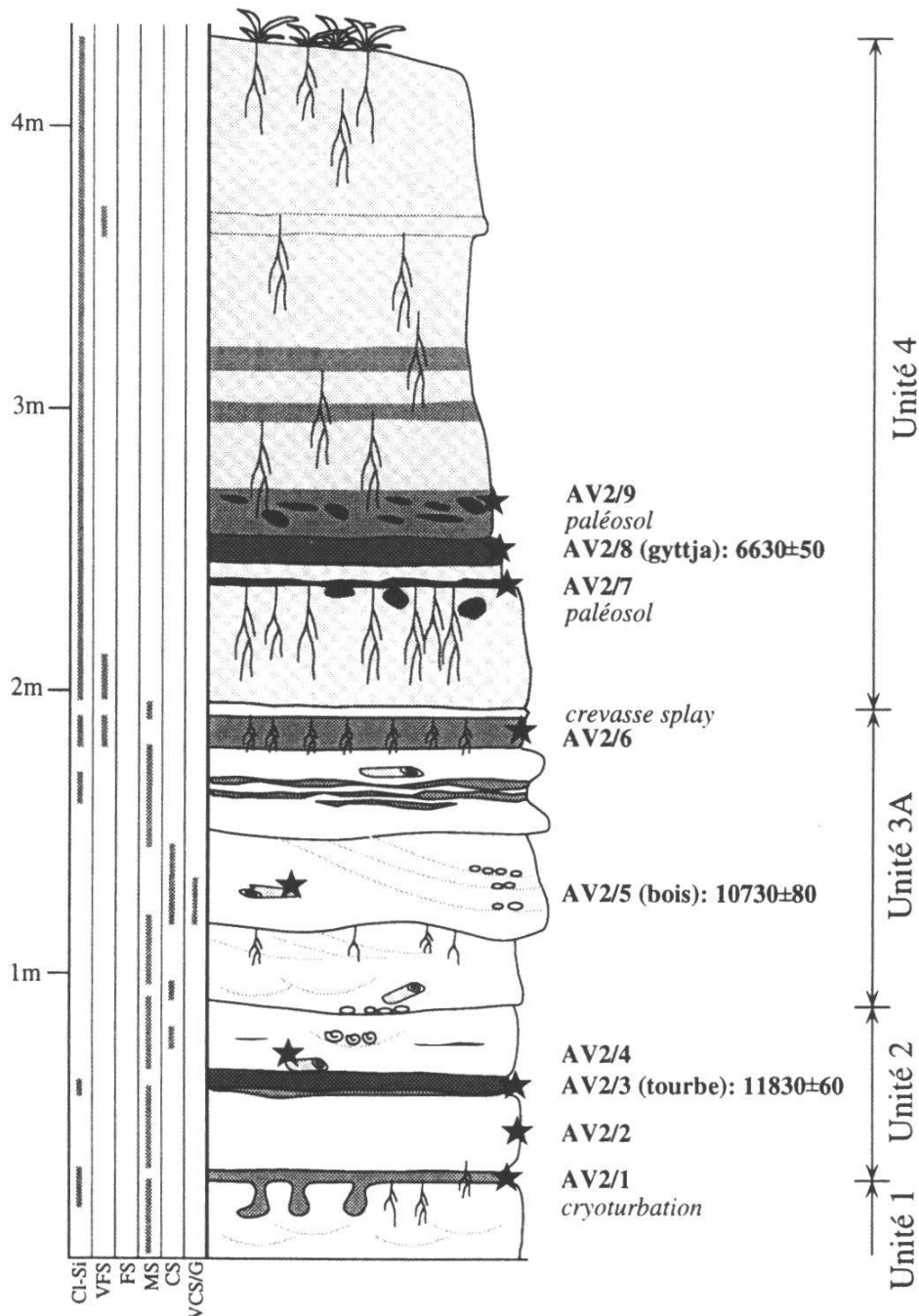


Fig. 3B: Coupe AV2 (coordonnées de la base: 566'850/192'480).

## Unité 1

Les 3.5 mètres inférieurs de la coupe AV1 (Fig. 3A) se composent de couches de 10 à 80 cm d'épaisseur de sable moyen à fin ( $M\phi=1.9$  pour AV1/1, 1.7 pour AV1/3). Le sable est bien à assez bien trié ( $\sigma_1=0.47$  pour AV1/1, 0.54 pour AV1/3; McMANUS, 1988), la distribution est symétrique ( $SK_1=0.0$  pour AV1/1, 0.08 pour AV1/3). Les surfaces d'érosion à la base de ces couches sont localement soulignées par du sable grossier et par des galets bien arrondis dont le diamètre peut atteindre 1 cm. L'inclinaison des foresets s'élève jusqu'à 40° mais se situe le plus souvent entre 20° et 30° (Fig. 4). Les directions des foresets varient entre 335° et 65° (Fig. 1). Localement, l'intersection entre foresets et affleurement est telle que des structures en auge sont visibles. Des rides de courant de 10 cm de long et de 1–2 cm de haut ont été observées à 1 m de la base de la coupe. Le sable est constitué en grande partie de grains de quartz (>60%). Des grains de calcaire foncé et de roches cristallines mono- ou polyminérales lui donnent une couleur grise. Les grains sont bien arrondis et montrent une sphéricité moyenne. Des petites concrétions calcaires (max. 1 cm de diamètre) apparaissent localement. Nous n'avons pas trouvé de fossile dans cette partie de la coupe, à part des traces de racines et des petits morceaux de bois au niveau de l'échantillon AV1/3.



Fig. 4: Foresets et auges dans les couches de sable moyen de l'Unité 1 (base de la coupe AV1). Le marteau mesure 33 cm de long.

La granulométrie et les structures sédimentaires indiquent que ce sédiment a été déposé dans un système assez distal de rivière tressée. Le «fining-up» et l'épaisseur faible des couches individuelles impliquent qu'il s'agit de remplissages de chenaux peu profonds. Les sables retrouvés en forage suggèrent que cette rivière s'étalait sur une grande partie de la plaine maintenant occupée par la Broye, la Petite Glâne et l'Arbogne. Elle peut être interprétée comme une rivière tressée et sableuse (Fig. 5A) occupant toute la largeur de la vallée (MIALL, 1985). Les dépôts actuels de la Platte River au Colorado et au Nebraska (SMITH, 1970) ou de la South Saskatchewan River au Canada (CANT & WALKER, 1978) montrent des granulométries et des structures sédimentaires comparables et peuvent servir comme exemples.

### Unité 2

Dans la coupe AV1, l'Unité 1 est tronquée par une surface d'érosion. Cependant, dans la coupe AV2 (Fig. 3B), le sommet de l'Unité 1 montre

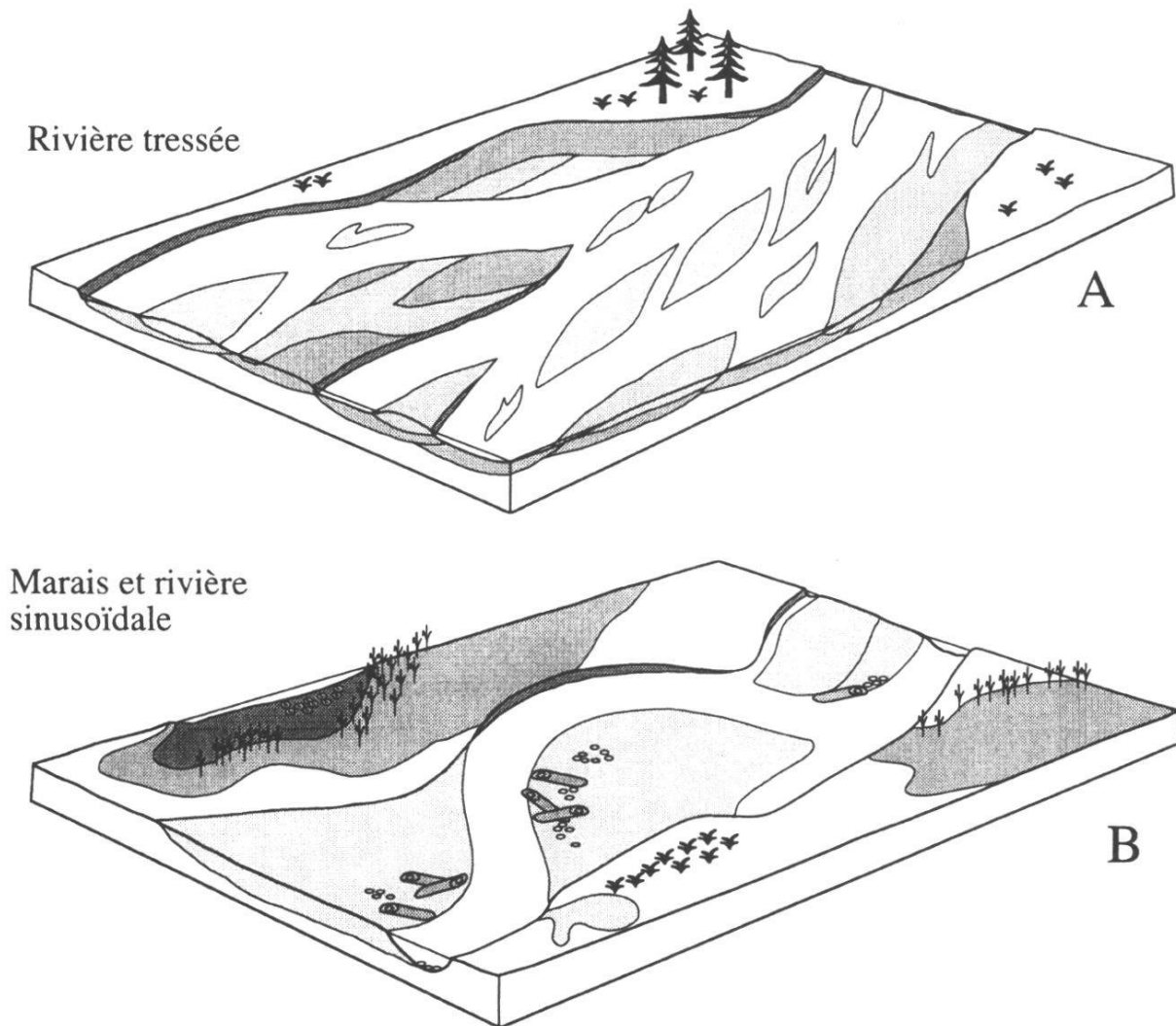


Fig. 5: Modèles de rivière tressée (A) correspondant à l'Unité 1 et de rivière sinusoïdale (B) de l'Unité 3.



quelques traces de racines et des poches remplies avec des argiles de la couche sus-jacente (Fig. 8). Ces poches résultent probablement de la déstabilisation du sédiment par le gel et le dégel (cryoturbation). Le niveau de tourbe qui fait le tour d'une partie du bassin (Fig. 1) affleure dans cette coupe. Il s'agit d'une accumulation de matière végétale dans laquelle des tiges et feuilles de roseau et des racines sont encore reconnaissables. L'épaisseur est d'une dizaine de centimètres mais peut atteindre 30 cm dans l'angle ouest du bassin. Des coquilles blanches de gastéropodes (surtout *Bithynia* sp. avec ses opercules, quelques *Lymnaea* sp.) y sont localement accumulées. Plus haut dans la coupe on retrouve des gastéropodes dans le sable, ainsi que des galets et de rares morceaux de bois dispersés. L'Unité 2 se termine avec une surface érosive soulignée par des galets.

Cette unité est interprétée comme une plaine marécageuse où des roseaux pouvaient s'installer. Des mares peu profondes permettaient la vie de gastéropodes et de bivalves lacustres.

### Unité 3

Dans la coupe AV2 (Fig. 3B), une sédimentation à plus haute énergie remplace celle de l'Unité 2. Les foresets sont soulignés par des galets, et quelques morceaux de bois sont présents. L'échantillon AV2/5 a été analysé granulométriquement et montre un tri relativement bon ( $M\phi=1.4$ ,  $\sigma_1=0.68$ ,  $SK_1=0.04$ ). Des clastes roulés de craie lacustre ont été trouvés dans cet échantillon. Le sommet de l'Unité 3 dans la coupe AV2 contient un niveau silteux-argileux avec des racines recouvert d'une mince couche de sable moyen.

Dans la coupe AV1 (Fig. 3A) et au milieu de l'excavation (Fig. 6), l'Unité 3 se caractérise par des surfaces fortement chenalisantes et des remplissages de chenaux qui se succèdent. Le sédiment est bimodal, composé de sable fin, moyen et grossier comme dans l'Unité 1, et de galets polycristallins bien arrondis dont le diamètre peut atteindre 10 cm. Des fragments remaniés de tourbe et des galets argileux mous sont présents. Certains foresets montrent des drapages par une couche argileuse. Des traces de racines apparaissent dans la partie supérieure de la coupe AV1.

C'est dans ces grands chenaux que sont accumulés des troncs (2 à 3 m de long et plusieurs dm de diamètre), des branches et des cônes de pin (*Pinus silvestris*, Fig. 7) ainsi que quelques morceaux de bouleau (*Betula* sp.). La surface des troncs est fortement usée et l'écorce arrachée, indiquant un transport violent. Des traces de charbon préservées sur les troncs et le fait que beaucoup de cônes sont carbonisés impliquent des feux de forêt. La présence de graines dans plusieurs cônes de pin suggère que ceux-ci ont été transportés à l'état prémature et enfouis très rapidement. C'est seulement après l'échantillonnage et le séchage que ces cônes se sont ouverts.



Fig. 6: Surface érosive entre Unité 1 et Unité 3B. Des galets de tourbe et d'argile se trouvent à la base de l'Unité 3B qui montre un faciès généralement plus grossier et plus hétérogène. Affleurement au centre du bassin. Le marteau mesure 33 cm de long.

L'Unité 3 peut être interprétée comme rivière à chenaux sinusoïdaux traversant une plaine marécageuse (Fig. 5B). Les grands foresets souvent unidirectionnels suggèrent des «point bars» de méandres (MIALL, 1985). Les remplissages des chenaux montrent à la base un «lag deposit» grossier et des argiles de décantation au sommet. Ces argiles peuvent être reprises sous forme de galets mous lors de l'érosion par le chenal suivant. Une forêt a dû exister en amont, là où ont été arrachés les troncs lors de fortes crues. La rivière érodait également le niveau de tourbe accumulé préalablement et toujours préservé dans la coupe AV2 et ailleurs dans le bassin. La disposition des troncs d'arbre et la direction des foresets indiquent que le chenal principal suivait un axe sud-sud-ouest à nord-nord-est (Fig. 1). Vers la fin de la sédimentation de l'Unité 3, la rivière devenait moins active. Une plaine d'inondation avec des dépôts plus fins occupait alors la région d'Avenches, et c'est seulement localement que des «crevasse splays» indiquent encore la présence d'une rivière. Des lacs ou des étangs étaient localement présents.

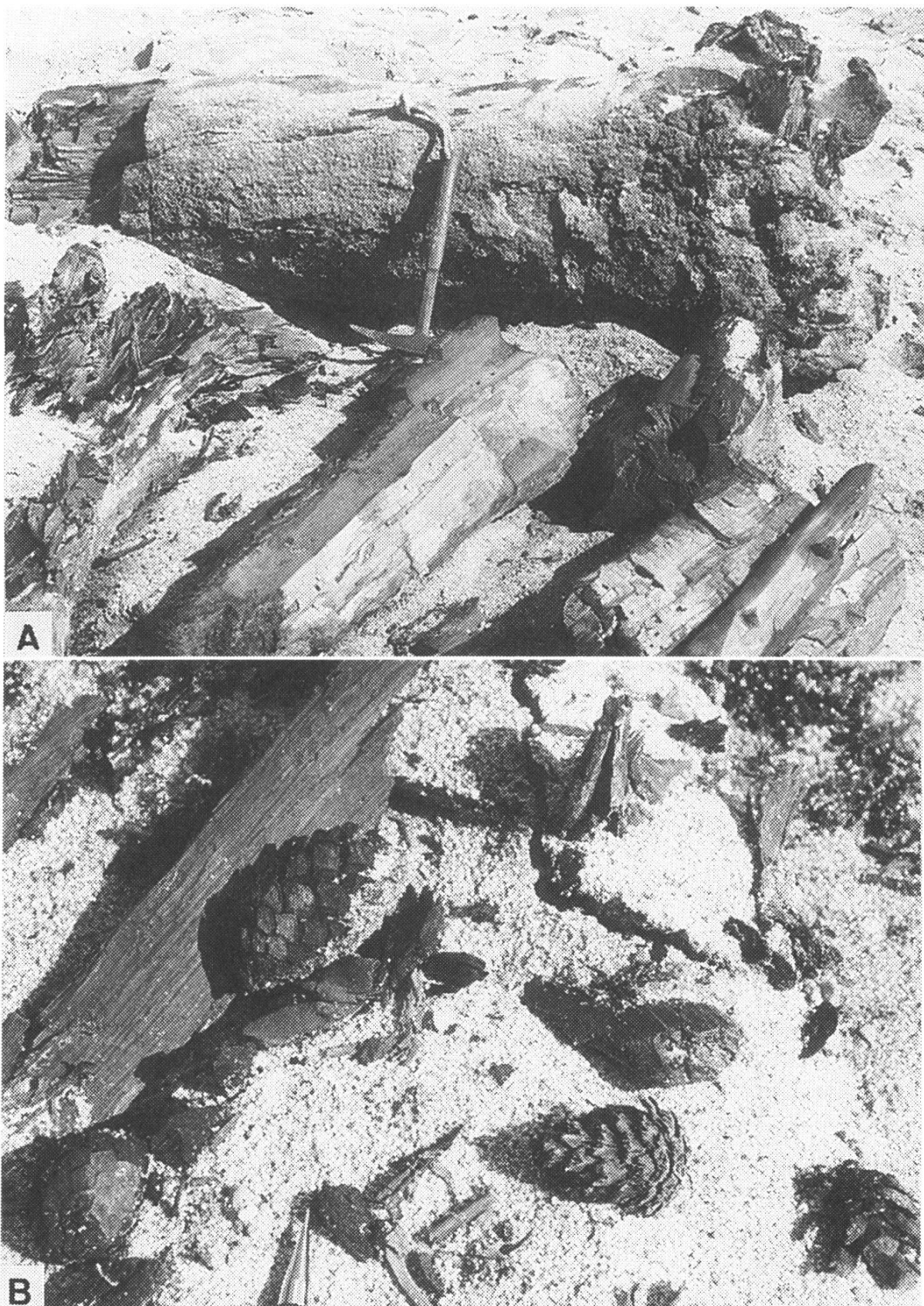


Fig. 7: Troncs de pin (A) et cônes (B) dans l'Unité 2. La préservation du bois est très bonne, même si les troncs et les cônes sont usés mécaniquement par le transport dans la rivière. Affleurement au centre du bassin. Le marteau mesure 33 cm (A), la pointe du crayon 2 cm (B).



Fig. 8: Niveau de cryoturbation à la base de la coupe AV2. Des argiles plus sombres forment des poches dans le sable plus clair. Le marteau mesure 33 cm.

## Unité 4

Cette unité est caractérisée par sa couleur plus foncée (Fig. 2) et ses sédiments argilo-silteux (Fig. 3B). Près de Corcelles-Payerne, la fraction argileuse de l'équivalent latéral de cette unité se compose d'illite, de chlorite et d'interstratifiés illite/montmorillonite (SIGG et al., 1986). Des niveaux plus riches en matière organique sont caractéristiques: ils sont continus et on peut les suivre sur tout le pourtour du bassin. L'échantillon AV2/8 montre une matière organique noire, sans argile, avec des petits débris végétaux noircis et quelques taches brun-rouge. Au-dessous et au-dessus, les débris végétaux se concentrent en deux niveaux et en poches de couleur brun-rouge. Des traces de racines se retrouvent partout (Fig. 9) et peuvent atteindre plusieurs dizaines de centimètres de longueur. Nous n'avons pas trouvé de faune dans l'Unité 4, mais LARDY (1855) avait signalé la découverte de «deux cornes de cerfs et d'ossements» à 7 pieds de profondeur (environ 2 m, c'est-à-dire à la base de l'Unité 4), lors du creusement du nouveau lit de la Broye aux Longs Prés.

L'Unité 4 représente une plaine d'inondation alimentée uniquement par la fraction argileuse et silteuse. La végétation y était abondante. Les niveaux à débris végétaux sont interprétés comme paléosols où la matière organique était soumise à l'oxydation. La couche noire, par contre, suggère un dépôt de



Fig. 9: Argiles riches en traces de racines (traits verticaux plus sombres). Au-dessus de l'échantillon AV2/9. Le marteau mesure 33 cm.

gyttja au fond d'un étang en milieu dysoxique, où l'oxydation ne pouvait s'exercer que ponctuellement le long de quelques traces de racines pénétrant depuis le haut.

### 3. Datations $^{14}\text{C}$

Six échantillons de bois, de tourbe et de gyttja ont été datés par  $^{14}\text{C}$  (Tableau). Les âges conventionnels (BP, c'est-à-dire avant 1950) sont reportés avec les marges d'erreur sur la Figure 3.

Ces âges suggèrent que les morceaux de tourbe remaniés dans les grands chenaux fluviaux de la coupe AV1 (morceau de tourbe remanié:  $11'260 \pm 150$  ans BP) proviennent de l'Unité 2 affleurant dans la coupe AV2 et sur une partie du pourtour du bassin (niveau de tourbe:  $11'830 \pm 60$  ans BP). Ils impliquent aussi que les marécages à roseaux s'étaient installés pendant quelques centaines d'années. Le bois amené par la rivière est d'environ mille ans plus jeune que la tourbe. Puisque le bois et les cônes ont été enterrés dans un état relativement frais, le remplissage des chenaux doit leur être contemporain ou à peine plus jeune.

Le bois trouvé dans la coupe AV2 est plus ancien ( $10'650 - 10'810$  ans BP, en tenant compte de la marge d'erreur) que celui de la coupe AV1 ( $10'175 - 10'535$  ans BP). Ceci nous incite à subdiviser l'Unité 3 en une partie relativement plus ancienne qui est en continuité avec l'Unité 2 sous-jacente (Unité 3A dans la coupe AV2), et une partie relativement plus jeune représentée par l'ensemble des grands chenaux (Unité 3B dans la coupe AV1; Fig. 3). Les surfaces d'érosion ou de réactivation ne pouvant pas être suivies d'une coupe à l'autre, la corrélation exacte entre les deux sous-unités reste hypothétique. C'est bien plus tard, environ 4000 ans après la phase la plus active de la rivière, que le dépôt de gyttja s'est formé.

Il est évident que ces âges ne peuvent pas être utilisés pour calculer des taux de sédimentation. L'accumulation était probablement très épisodique, et

Echantillon	Matériel	Référence	Age $^{14}\text{C}$ conventionnel	Date calibrée
AV 1/4	Tourbe	ARC 1773	$11260 \pm 150$ BP	11570 - 10910 cal BC
AV 1/5	Bois	ARC 1767	$10275 \pm 100$ BP	10485 - 9310 cal BC
AV 1/6	Bois	ARC 1768	$10385 \pm 150$ BP	10705 - 9390 cal BC
AV 2/3	Tourbe	B-7161	$11830 \pm 60$ BP	11968 - 11720 cal BC
AV 2/5	Bois	B-7162	$10730 \pm 80$ BP	10800 - 10617 cal BC
AV 2/8	Gyttja	B-7163	$6630 \pm 50$ BP	5577 - 5449 cal BC

Tableau: Résumé des datations  $^{14}\text{C}$ . Les échantillons AV 1/4, 1/5 et 1/6 ont été préparés et datés par le Laboratoire Romand de Dendrochronologie à Moudon, AV 2/3, 2/5 et 2/8 par le Laboratoire de Radiocarbone à l'Institut de Physique de Berne. Les dates calibrées sont calculées à  $2\sigma$  pour AV 1/4, 1/5 et 1/6, et à  $1\sigma$  pour AV 2/3, 2/5 et 2/8.

l'érosion à la base des chenaux a régulièrement enlevé du sédiment déposé préalablement. Beaucoup de temps peut également être condensé dans les niveaux de tourbe et de gyttja fortement compactés, ainsi que dans les paléosols. Cependant, les âges obtenus permettent de corrélérer l'enregistrement sédimentaire observé dans le bassin de l'hippodrome d'Avenches avec l'évolution hydrographique et climatique dans les alentours. Se basant surtout sur des analyses palynologiques de sédiments lacustres, plusieurs travaux récents ont retracé cette évolution (AMMANN et al., 1994; GAILLARD & MOULIN, 1989; LANG, 1994; LOTTER et al., 1992; MAGNY & RUFFALDI, 1995; MAGNY & RICHOSZ, 1998; MAGNY et al., 1998; RICHOSZ, 1998; SCHWALB et al., 1998; WOHLFARTH & AMMANN, 1991; WOHLFARTH & SCHNEIDER, 1991; WOHLFARTH et al., 1993, 1994).

#### **4. Evolution du milieu de dépôt et corrélations**

##### *Unité 1*

L'Unité 1 n'a pas pu être datée directement. Cependant, la base de la coupe AV2 ne montre pas d'évidences d'érosion ou d'arrêt de sédimentation importants et laisse supposer qu'il n'y a pas de lacune majeure entre Unité 1 et Unité 2. Le niveau de tourbe de l'Unité 2 s'est déposé pendant la chronozone de l'Allerød (entre 12'000 et 11'000 ans BP, Fig. 10). En conséquence, l'Unité 1 pourrait être attribuée à la période antérieure, c'est-à-dire au Bølling.

Avant 12'600 ans BP, au cours du Dryas Ancien et du Bølling, la végétation était de type arctique-alpin (bouleaux et saules nains, genévriers; AMMANN et al., 1994; WOHLFARTH et al., 1994; SCHWALB et al., 1998) et le Lac de Neuchâtel était gelé chaque année (SCHWALB et al., 1998). L'eau libérée par la fonte du glacier du Rhône et en particulier de sa branche descendant dans la vallée de la Broye (PARRIAUX, 1978) était abondante et avait une grande capacité de transport de sédiment. La végétation était trop clairsemée pour fixer ces sédiments meubles, si bien qu'une rivière tressée pouvait occuper toute la largeur de la vallée. Il est possible que la cryoturbation observée à la base de la coupe AV2 corresponde à la fin de cette phase climatique relativement froide.

Rappelons que jusque vers 12'700 ans BP, le niveau du Lac de Neuchâtel se situait vers 425 m (attesté par un campement de chasseurs magdaléniens; GAILLARD & MOULIN, 1989; AFFOLTER et al., 1994), soit 4 m plus bas que le niveau actuel.

##### *Unité 2*

Dès 12'600 ans BP, un réchauffement climatique est signalé par l'apparition d'arbres: bouleaux et pins (AMMANN et al., 1994; SCHWALB et al., 1998). L'évolution de la végétation, des insectes et des isotopes de l'oxygène suggè-

Années <sup>14</sup> C BP	Chronozones	Avancée des glaciers alpins	Végétation	Lac de Neuchâtel et Aar	Longs Prés
4000	Subboréal Ancien		Chênaie mixte avec <i>Fagus, Abies</i>		
5000	Atlantique Récent		Chênaie mixte avec <i>Corylus</i> et conifères, impact humain ( <i>Cerealia</i> )	Aar entre dans le lac	Plaine d'inondation
6000	Atlantique Moyen		Chênaie mixte avec <i>Fagus, Corylus</i> et des éléments thermophiles	Rivière abandonnée dans marais	Gyttja
7000	Atlantique Ancien				
8000	Boréal		Forêts clairsemées, maximum de <i>Corylus</i>	Aar entre dans le lac	Plaine d'inondation
9000	Préboréal		Forêts de pin avec <i>Betula</i> , apparition de <i>Quercus</i>	Lac monte, rivière abandonnée dans marais	Rivière sinusoïdale
10000	Dryas Récent		<i>Pinus, Betula</i> , plantes herbacées héliophiles	Niveau lacustre bas	<b>Chenaux avec bois</b>
11000	Allerød		Forêts de pin avec <i>Betula</i>	Aar entre dans le lac	<b>Tourbe</b>
12000	Bølling		Végétation de buissons avec pin, <i>Hippophaë</i> et <i>Salix</i>	Niveau du lac monte	Rivière tressée
13000	Dryas Ancien		Dominance de plantes herbacées et petits buissons, végétation alpine	Niveau lacustre bas	

Fig. 10: Compilation de quelques données de la littérature et emplacement des niveaux datés ou inférés de l'affleurement des Longs Prés. Ages <sup>14</sup>C conventionnels. Chronozones d'après LANG (1994), glaciers alpins d'après BORTENSCHLAGER (1982), végétation d'après AMMANN et al. (1994) et SCHWALB et al. (1998), situation hydrographique du Lac de Neuchâtel et de l'Aar d'après GAILLARD & MOULIN (1989) et SCHWALB et al. (1998). Voir aussi compilation dans WOHLFARTH et al. (1993).

re une augmentation d'environ 10 à 15°C de la température minimale en juillet (AMMANN et al., 1994). Le Lac de Neuchâtel ne gèle plus, sa productivité organique augmente, et du carbonate est précipité (AMMANN et al., 1994; SCHWALB et al., 1998). D'après GAILLARD & MOULIN (1989), le Lac de Neuchâtel voit son niveau remonter de 3 m vers 12'500 ans BP, tandis que, dans le Lac de Biemme, WOHLFARTH & SCHNEIDER (1991) datent le début d'une phase transgressive à 11'720 ans BP. Dans les lacs du Jura, MAGNY & RUFALDI (1995) signalent une montée des eaux vers 11'400 ans BP. Le niveau de



tourbe rencontré dans la plaine d'Avenches, daté d'environ 11'100 à 11'900 ans BP (Fig. 3), correspond donc bien à une phase de transgression lacustre. Cette remontée du niveau de base a eu pour conséquence l'installation d'une zone palustre et de tourbières dans la plaine préalablement occupée par la rivière tressée.

### Unité 3

Les bois de pin trouvés aux Longs Prés s'étagent entre environ 10'200 et 10'800 ans BP (Fig. 3). Cet intervalle correspond au Dryas Récent, une période de refroidissement climatique rapide à l'échelle globale, couplée avec un changement de la circulation thermohaline dans l'Atlantique Nord (p.ex. LEHMAN & KEIGWIN, 1992). Cependant, en Suisse occidentale, les changements de température n'étaient pas importants, et la végétation était toujours dominée par des pins, des bouleaux et des genévriers, avec toutefois une augmentation des plantes herbacées (SCHWALB et al., 1998). Les grands troncs trouvés aux Longs Prés montrent que *Pinus silvestris* pouvait survivre pendant des décennies et atteindre des tailles considérables. Par contre, les isotopes de l'oxygène montrent un refroidissement (AMMANN et al., 1994). Les hivers étaient probablement plus froids et/ou plus longs, les étés assez chauds et secs (SCHWALB et al., 1998). Les niveaux lacustres s'abaissaient suite au ralentissement de la fonte des glaciers (GAILLARD & MOULIN, 1989; WOHLFARTH & SCHNEIDER, 1991; MAGNY & RUFFALDI, 1995): le niveau du Lac de Biemme a perdu à peu près 4 m au cours du Dryas Récent (WOHLFARTH & AMMANN, 1991).

La végétation bien installée dans la vallée de la Broye confinait le lit de la rivière. Suite à la chute du niveau de base, le pouvoir érosif avait augmenté et permettait le creusement de chenaux relativement profonds, érodant entre autre le niveau de tourbe (échantillon AV1/4) et de la craie lacustre (échantillon AV2/5). L'instabilité climatique provoquait périodiquement des crues catastrophiques qui arrachaient des arbres en amont pour les déposer ensuite en aval dans les secteurs plus calmes de la rivière (Fig. 5B). Vers la fin du Dryas Récent et au début du Préboréal, le climat se rechauffe à nouveau (AMMANN et al., 1994). Les niveaux lacustres remontent et l'activité érosive de la rivière est atténuée.

### Unité 4

La seule datation acquise dans cette unité provient du niveau à gyttja (environ 6650 ans BP). Ceci correspond à la chronozone de l'Atlantique Moyen, caractérisée par un climat plus humide et une végétation abondante dominée par les arbres de la chênaie mixte (*Quercus*, *Ulmus*, *Tilia*, *Acer*). Les lacs du Jura montrent des niveaux plus hauts entre 7000 et 6000 ans BP

(MAGNY & RUFFALDI, 1995), tandis que le Lac de Bienne est à un niveau bas pendant cette période (WOHLFARTH & AMMANN, 1991; WOHLFARTH & SCHNEIDER, 1991). Le Lac de Seedorf, 10 km au Sud d'Avenches, voit son niveau monter entre 7000 et 6500 ans BP (HAAS et al., 1998; MAGNY & RICHOSZ, 1998). La présence de la gyttja indique qu'une mare a dû exister à cette époque dans la région d'Avenches.

Les dépôts relativement homogènes argileux-silteux à traces de racines de l'Unité 4 indiquent que les conditions de sédimentation dans la plaine d'inondation étaient stables, et que la rivière avait trouvé son équilibre par rapport au niveau de base du Lac de Morat.

Ensuite, vers 5'800 BP, ce niveau de base a connu un nouvel abaissement notable, documenté à Montilier par MAGNY & RICHOSZ (1998), et repérable aussi dans d'autres bassins lacustres du Plateau et du Jura. Cet épisode régressif n'a pas été mis en évidence dans notre profil AV2 aux Longs Prés, dont les termes sommitaux ne sont toutefois pas datés.

Etudiant la coupe de la marnière Morandi, à Corcelles près de Payerne, RUMEAU (1954), puis SIEBER (1958), avaient attribué deux niveaux argileux à faune lacustre à un «lac holocène de 450 m». Ces niveaux fossilifères ne peuvent pas se corréliser avec la tourbe de notre Unité 2 aux Longs Prés, car ils ont livré des vestiges datant de l'Age du Bronze (Annuaire Soc. suisse Préhistoire et Archéol., 26, 1934, art. «Corcelles–Payerne»; trouvailles inédites 1973, G. Kaenel *in litt.*). Ils ne peuvent pas non plus se corréliser avec la gyttja de l'Unité 4: en effet, le sommet de l'affleurement de Corcelles se situe à 444 m, et celui de la coupe AV2 à 435 m. Si on considère les faciès rencontrés – fluviatile entourant la tourbe, paléosols et racines encadrant la gyttja (Fig. 3B) – il est bien difficile de concevoir un lac de 15 m de profondeur occupant toute la plaine de la Broye. Il est au contraire plus probable que des étangs et des marécages s'étagaient à différentes altitudes dans la plaine. L'abaissement successif de ces plans d'eau peut être expliqué par l'érosion régressive de la rivière, ainsi que par les fluctuations déjà évoquées du niveau de base lacustre.

Jusqu'au 19<sup>ème</sup> siècle, la basse plaine de la Broye était fréquemment inondée, et seuls d'importants travaux de drainage et de correction fluviale (nouveau cours de la Broye, déviation de l'Arbogne dans l'ancien cours de la Broye) ont asséché la plaine (PYTHON et al., 1998). Le niveau du Lac de Morat se situe actuellement à 429 m.

## 5. Conclusions

Grâce à l'excavation d'un grand bassin aux Longs Prés, à l'hippodrome d'Avenches, un affleurement d'excellente qualité a permis d'étudier un exemple de dépôts postglaciaires remplissant la plaine de la Broye. Six data-

tions  $^{14}\text{C}$  de matière organique replacent ces dépôts dans leur cadre temporel. Les structures sédimentaires caractérisent le mode de dépôt, tandis que la corrélation avec des profils palynologiques dans les lacs voisins retrace l'évolution climatique.

Au cours du Dryas Ancien et au début du Bølling, une rivière tressée occupe la vallée, alimentée par la fonte du glacier du Rhône. La végétation est du type arctique-alpin. Un réchauffement climatique vers 12'600 ans BP permet ensuite le développement d'une forêt de pins et de bouleaux. Le niveau des lacs monte généralement, et des marais et tourbières s'installent dans la plaine de la Broye. Le Dryas Récent (entre 11'000 et 10'000 ans BP) se marque par un refroidissement et un abaissement du niveau lacustre. Dans le secteur des Longs Prés, un chenal fluvial se creuse et sera peu après rempli de troncs d'arbres arrachés en amont. Le Préboréal et le Boréal ne sont pas datés dans l'affleurement étudié, mais ils sont implicitement représentés par des dépôts de rivière sableuse et des argiles de plaine d'inondation. Des marais et des étangs s'installent à nouveau sur cette plaine vers 6'600 ans BP, et de la gyttja s'y dépose. La plaine d'inondation qui remplace ensuite les marais est caractérisée par une sédimentation de silts et d'argiles riches en traces de racines qui témoignent d'anciens sols.

Bien que les datations absolues soient peu nombreuses, il apparaît que l'évolution sédimentaire de l'affleurement étudié se corrèle bien avec l'évolution hydrographique et climatologique des régions voisines. Cette évolution régionale est elle-même couplée avec des changements climatiques à l'échelle globale: il est possible que la perturbation climatique du Dryas Récent (p.ex. LEHMAN & KEIGWIN, 1992) se manifeste par le grand chenal fluvial près d'Avenches, et la gyttja peut représenter le climat généralement plus humide de la période atlantique (p.ex. ROBERTS, 1989). L'affleurement temporaire des Longs Prés peut donc être considéré comme un enregistrement de processus locaux et régionaux qui modulent un signal climatique global.

## **6. Remerciements**

Nous remercions vivement le Dr. Toni Ackermann d'ABA-Géol (Fribourg) qui nous a signalé l'affleurement de l'hippodrome, ainsi que M. J.-P. Kratzer de l'Institut Equestre National d'Avenches (IENA Investment SA) qui nous a donné la permission d'y travailler. Les datations  $^{14}\text{C}$  ont été financées par le Service hydrologique et géologique national (Ittigen BE), la Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles et l'Institut de Géologie de l'Université de Fribourg.

## 7. Résumé – Zusammenfassung – Abstract

### Résumé

Les faciès et les structures sédimentaires de dépôts postglaciaires de la plaine de la Broye ont été étudiés dans un affleurement artificiel aux Longs Prés à proximité d'Avenches (Suisse). Les datations  $^{14}\text{C}$  replacent ces sédiments dans un cadre temporel et permettent de les comparer avec l'évolution hydrographique et climatique des dernières 13'000 années, bien établie dans la littérature. Au Dryas Ancien et au début du Bølling, la plaine est occupée par une rivière tressée sous un climat arctique-alpin. Un réchauffement climatique permet ensuite l'installation d'une forêt de pins et de bouleaux. Des marais et des tourbières se forment au cours de l'Allerød, en parallèle avec une montée des niveaux lacustres. Le Dryas Récent se caractérise par un abaissement du niveau de base. Des chenaux fluviaux se creusent dans la plaine de la Broye, érodent partiellement les niveaux de tourbe et se remplissent avec des troncs de pins arrachés lors de fortes crues. Des troncs et des cônes de pin carbonisés témoignent de feux de forêt. L'activité de la rivière s'atténue au cours du Préboréal et du Boréal, et le site des Longs Prés fait partie d'une plaine d'inondation. Des mares se forment pendant la période atlantique généralement plus humide, et de la gyttja s'y dépose. La séquence se termine avec les sédiments sub-actuels de plaine d'inondation.

### Zusammenfassung

Fazies und Sedimentstrukturen von postglazialen Ablagerungen in der Broye-Ebene konnten in einem künstlichen Aufschluss bei Longs Prés in der Nähe von Avenches (Schweiz) untersucht werden. Die  $^{14}\text{C}$ -Datierungen erlauben es, diese Sedimente in einen zeitlichen Zusammenhang zu stellen und sie mit der in der Literatur gut beschriebenen hydrographischen und klimatischen Entwicklung der letzten 13'000 Jahre zu vergleichen. Im Laufe der Älteren Dryas und zu Beginn des Bølling ist die Ebene durch einen verwilderten («braided») Fluss besetzt; das Klima ist arktisch-alpin. Eine Klimaerwärmung erlaubt anschliessend das Aufkommen von Kiefer- und Birkenwäldern. Moore und Torf bilden sich im Laufe des Allerød, im Einklang mit einer Anhebung der Seespiegel. Die Jüngere Dryas zeichnet sich dann durch eine Absenkung des Niveaus der Seen aus. Flussarme schneiden sich in die Ebene ein, erodieren zum Teil die Torflage und füllen sich mit Baumstämmen, die von Hochwasser mitgerissen wurden. Verkohlte Stämme und Kieferzapfen zeugen von Waldbränden. Die Aktivität des Flusses nimmt während des Präboreal und Boreal ab, und die untersuchte Lokalität wird Teil einer Schwemmebene. Tümpel bilden sich während der generell feuchteren Periode des Atlantikum und Gyttya lagert sich darin ab. Die untersuchte Sequenz endet mit den Sedimenten der subrezentenen Schwemmebene.

### Abstract

Facies and sedimentary structures of postglacial deposits in the Broye-plain have been studied in an artificial outcrop at Longs Prés close to Avenches, Switzerland.

<sup>14</sup>C dating allows to place these sediments within a time framework and to compare them with the hydrographical and climatic evolution of the last 13'000 years, well established in the literature. During the Older Dryas and at the beginning of the Bølling, the plain is occupied by a braided river, under an arctic-alpine climate. Climate warming then allows the growth of pine and beach forests. In the Allerød, swamps and peat develop concomitant with a general rise in lake levels. The Younger Dryas is characterised by a base-level drop. Fluvial channels cut into the plain, partly erode the peat layer, and fill with tree trunks that have been ripped off by floods. Charred trunks and pine cones document wildfires. The activity of the river diminishes during the Preboreal and Boreal, and the studied locality becomes part of a floodplain. Ponds are forming during the generally more humid Atlantic period, and gyttja is deposited. The studied sequence ends with sediments of the sub-Recent floodplain.

## 8. Bibliographie

- AFFOLTER, J., CATTIN, M.-I. et al.: Monruz, une nouvelle station magdalénienne au bord du lac de Neuchâtel. *Archéol. Suisse* 17, 94–104 (1994).
- AMMANN, B., LOTTER, A.F., EICHER, U., GAILLARD, M.-J., WOHLFARTH, B., HAEBERLI, W., LISTER, G., MAISCH, M., NIESSEN, F. & SCHLÜCHTER, C.: The Würmian Late-glacial in lowland Switzerland. *J. Quat. Sci.* 9, 119–125 (1994).
- BECKER, F.: Géologie de la région du Lac de Morat entre la Vallée de la Sarine et le Lac de Neuchâtel. Thèse Univ. Fribourg (1972).
- BECKER, F.: Feuille 1165 Morat, Notice explicative. Atlas géologique de la Suisse 1:25000 (1973).
- BESSARD, M.: Sur les alluvions de la vallée de la Broie (sic). *Bull. Soc. Vaud. Sci. Nat.* 6, 27–28 (1858).
- BORTENSCHLAGER, S.: Chronostratigraphic subdivisions of the Holocene in the Alps. *Striae* 16, 75–79 (1982).
- BRIEL, A.: Géologie de la région de Lucens (Broye). Thèse Univ. Fribourg (1962).
- CANT, D.J. & WALKER, R.G.: Fluvial processes and facies sequences in the sandy braided South Saskatchewan River, Canada. *Sedimentology* 25, 625–648 (1978).
- GAILLARD, M.-J. & MOULIN, B.: New results on the Late-Glacial history and environment of the Lake Neuchâtel (Switzerland). Sedimentological and palynological investigations at the Palaeolithic site of Hauterive-Champréveyres. *Eclogae geol. Helv.* 82, 203–218 (1989).
- GILLIÉRON, V.: Description géologique des territoires de Vaud, Fribourg et Berne compris dans la Feuille XII entre le Lac de Neuchâtel et la crête du Niesen. *Matér. Carte géol. Suisse* 18 (1885).
- HAAS, J.N., RICHOSZ, I., TINNER, W. & WICK, L.: Synchronous Holocene climatic oscillations recorded on the Swiss Plateau and at timberline in the Alps. *The Holocene* 8, 301–309 (1998).
- INGLIN, H.: Molasse et Quaternaire de la région de Romont (Canton de Fribourg). Thèse Univ. Fribourg (1960).
- LANG, G.: *Quartäre Vegetationsgeschichte Europas*. G. Fischer Verlag, Jena (1994).

- LARDY, C.: Rapport du Conservateur pour la Géologie et la Minéralogie pour l'année 1855. Arch. Cant. Vaud. K XIII–61 (1855).
- LEHMAN, S.J. & KEIGWIN, L.D.: Sudden changes in North Atlantic circulation during the last deglaciation. *Nature* 356, 757–762 (1992).
- LOTTER, A.F., EICHER, U., SIEGENTHALER, U. & BIRKS, H.J.B.: Late-glacial climatic oscillations as recorded in Swiss lake sediments. *J. Quat. Sci.* 7, 187–204 (1992).
- MAGNY, M. & RUFFALDI, P.: Younger Dryas and early Holocene lake-level fluctuations in the Jura Mountains, France. *Boreas* 24, 155–172 (1995).
- MAGNY, M. & RICHOUZ, I.: Holocene lake-level fluctuations in Lake Seedorf, southern Swiss Plateau. *Eclogae geol. Helv.* 91, 345–357 (1998).
- MAGNY, M., SCHOELLAMMER, P., RICHARD, H. & BOSSUET, G.: A high-resolution record of Late Younger Dryas to Mid-Holocene palaeohydrological changes from the palaeolake Le Locle, Swiss Jura. *C.R. Acad. Sci. Paris, Earth & Planet. Sci.* 326, 787–793 (1998).
- MCMANUS, J.: Grain size determination and interpretation. In: TUCKER, M.E.: *Techniques in Sedimentology*. Blackwell, 63–85 (1988).
- MIALL, A.D.: Architectural-element analysis: a new method of facies analysis applied to fluvial deposits. *Earth Sci. Rev.* 22, 261–308 (1985).
- PARRIAUX, A.: Quelques aspects de l'érosion et des dépôts quaternaires du bassin de la Broye. *Eclogae geol. Helv.* 71, 207–217 (1978).
- PARRIAUX, A.: Contribution à l'étude des ressources en eau du bassin de la Broye. Thèse EPF Lausanne (1981).
- PUGIN, A.: Séquences sédimentaires glaciaires dans le Seeland et le Mittelland bernois et soleurois. *Eclogae geol. Helv.* 84, 177–205 (1991).
- PYTHON, C., BERGER, J.-P., & PLANCHEREL, R.: Feuille 1185 Fribourg, Notice explicative. Atlas géologique de la Suisse 1:25000 (1998).
- RICHOUZ, I.: Etude paléoécologique du lac de Seedorf (Fribourg, Suisse). Histoire de la végétation et du milieu durant l'Holocène: le rôle de l'homme et du climat. *Diss. Botanicae* 293, 177 pp. (1998).
- ROBERTS, N.: *The Holocene – An Environmental History*. Blackwell (1989).
- RUMEAU, J.-L.: *Géologie de la région de Payerne*. Crépin-Leblond et Cie, Paris (1954).
- SCHWALB, A., HADORN, P., THEW, N. & STRAUB, F.: Evidence for Late Glacial and Holocene environmental changes from subfossil assemblages in sediments of Lake Neuchâtel, Switzerland. *Palaeoeco., Palaeoclim., Palaeoeco.* 140, 307–323 (1998).
- SIEBER, R.: Géologie de la région occidentale de Fribourg. *Bull. Soc. Frib. Sc. Nat.* 48, 119–229 (1958).
- SIGG, J., MAGGETTI, M. & GALETTI, G.: Contribution à l'étude des terres argileuses de la région de Payerne. *Bull. Soc. Vaud. Sci. Nat.* 78, 159–193 (1986).
- SMITH, N.D.: The braided stream depositional environment: comparison of the Platte River with some Silurian clastic rocks, north-central Appalachians. *Geol. Soc. Amer. Bull.* 81, 2993–3014 (1970).
- WOHLFARTH, B. & AMMANN, B.: The history of the Aare River and the forealpine lakes in western Switzerland. In: STARKEL, L., GREGORY, K.J. & THORNES, J.B. (eds): *Temperate Palaeohydrology*. John Wiley, 301–318 (1991).

- WOHLFARTH, B., GAILLARD, M.-J., HAEBERLI, W. & KELTS, K.: Environment and climate in southwestern Switzerland during the last termination, 15–10 ka BP. *Quat. Sci. Rev.* 13, 361–394 (1994).
- WOHLFARTH, B. & SCHNEIDER, A.M.: Late glacial and Holocene lake level fluctuations in Lake Biel, western Switzerland. *J. Quat. Sci.* 6, 293–302 (1991).
- WOHLFARTH, B., SCHWALB, A. & SCHNEIDER, A.M.: Seen- und Flussgeschichte im Westschweizer Seeland zwischen 5000 und 12000 Jahre vor heute. *Mitt. Naturf. Ges. Bern N.F.* 50, 45–59 (1993).