

Les annexes

Annexe 1

Les formations géologiques de l'ère quaternaire de l'estuaire de la Loire

Les formations géologiques de l'ère quaternaire de l'estuaire de la Loire

Présentation générale

De la Maine à la mer, la Loire s'écoule dans une vallée dont le sous-sol est constitué par des alluvions déposées par le fleuve au cours du Quaternaire, qui a débuté il y a environ 2 millions d'années. L'ancien lit de la Loire ou paléolit était beaucoup plus large qu'aujourd'hui. Son creusement dans le rocher (substratum) s'est produit lors de l'abaissement du niveau de la mer d'une centaine de mètres durant la dernière glaciation au Würm. Lors du réchauffement climatique suivant, à l'Holocène - qui perdure encore actuellement - le niveau marin est remonté par à-coups. La partie estuarienne du fleuve s'est alors déplacée vers l'amont et les sédiments transportés par la Loire se sont déposés : c'est le remplissage alluvial.

Ce remplissage sédimentaire témoigne des oscillations de la remontée du niveau marin

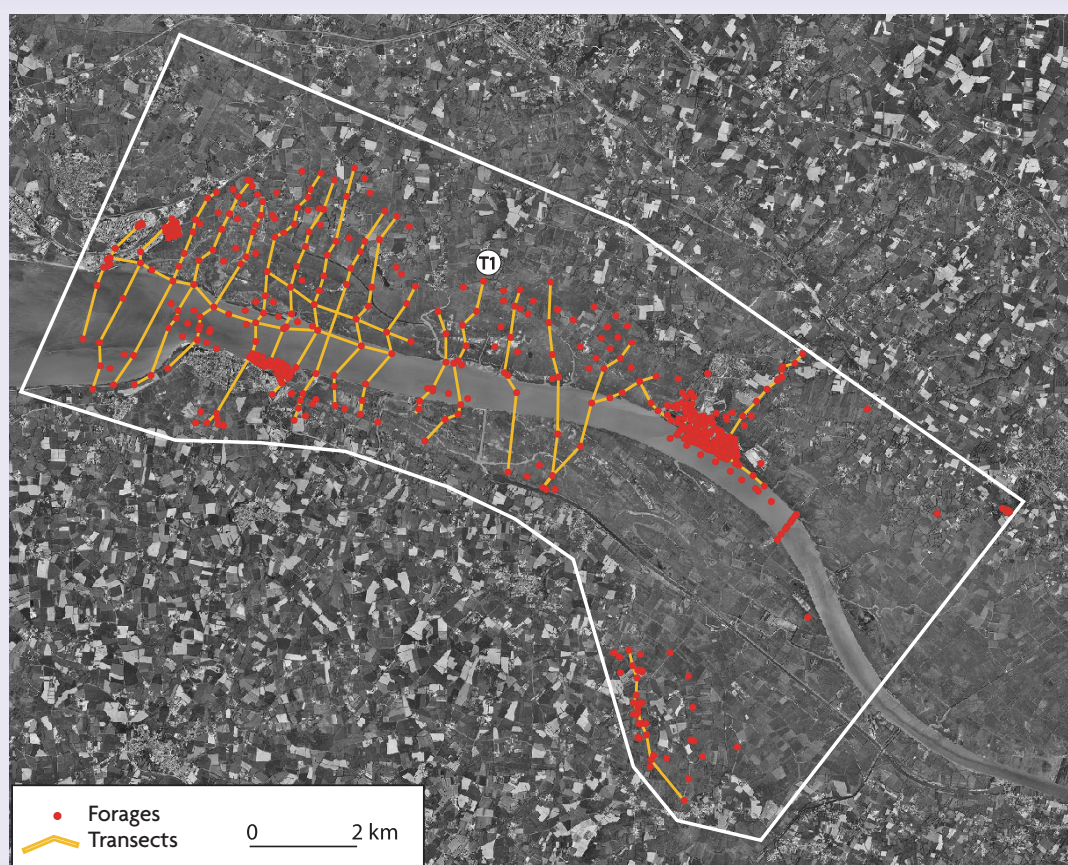
depuis environ 10 000 ans :

- **quand il baisse** : soit la Loire érode les alluvions déjà accumulées, formant des chenaux successifs, soit elle dépose des sédiments grossiers. **Ce régime sédimentaire traduit une influence fluviale dominante,**
- **quand il monte** : la sédimentation est principalement fine et opère un colmatage général de l'estuaire, **le fleuve divague en plusieurs bras, l'influence marine est alors prépondérante.**

L'épaisseur et la nature de ces dépôts sont mal connues. Or la reconstitution de l'évolution de l'estuaire sur le long terme (10 000 ans) est nécessaire, pour comprendre comment il a évolué jusqu'à aujourd'hui, et pour appréhender les dynamiques hydrosédimentaires actuelles et futures.

CARTE An 1 - 1

Localisation des sondages et de la zone "test"



Sources : BRGM / IGN-BD ORTHO© 2004 / GIP Loire Estuaire

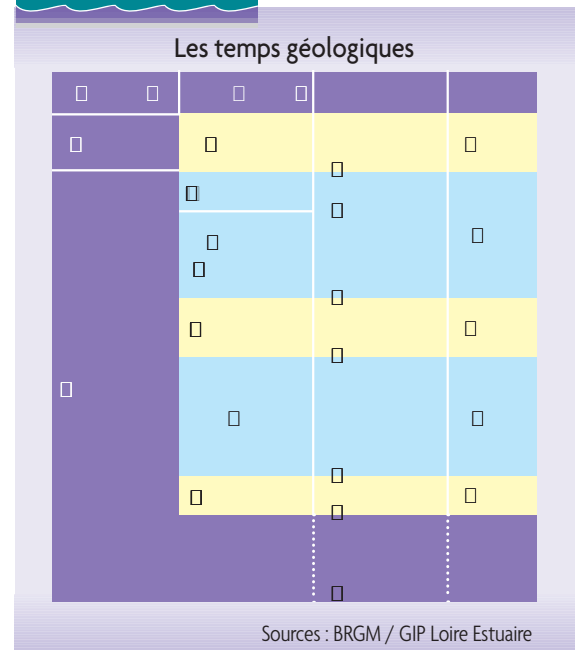
Les résultats exposés ici, sont issus de la première phase du projet réalisé par le BRGM pour le GIP Loire Estuaire, constituant un test méthodologique et validant l'intérêt d'une telle approche.

Dans un premier temps, une zone « test » a été traitée sur la partie intermédiaire de l'estuaire de la Loire comprise entre les limites ouest du Pellerin et de Paimbœuf.

L'étude a comporté plusieurs phases :

- **élaborer une base de données** des 554 forages référencés dans la zone test, pour connaître, entre autres, en un point donné, la nature du sous-sol et les épaisseurs des dépôts de sédiments présents.
- **effectuer une analyse et une synthèse bibliographique** indispensables pour dresser le bilan des connaissances sur les dépôts alluviaux et estuariens de la Loire. Des hypothèses ont ainsi pu être émises sur la chronologie des dépôts rencontrés et sur les dynamiques estuariennes anciennes qui les ont générés. Ces dynamiques estuariennes étant mises en parallèle avec les évolutions du climat, du niveau marin, puis avec celles des actions humaines et des aménagements.
- **identifier les différents ensembles sédimentaires de l'estuaire et reconstituer la géométrie des dépôts** datant de l'Holocène. Ces géométries sont restituées sous forme de coupes géologiques.

FIGURE An 1 - 1



Principaux résultats

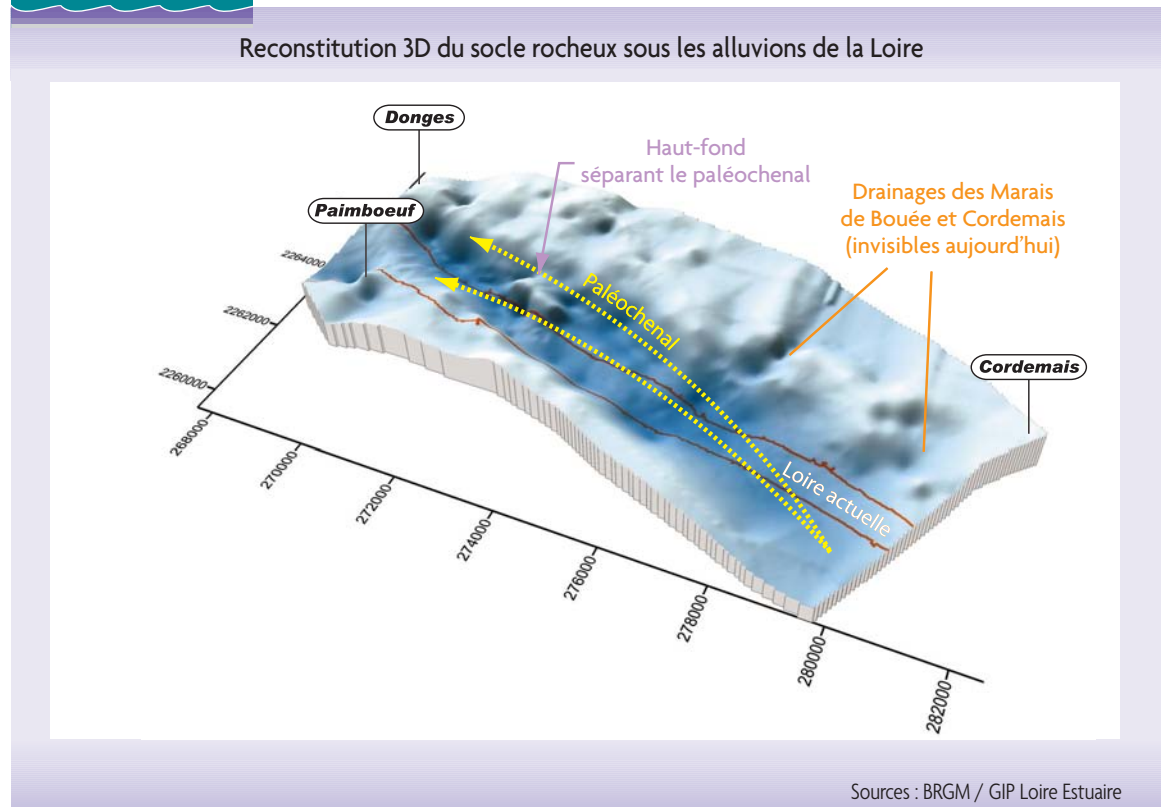
Morphologie du socle rocheux sous les alluvions

L'analyse et le traitement des 554 forages montrent que la morphologie du socle rocheux sous les sédiments est extrêmement mouvementée, avec notamment la présence de plusieurs hauts-fonds partiellement ou totalement ennoyés sous les alluvions récentes.

Les nombreux « sillons » correspondent à d'anciennes incisions du fleuve dans le rocher. Elles résultent probablement de reprises d'érosion de la

Loire par phases successives, lors des bas niveaux marins du Quaternaire récent, notamment durant la dernière période glaciaire. Ces bas niveaux marins ont également induit un encaissement des petits affluents du fleuve sur les parties latérales de l'estuaire. Les talwegs ainsi créés sur le socle rocheux restent suspendus par rapport au paléolit de la Loire. Les marais et tourbières latérales s'installeront ultérieurement sur ces morphologies.

FIGURE An 1 - 2



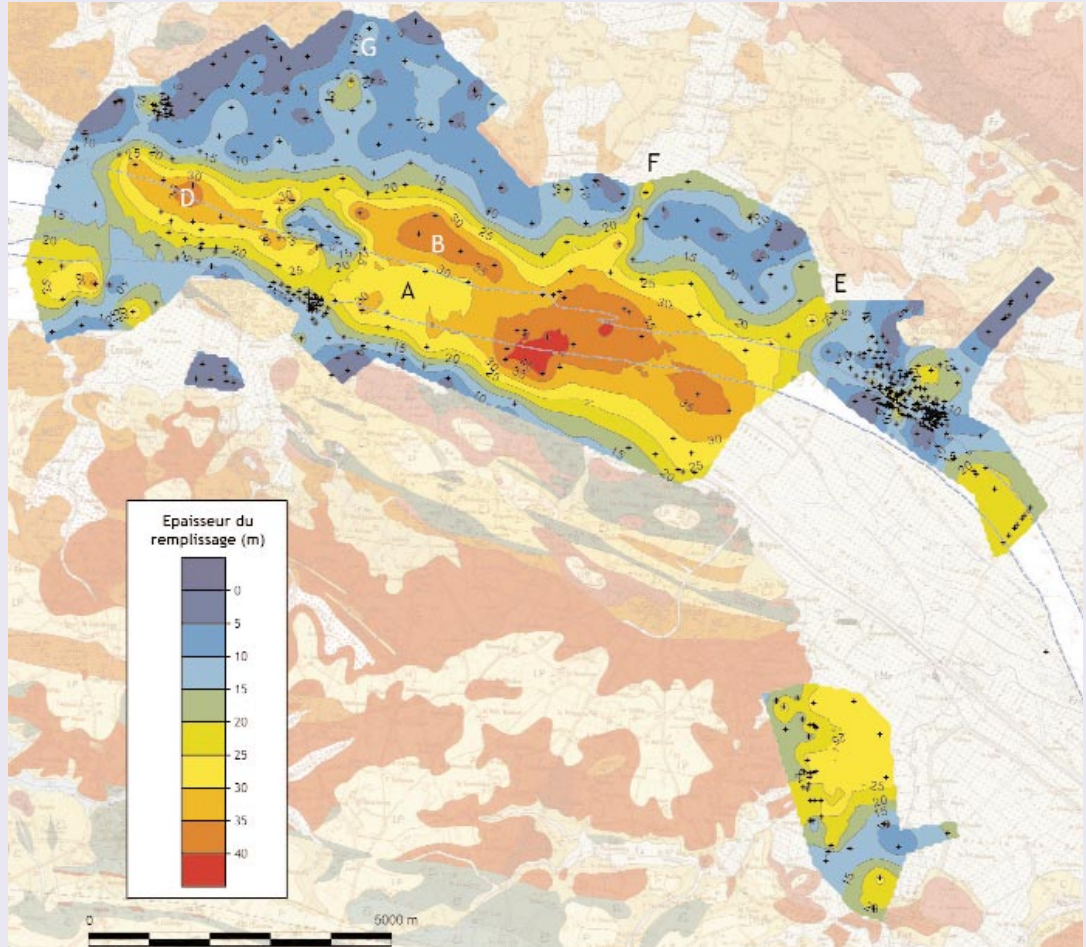
Le remplissage sédimentaire

La phase d'alluvionnement de la Loire est, elle aussi, complexe et résulte de phases successives. Elle débute par des apports relativement grossiers : graviers, sables et galets, partiellement conservés dans les forages. Ces dépôts corres-

pondent à une phase de sédimentation qu'il est possible d'attribuer à la fin du dernier cycle glaciaire ou au Tardiglaciaire. Ils ont été érodés postérieurement et ne subsistent, le plus souvent, que sur des points hauts du socle rocheux.

CARTE An 1 - 2

Epaisseur du remplissage alluvionnaire sur la zone d'étude



Source : BRGM

L'essentiel du remplissage sédimentaire de la zone test, s'est effectué à l'Holocène, et apparaît dominé par 3 types d'alluvions : les sables plus ou moins argileux, les argiles sableuses et les vases.



• Les sables

Les sables et les faciès plus grossiers à graviers et galets, sont relativement rares et s'observent essentiellement en base de remplissage ou dans des systèmes chenalisés. Il est très difficile de déterminer l'âge de ces sables (Würm ou Holocène) en l'absence d'élément de datation fiable.

Les chenaux sableux, qui sont d'anciens lits mineurs où des bras de Loire, s'observent à différentes profondeurs dans les coupes. La présence de sable traduit le phénomène de transport sédimentaire lié à l'écoulement dominant du fleuve. Ces dépôts ne sont donc pas, à priori, indicateurs d'une sédimentation détritique dominante dans l'ensemble de l'estuaire. Dans certaines coupes, la migration dans le temps et l'espace de ces chenaux à sables est bien visible, et exprime la mobilité du tracé du lit au cours du temps.

En-dehors des anciens chenaux, les sables sont présents de façon diffuse, en association avec les autres faciès. Sous les vasières et marais actuels, en marge du lit majeur, ils n'apparaissent que sporadiquement.

• Les argiles

Les argiles sont bien représentées sur tout le domaine d'étude, en assurant parfois une part importante du remplissage des chenaux au-dessus des sables. Il s'agit alors d'argiles sableuses.

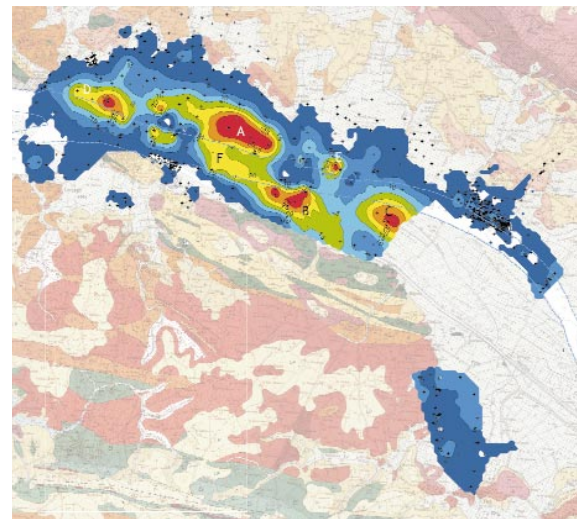
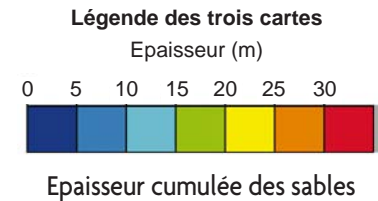
Les argiles sont également présentes dans les zones marginales telles que le marais de Vue, elles y sont moins sableuses que celles des chenaux. Au sein de ces argiles liées à un milieu palustre alimenté par les petits affluents locaux, peuvent apparaître des niveaux argilo-tourbeux ou tourbeux. Ces derniers indiquent ainsi le développement d'une sédimentation organique (riche en débris végétaux) dans des tourbières qui sont, au moins partiellement, déconnectées du système estuarien.

• Les vases

Les vases sont disséminées sur tout l'espace sans logique d'organisation prépondérante. Elles semblent un peu plus épaisses aux débouchés des marais de rive droite et s'accumulent de manière plus importante sous le lit mineur actuel.

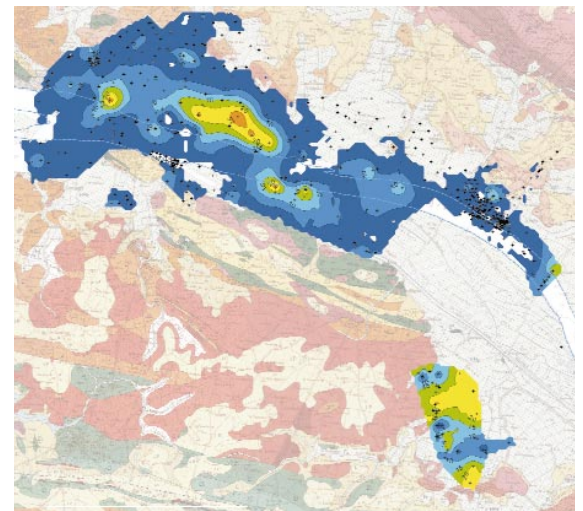
Les vases assurent parfois l'ensemble du remplissage, elles ont alors été piégées dans des dépressions qui sont autant d'anciens chenaux déconnectés de la Loire et de ses apports directs argilo-sableux. Enfin, elles se situent logiquement dans les parties latérales de l'estuaire, là où le socle est peu profond, c'est-à-dire à l'emplacement de vasières.

Par contre, les vases sont absentes de nombreux forages, sur des zones de forte accumulation de sable.



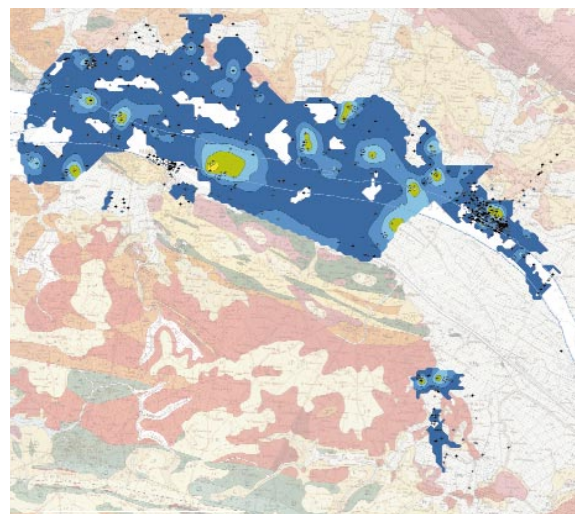
Source : BRGM

Épaisseur cumulée des formations argileuses



Source : BRGM

Épaisseur cumulée des vases



Source : BRGM

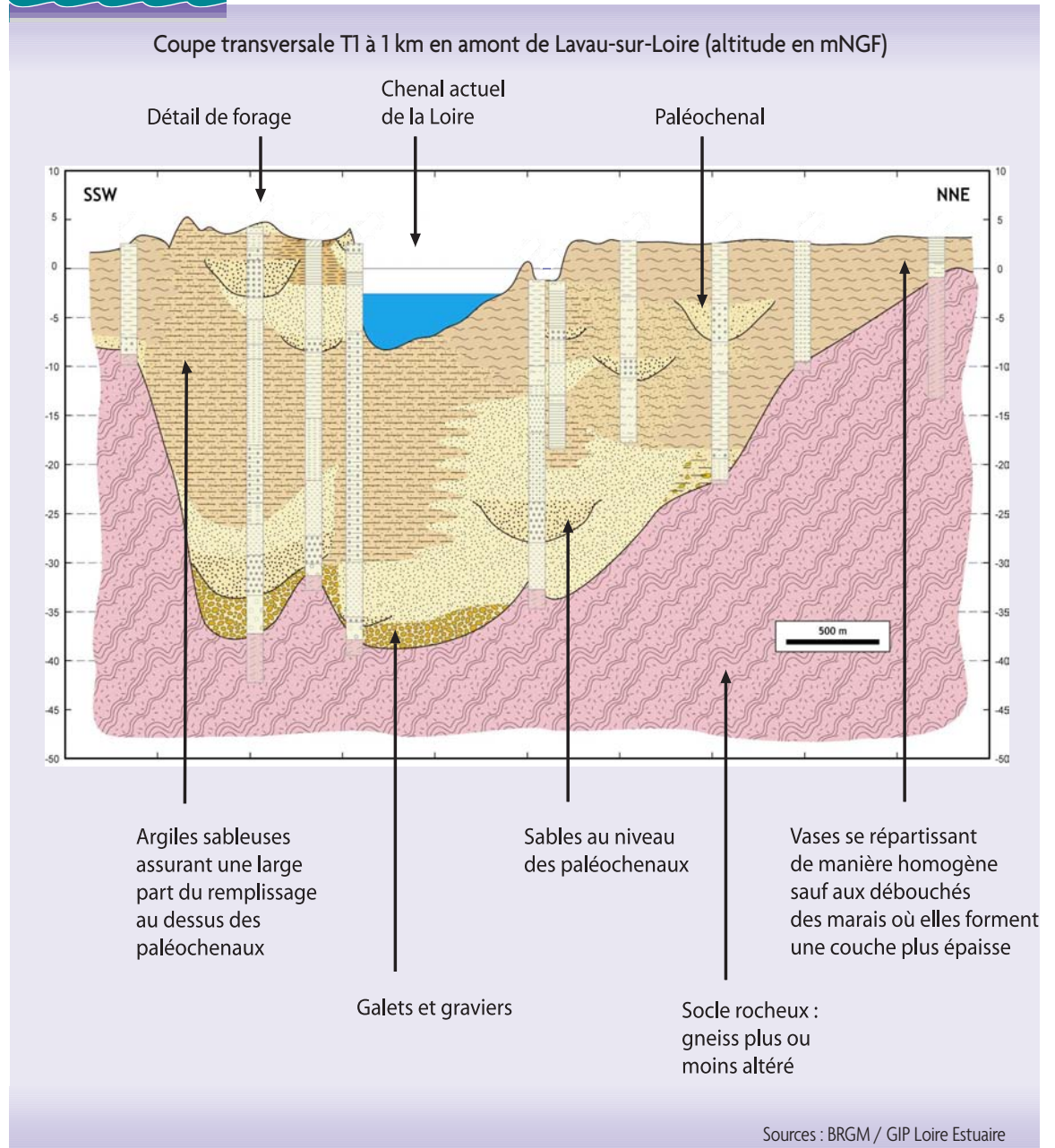
Le fleuve évolue au fil du temps

D'après les coupes transversales, la configuration actuelle du lit du fleuve apparaît assez différente de ce qu'elle a été antérieurement où plusieurs chenaux pouvaient coexister en même temps, divaguer et migrer latéralement

au sein d'une large plaine d'inondation argilo-vaseuse.

Des coupes longitudinales ont également été effectuées pour apprécier la divagation des affluents du fleuve.

FIGURE An1 - 3



Les forages et les coupes réalisées complètent, en partie, les interprétations fournies lors d'études antérieures (Ottmann et al. 1968, Alix 1969, Visset 1979, Barbaroux 1981, Cyprien et al. 2004). Ainsi, se remarque un creusement, probablement effectué par des phases successives d'érosion, et datant vraisemblablement du dernier cycle glaciaire, surmonté par des dépôts assez grossiers qui restent à l'état de témoin dans quelques forages.

L'Holocène est essentiellement une période de sédimentation et de colmatage des morphologies plus anciennes.

Aujourd'hui le lit mineur de la Loire est nettement incisé dans ses alluvions. Cette évolution est aussi à rapprocher des actions humaines et aménagements historiques entrepris sur son cours pour favoriser la navigation.

Une première étude à enrichir

Cette étude a permis de reconstituer le remplissage sédimentaire d'une partie de l'estuaire et d'émettre des hypothèses sur son histoire et son évolution temporelle. Cette interprétation reste cependant limitée par le manque de calage chronologique, la densité insuffisante des forages par rapport à la taille des structures sédimentaires et la forte variabilité latérale des faciès.

Afin d'améliorer la connaissance de l'évolution passée de l'estuaire, il serait intéressant, outre l'extension de la base de données aux secteurs amont et aval de la zone test, d'engager :

- soit la réalisation d'un programme de recherche visant à réaliser une série de forages carottés dont les sédiments seraient étudiés et datés (par palynologie, datation radiocarbone, sédimentologie etc.)
- soit le suivi et la datation systématique d'échantillons issus de forages réalisés à l'avenir dans l'estuaire, quelle qu'en soit leur finalité. Cela implique au préalable un accord avec le maître d'œuvre du forage ainsi que le recueil d'informations supplémentaires.

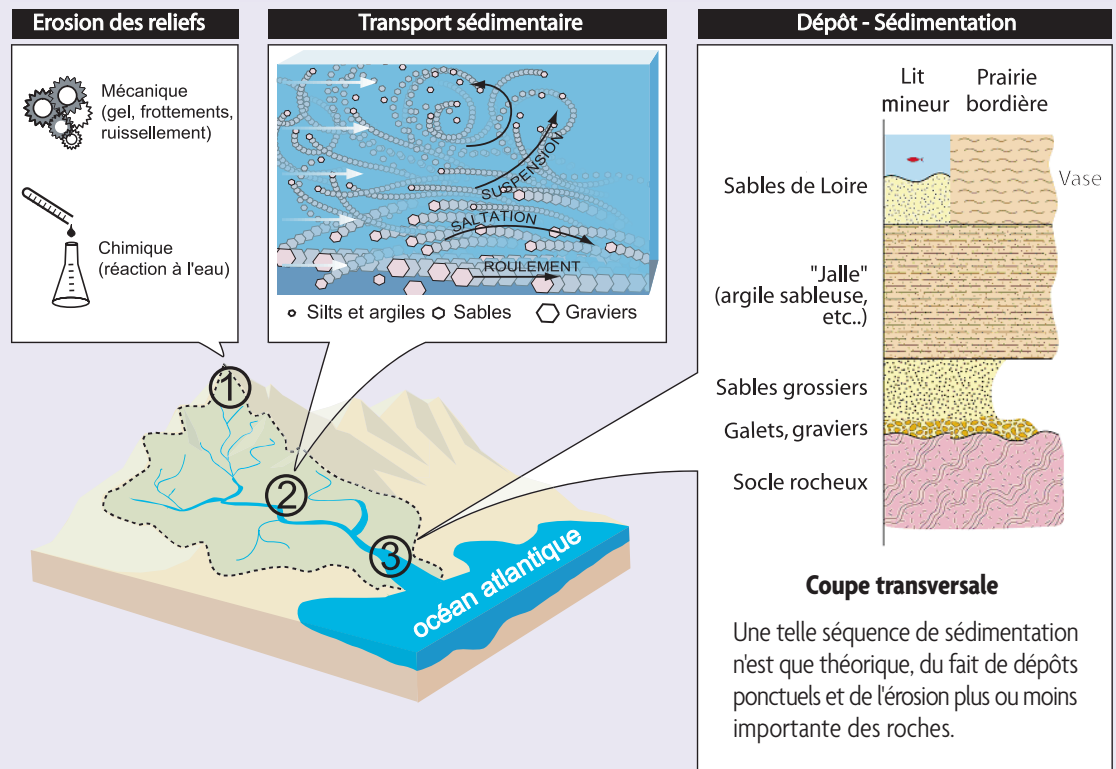
D'où proviennent les sédiments ?

Les sédiments qui ont colmaté les chenaux successifs proviennent de l'érosion des sols et des reliefs des 115 000 km² du bassin versant de la Loire. Leur déplacement varie en fonction de la taille des particules transportées

(argiles, silt, sables et graviers) et du contexte climatique. Le paléolith a été colmaté par les sédiments sur des épaisseurs croissantes vers l'aval : 8 m à Angers, 27 m à Nantes, 50 m à Saint-Nazaire.

FIGURE An 1 - 4

De l'érosion du bassin versant au remplissage alluvial



Méthodes & Outils

La base de données de forages est issue de la Banque de données du Sous Sol (BSS) du BRGM, référencant l'ensemble des sondages réalisés en France. Après validation et traitements, 554 forages effectués sur la zone test, ont été retenus.

Grâce au logiciel GDM, Gestion des Données Minières © BRGM, les traitements géostatistiques ont permis de reconstituer la forme du socle rocheux et la répartition des alluvions.

Un Système d'Information Géographique (SIG) sur les forages, a aussi été associé à la base de données, afin d'extraire les différentes coupes transversales et longitudinales.

L'étude réalisée est disponible auprès du BRGM (www.brgm.fr), et téléchargeable sur le site Internet du GIP Loire estuaire (www.loire-estuaire.org).



Bibliographie

Parmi les nombreuses références bibliographiques nécessaires au BRGM pour cette étude, quelques-unes peuvent être citées :

Alix, Y. (1969). Morphologie du substratum et caractéristiques des alluvions de la vallée de la Loire en amont et en aval de Nantes. Rapport BRGM, 69SGL249BPL.

Barbaroux, L. (1981). Images paléogéomorphologiques de l'estuaire de la Loire depuis le Quaternaire, in La Loire, axes perdus ?, Presses de l'Université de Nantes, 15-65.

Cyprien, A.L., Visset, L. & Carcaud, N. (2004). Evolution of vegetation landscapes during the Holocene in the central and downstream Loire basin (Western France). *Veget. Hist. Archaeobot.*, 13, 181-196.

Garcin M., Poisson B., Conil P. (2006) Géométrie des formations géologiques de l'estuaire de la

Loire - Rapport final phase 1 - Rapport BRGM/RP - 4878 - FR., 79 p., 36 fig.

Ottmann, F., Alix, Y., Limasset, J.C. & Limasset, O. (1968). Sur "le lit ancien" de la Loire dans son cours inférieur. *Bull. BRGM*, 1, 2, 26-56.

Ters, M., Planchais, N. & Azema, C. (1968). L'évolution de la basse vallée de la Loire, à l'aval de Nantes, à la fin du Würm et pendant la transgression flandrienne. *Bulletin de l'Association française pour l'étude du Quaternaire*, 3, 217-246.

Visset, L. (1979). Recherches palynologiques sur la végétation pléistocène et holocène de quelques sites du district phytogéographique de Basse-Loire. *Bulletin de la Société des Sciences Naturelles de l'Ouest de la France*, supplément hors-série, 282 p.

Glossaire

Les mots de l'annexe

Morphologie : relief, forme de terrains

Paléochenal : ancien chenal abandonné d'une rivière ou d'un fleuve

Palynologie : étude des pollens fossiles

Sédimentation détritique : sédimentation de particules issues de l'érosion d'autres roches

Sédimentation organique : sédimentation de particules d'origine biologique

Substratum : base sur laquelle repose une formation géologique ou des alluvions

Talweg : un talweg correspond à une ligne qui rejoint les points les plus bas d'une vallée

Tourbière : écosystème particulier composé principalement de plantes adaptées à un milieu gorgé en eau et dont les débris s'accumulent sur place.