



ESJ Natural/Life/Medical Sciences

Contribution à la Caractérisation des Sédiments Superficiels Quaternaires de la Partie Sud du Marais Poitevin (Poitou-Charentes-France)

*Anongba Braphond Rodrigue Vincent Benjamin
Adja Miessan Germain*

École Normale Supérieure (ENS) d'Abidjan,
Département des Sciences et Technologies,
Section des Sciences de la Vie et de la Terre (SVT), Côte d'Ivoire
Djémin Edoukou Jacques

Laboratoire des Sciences de l'Eau, du Sol et des Géomatériaux,
UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minières (STRM)
Université Félix Houphouët Boigny d'Abidjan, Côte d'Ivoire

[Doi:10.19044/esj.2022.v18n40p211](https://doi.org/10.19044/esj.2022.v18n40p211)

Submitted: 03 October 2022
Accepted: 08 December 2022
Published: 31 December 2022

Copyright 2022 Author(s)
Under Creative Commons BY-NC-ND
4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Vincent Benjamin A.B.R., Germain A.M. & Jacques D. E.. (2022). *Contribution à la Caractérisation des Sédiments Superficiels Quaternaires de la Partie Sud du Marais Poitevin (Poitou-Charentes-France)*. European Scientific Journal, ESJ, 18 (40), 211.

<https://doi.org/10.19044/esj.2022.v18n40p211>

Résumé

Le système hydrogéologique de la partie sud du marais Poitevin qui est comme une zone humide, est très peu connu. Cette étude vise à définir les caractéristiques sédimentologiques et physiques des formations du Quaternaire de cette partie sud du marais Poitevin en vue d'une meilleure connaissance du système hydrogéologique pour sa gestion durable. Ainsi, la cartographie de l'épaisseur des formations quaternaires par la méthode du krigeage, la granulométrie laser et la description minéralogique par diffractomètre des rayons X sont utilisées. Cette étude a montré que les épaisseurs des formations quaternaires varient de 0 à 22,5 m avec, des épaisseurs plus importantes au Nord et au Nord-ouest de la zone d'étude. Ces épaisseurs varient de façon spécifique de 0 à 54 m à Saint Hilaire la Palud susceptible de correspondre à une anomalie géologique. La granulométrie des formations quaternaires est plus grossière au Sud et plus fine au Nord de la

partie du marais considérée. Les faciès rencontrés sont des limons généralement plus fins en surface qu'en profondeur avec ou sans coquillage, passant latéralement à des sables ou à des débris calcaires. Les sédiments en surface ont une faible perméabilité (inférieure à 10⁻⁷ m.s⁻¹ ou de 10⁻⁷ à 10⁻⁶ m.s⁻¹) par rapport à ceux rencontrés en profondeur où les valeurs de perméabilité peuvent atteindre 10⁻⁴ m.s⁻¹. Cette perméabilité est plus élevée sur la bordure sud que sur la bordure nord de la partie du marais considérée. Le cortège minéralogique est dominé par le quartz et les feldspaths en surface et les minéraux carbonatés en profondeur. Ces minéraux sont associés à l'illite et la chlorite. Les formations quaternaires mettent en évidence la "nappe du Bri" en surface et les "pseudo-nappes" en profondeur. L'ensemble de ces formations quaternaires repose sur le substratum carbonaté Jurassique.

Mots-clés: Marais Poitevin, Zone Humide, Granulométrie, Diffractogramme des Rayons X, Formations quaternaires

Contribution to the characterization of quaternary surface sediments of the southern part of the Marais Poitevin (Poitou-Charentes-France)

*Anongba Braphond Rodrigue Vincent Benjamin
Adja Miessan Germain*

École Normale Supérieure (ENS) d'Abidjan,
Département des Sciences et Technologies,
Section des Sciences de la Vie et de la Terre (SVT), Côte d'Ivoire

Djémin Edoukou Jacques
Laboratoire des Sciences de l'Eau, du Sol et des Géomatériaux,
UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minières (STRM)
Université Félix Houphouët Boigny d'Abidjan, Côte d'Ivoire

Abstract

Hydrogeological system of Poitevin marsh southern part, which is like a wetland, is very little known. This study aims to define sedimentological and physical characteristics of Quaternary formations of Poitevin marsh southern part in order to better understand hydrogeological system for its sustainable management. Thus, thickness mapping of Quaternary formations by kriging method, laser grain-size analysis and mineralogical description by X-ray diffractometer are used. This study showed that the thicknesses of Quaternary formations vary from 0 to 22.5 m with greater thicknesses to the north and northwest of the study area. These thicknesses vary specifically from 0 to 54

m in Saint Hilaire la Palud likely to correspond to a geological anomaly. The grain-size analysis of quaternary formations is coarser in South and finer in North of considered marsh part. Encountered facies are silts that are generally finer at the surface than at depth, with or without shells, passing laterally to sands or calcareous debris. The surface sediments have a low permeability (less than 10^{-7} m.s⁻¹ or 10^{-7} to 10^{-6} m.s⁻¹) compared to those encountered at depth where permeability values can reach 10^{-4} m.s⁻¹. This permeability is higher on southern edge than on northern edge of considered marsh part. The mineralogical assemblage is dominated by quartz and feldspars at surface and carbonate minerals at depth. These minerals are associated with illite and chlorite. The quaternary formations highlight "Bri groundwater" at surface and "pseudo aquifers" at depth. The whole of these quaternary formations rest on the Jurassic carbonate substratum.

Keywords: Poitevin Marsh, Wetland, Grain-Size Analysis, X-ray Diffractogram, Quaternary Formations

Introduction

L'un des rôles essentiels des zones humides est de participer à la recharge et décharge des eaux souterraines et de constituer des lieux de régulation des régimes hydrologiques (Bassi *et al.*, 2014). Le marais Poitevin, à l'instar des zones humides dans le monde, a subi d'importantes régressions de ses prairies inondables à la suite d'activités anthropiques et une surexploitation des nappes souterraines calcaires. Il reste cependant un espace écologique ou environnemental d'intérêt national au même titre que plusieurs zones humides en France et fait désormais l'objet d'investigation afin de comprendre son fonctionnement.

La partie sud du marais Poitevin est méconnue du point de vue hydrogéologique. L'état actuel des connaissances réalisé sur celle-ci met en évidence des lacunes de connaissances notamment sur les échanges entre les formations du Quaternaire et les formations calcaires de l'Oxfordien supérieur (Safège, 2001). Ces lacunes de connaissances concernent également les caractéristiques sédimentologiques et/ou hydrogéologiques des formations du Quaternaire. Les travaux réalisés jusqu'ici sur cette partie du marais dans le domaine des Sciences de la Terre l'ont plutôt été en pédologie (Bernard, 2006 ; Garnier, 1975; Ducloux et Nijs, 1972; Dupuis, 1969). Seule, l'étude de Barbecot (1999) apporte quelques informations sur la géochimie des eaux dans sa partie nord. Il s'avère donc nécessaire de mener des études sur la partie sud pour une meilleure gestion de l'ensemble du marais Poitevin. En effet, la gestion durable et efficace de ces zones humides doit nécessairement passer par une connaissance réelle du milieu physique et des processus à l'origine de leur formation (Guo and *al.*, 2019 ; Brooks and *al.*, 2018 ; David and *al.*, 2018 ;

Cuthbert and *al.*, 2014). Les approches utilisées dans cette étude sont basées sur la cartographie par krigeage, la granulométrie laser pour dégager le comportement hydrodynamique des grains de sable et sur la description minéralogique au diffractomètre. Cette étude a donc pour objectif de définir les caractéristiques sédimentologiques ou physiques des formations quaternaires de la partie sud du marais Poitevin en vue d'acquérir des connaissances sur le système hydrogéologique pour une gestion durable. Elle consiste à cartographier l'épaisseur des formations quaternaires, à déterminer les faciès litho-stratigraphiques et leur perméabilité correspondante, à effectuer leur description minéralogique et enfin à proposer des coupes géologiques interprétatives de celles-ci.

Présentation de la zone d'étude

La zone d'étude englobe toute la partie sud du marais Poitevin ainsi qu'une partie de la plaine calcaire de l'Aunis et de Niort. En effet, le marais Poitevin localisé à l'Ouest de la France, se présente comme une dépression s'inscrivant entre deux plaines du substratum carbonaté traduisant la structure isoclinale des formations jurassiques de la bordure septentrionale du bassin d'Aquitaine (Dupuis et *al.*, 1965 ; Camuzard 2000). Ancien Golfe des Pictons, ce marais s'étend de Niort à l'océan Atlantique, sur une longueur d'environ 70 km et est la deuxième plus grande zone humide de France après la Camargue et le plus vaste marais de la façade atlantique, couvrant environ 964 km² s'étendant sur deux régions (Pays de la Loire et Poitou-Charentes) et trois départements (Vendée, Charente Maritime et Deux-Sèvres). Cette zone humide qui regroupe au total soixante-quinze communes, est assez fortement peuplée avec 100 000 habitants recensés lors de la campagne de 1990. La zone d'étude est localisée sur les départements de Charente Maritime et des Deux Sèvres et est située à proximité du détroit du Poitou, en bordure nord du bassin d'Aquitaine. Elle s'étend de Bessines à l'extrême Est jusqu'à Charron à l'Ouest (Figure 1). Elle englobe au total 27 communes dont 16 communes appartenant au département de la Charente Maritime et 11 communes à celui des Deux Sèvres. La superficie totale de cette zone est estimée à 550 km².

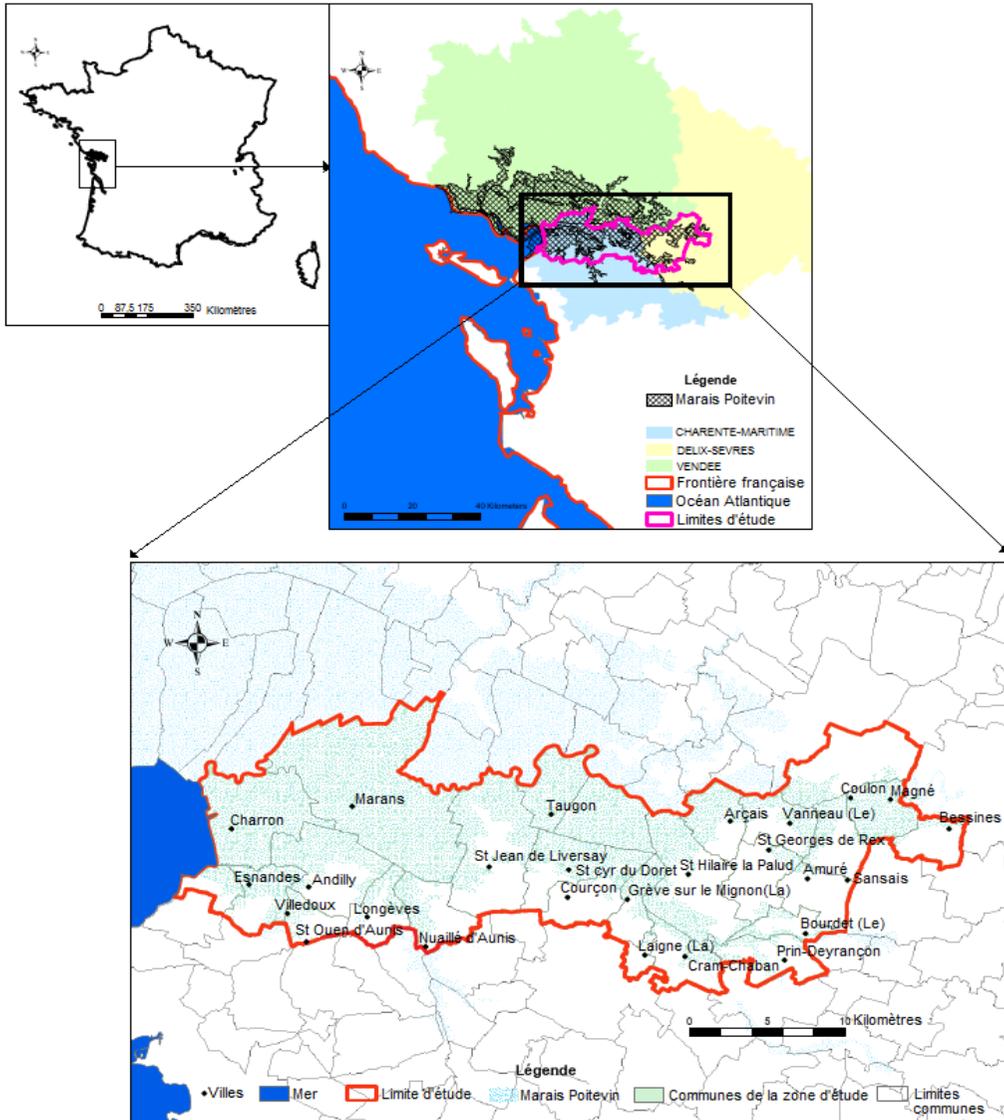


Figure 1. Localisation de la zone d'étude

Le climat est de type océanique avec une pluviométrie moyenne annuelle de 770 mm à 840 mm. Cette pluviométrie est très irrégulièrement répartie dans l'année et se concentre principalement d'octobre à février. La topographie du marais Poitevin est très homogène avec des îlots d'altitudes s'élevant entre 10 et 20 m. Ce sont soit des soubassements calcaro-marneux qui ont échappé au nivellement lors des phases successives d'érosion qui ont jalonné l'histoire du marais, soit des cailloux ou des graviers quaternaires reposant sur des bancs calcaires (Welsch, 1916). Au plan géologique et hydrogéologique, la zone d'étude est constituée de deux grandes formations

géologiques qui sont les formations calcaires et marno-calcaires d'âge Jurassique sur lesquelles reposent les formations du Quaternaire. Ces deux entités géologiques permettent de différencier plusieurs aquifères.

Matériel et méthodes

Matériel

Pour mener à bien cette étude, il a été décidé la mise en place de deux sites expérimentaux. Sur chaque site expérimental, quatre ouvrages (forages) ont été réalisés dont deux captent l'aquifère carbonaté du Jurassique supérieur (Oxfordien) et les deux autres celui des formations quaternaires. En complément des ouvrages réalisés sur ces deux sites, des sondages à la tarière ont été réalisés sur l'ensemble du secteur d'étude pour apporter des informations supplémentaires concernant l'épaisseur des formations quaternaires. Certaines informations existantes consistent en quelques sondages et ouvrages particuliers, disponibles à la Banque du sous-sol du Bureau Régional de Géologie Minière de Poitiers. Les données utilisées sont constituées des épaisseurs des formations du Quaternaire récupérées auprès du BRGM et celles obtenues lors de la mise en place des sites expérimentaux. La carte des isohypses (courbes d'égale altitude) du toit des formations calcaires, réalisée par Safège (2001) et le Modèle Numérique de Terrain (MNT) représentant la topographie de la zone d'étude ont aussi été utilisés dans cette étude. Pour l'étude granulométrique et minéralogique, l'échantillonnage des sédiments (formations quaternaires) a été réalisé sur les huit ouvrages des deux sites expérimentaux et des onze sondages à la tarière regroupés selon leur position géographique sur cinq transects N-S de plus en plus éloignés du littoral vers la plaine calcaire de Niort (Figure 2).

Le matériel utilisé est constitué du matériel de laboratoire essentiellement d'une colonne composée de deux tamis de 50 μm et 200 μm correspondant aux coupures sables grossiers et sables fins. Il renferme également un granulomètre laser de marque Malvern Mastersizer IP100 constitué d'un faisceau laser monochromatique rouge, d'une cellule d'analyse contenant la suspension et d'un détecteur interféromètre. Cet appareil permet de réaliser des mesures de répartition granulométrique de poudre par voie humide dans la gamme de taille des particules de 0,1 à 80 μm pour une lentille de 45 mm de focale. L'analyse est effectuée grâce au logiciel Malvern. Concernant l'étude minéralogique, l'appareil utilisé est un diffractomètre Philips Xpert, équipé d'une source au cuivre, d'un système optique composé d'une fente anti-divergence de $1/4^\circ 2\theta$, d'une fente anti diffusion de $1/2^\circ 2\theta$ et d'un ensemble de fentes de Soller de 0,04 radian et d'un détecteur Xcelerator permettant l'acquisition simultanée sur la totalité d'un secteur angulaire de $2^\circ 2\theta$. L'analyse est faite à partir du logiciel Xpert HighScore. Le calcimètre de Bernard a été utilisé pour déterminer des mesures de teneurs en carbonates.

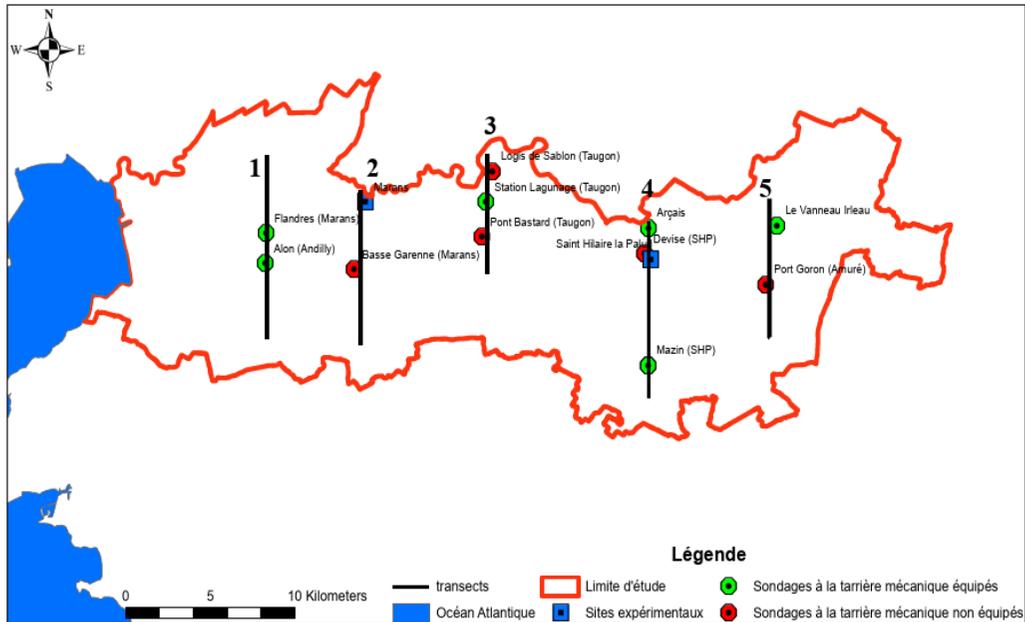


Figure 2. Carte de localisation montrant les points d'échantillonnage

Méthodes

Méthodes d'analyse descriptive de la lithologie des formations quaternaires

Méthode d'estimation cartographique des épaisseurs des formations quaternaires

L'estimation des épaisseurs des formations quaternaires du Bri a été réalisée à partir de la carte des isohypses du toit des formations calcaires du secteur de l'Aunis y compris la partie sous couverture quaternaire. Cette carte a été utilisée dans ce travail comme le mur des formations quaternaires du marais. Elle a ensuite été couplée avec le Modèle Numérique de Terrain (MNT) représentant la topographie de la zone d'étude, pour déterminer 13000 valeurs d'épaisseur des formations quaternaires. Ces données d'épaisseur ont été interpolées ou cartographiées à partir de la méthode géostatistique du logiciel ArcGis 9.0. La méthode d'interpolation choisie est le krigeage ajusté sur le modèle sphérique (Sinan, 2000). Cependant, les données sur les épaisseurs des formations du Quaternaire récupérées auprès du BRGM et celles obtenues lors de la mise en place des sites expérimentaux n'ont pas été incorporées. Ces dernières données ont servi à vérifier l'exactitude de l'estimation et à affiner la cartographie des épaisseurs des formations quaternaires du marais Poitevin.

Méthode d'analyse granulométrique des sédiments

L'étude granulométrique d'un matériau vise à déterminer la proportion des éléments figurés, classés par catégories de grosseur ou de diamètre équivalent, après désagrégation du matériau. L'objectif de l'analyse granulométrique menée dans le cadre de cette étude est de mettre en relation l'état structural stable d'un matériau meuble (sol ou sédiment) avec sa perméabilité. L'analyse granulométrique est réalisée suivant deux opérations qui sont le tamisage et la granulométrie Laser. Pour obtenir la composition granulométrique des échantillons des sols et sédiments, la masse d'eau (H) contenue dans chaque échantillon est mesurée. En effet, les échantillons sont pesés puis séchés à l'air libre afin d'éliminer et de déterminer la quantité d'eau gravitaire. Après séchage, 10 g de chaque échantillon sont placés dans un cristalliseur en verre pour mesurer l'humidité relative à 105°C, c'est-à-dire l'eau adsorbée à la surface des grains et/ou dans la porosité fine des agrégats. Les masses de sables grossiers (MSG) et de sables fins (MSF) sont déterminées par tamisage (deux tamis de 200 µm et 50 µm) puis par la pesée. La masse d'argiles et de limons (MAL) est obtenue en soustrayant les masses de sables grossiers (MSG) et de sables fins (MSF) et la masse d'eau (teneur en eau) contenue dans chaque échantillon, de la masse initiale de l'échantillon humide (MH) soit $[MAL = MH - MSG - MSF - H]$.

La détermination de la masse d'argiles (MA) et de celle des limons fins et grossiers (ML) est effectuée à partir de la granulométrie laser (granulomètre laser). La granulométrie laser a consisté à mesurer la fréquence statistique des particules en fonction de leur taille à partir de la détermination de leur diamètre. C'est une technique basée sur la diffraction d'un faisceau de lumière monochromatique, s'appuyant sur les théories de Fraunhofer et de Mie dont les résultats sont retranscrits par le logiciel Malvern. En effet, cette technique a permis d'obtenir les pourcentages de limons et d'argiles. Ces pourcentages ont permis de déduire les masses de limons et d'argiles à partir de la masse de limons + argiles. Les proportions des différents éléments figurés ont ensuite pu être recalculées en ramenant la somme de leur pourcentage à 100, c'est-à-dire sans tenir compte de la masse d'eau des échantillons.

Les données des différentes analyses granulométriques sont reportées dans un diagramme ternaire montrant la corrélation entre la texture de sol et la perméabilité (Figure 3). Ce diagramme est divisé en douze classes granulométriques et en quatre zones de perméabilité. Ainsi, le report de chaque échantillon sur ce triangle donne à la fois la classe granulométrique à laquelle il appartient et un ordre de grandeur de sa perméabilité. Par la suite, des coupes granulométriques et/ou lithologiques des formations quaternaires sont établies au niveau de la zone d'étude.

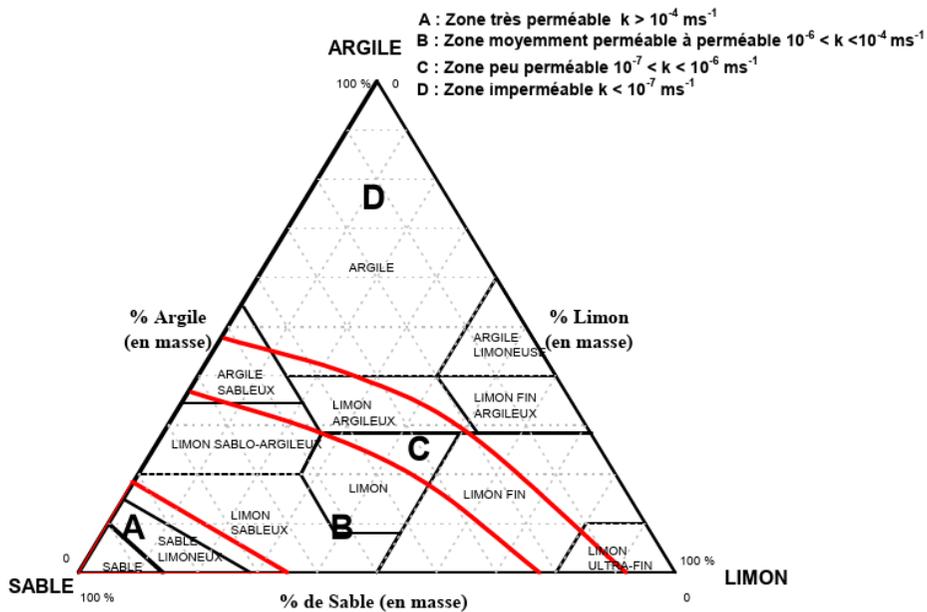


Figure 3. Triangle de texture donnant la correspondance perméabilité - pourcentages, d'argile (<0,002 mm), de limon (0,002 - 0,05 mm) et de sable (0,05 - 2 mm) (MDDEP Québec, 2005 modifiée)

Méthode d'analyse minéralogique des formations quaternaires

La méthode utilisée pour déterminer la composition minéralogique des matériaux étudiés est basée sur l'utilisation d'un diffractomètre Philips Xpert. L'acquisition des diffractogrammes est faite à 40 kV et à 40 mA, sur un domaine angulaire compris entre $2,5$ et $65^\circ 2\theta$, avec un temps de comptage de $30 \text{ s}/2^\circ 2\theta$. La caractérisation a été réalisée en mode poudre. Le matériau, préalablement broyé et tamisé à $50 \mu\text{m}$, a été introduit dans un support de 5 cm de diamètre, lui-même positionné sur un porte-échantillon rotatif (4 tr. min^{-1}) dont l'action permet de réduire au maximum les effets d'orientation, toujours possibles lorsque le matériau est argileux. L'identification des phases minérales présentes a été faite avec le logiciel Xpert HighScore couplé à la base de données JCPDS (Tableau 1). En effet, les mêmes références minérales du fichier JCPDS pour l'ensemble des échantillons ont été utilisées. Une estimation semi-quantitative des teneurs minérales est faite sur la base de la corrélation qui existe entre le fichier JCPDS du minéral sélectionné et les diffractogrammes obtenus. Toutefois, cette méthodologie, restreinte à la seule utilisation de l'Indice de Réflectance Relative (RIR) de chaque minéral, ne permet d'obtenir que des ordres de grandeurs. En effet, des mesures de teneurs en carbonates (calcite) sur quatorze échantillons localisés à des profondeurs variables à l'aide du calcimètre de Bernard, ont été effectuées. Les valeurs

obtenues ont été comparées à celles estimées par la Diffraction des Rayons X (DRX), ce qui a montré une excellente corrélation entre ces deux méthodes. Ainsi, il a été admis l'hypothèse que les autres estimations des teneurs en éléments minéraux des échantillons faites par le DRX, sont acceptables et fiables.

Tableau 1. Liste des minéraux identifiés avec leur référence JCPDS, la position de leur réflexion majeure et de la valeur du RIR pris en considération

Minéral	Formule structurale	Réflexion I ₁₀₀	N° JCPDS	RIR
Quartz	SiO ₂	3,34	00-005-	3,60
Albite	NaAlSi ₃ O ₈	3,19	01-072-	0,66
Microline	KAlSi ₃ O ₈	3,24	01-071-	0,60
Hornblende	Na _{0,5} Ca ₂ (Fe ₂ Mg ₃)(Si ₇ Al)O ₂₂ (OH) ₂	8,45	01-083-	0,71
Chlorite	(Mg,Fe,Al) ₆ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₈	14,2	01-079-	1,00
Illite	KAl ₂ (Si ₃ Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂	10,0	00-029-	0,70
Kaolinite	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	3,15	01-078-	1,12
Calcite	CaCO ₃	3,03	01-083-	3,21
Dolomite	(Ca,Mg)(CO ₃) ₂	2,89	01-073-	2,42
Aragonite	CaCO ₃	3,39	01-076-	1,14
Gypse	CaSO ₄ .2H ₂ O	7,60	00-021-	1,70
Bassanie	CaSO ₄ .5H ₂ O	6,00	00-014-	-
Halite	NaCl	2,81	01-075-	4,71
Pyrite	FeS ₂	2,71	01-071-	2,82

Méthode d'élaboration des coupes géologiques interprétatives

Les informations recueillies à partir des cartes géologiques du BRGM au 1/50 000 (de l'Aiguillon-sur-mer, Marans, Niort, La Rochelle, Surgère et de Mauzé-sur-le-Mignon), de l'étude géophysique, des sondages à la tarière, des ouvrages réalisés sur les sites expérimentaux et des différentes analyses granulométriques et minéralogiques (Anongba, 2007), ont permis de réaliser et de proposer des coupes géologiques interprétatives suivant 4 transects présentés dans la figure 4.

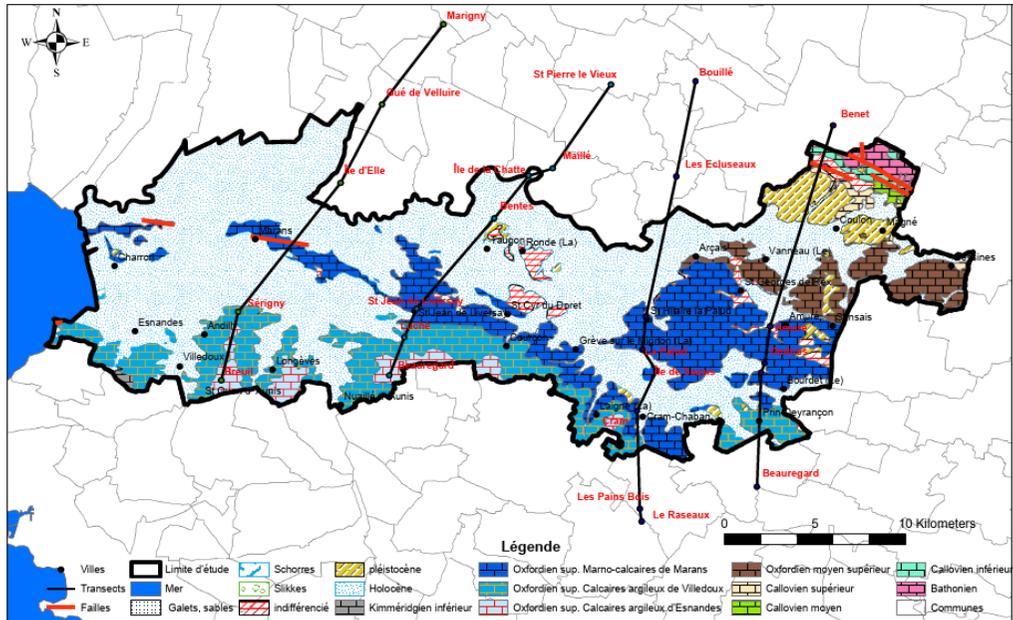


Figure 4. Carte de localisation montrant les points d'échantillonnage

Résultats et discussion

Estimation des épaisseurs des formations quaternaires

L'analyse du variogramme expérimental des données d'épaisseurs des formations quaternaires de la zone d'étude a montré des fluctuations importantes autour du palier (4,1). Ces fluctuations sont probablement liées à l'hétérogénéité spatiale de celles-ci et à l'insuffisance des mesures de terrain. L'ajustement du variogramme sur un modèle sphérique (Sinan, 2000) est un indicateur qui montre l'importance de la variation spatiale des épaisseurs des formations quaternaires. Toutefois, il ressort de l'analyse du variogramme que ces épaisseurs restent corrélées entre elles jusqu'à une distance de 4,6 km (portée). Les figures 5 et 6 présentent respectivement la carte des épaisseurs des formations quaternaires sans les données du BRGM et des forations et la carte tenant compte de toutes les données disponibles.

L'analyse des différentes cartes montre que, dans le premier cas, les épaisseurs varient de 0 (zones d'affleurement des calcaires) à 22,5 m aux environs de Marans non loin de la Sèvre Niortaise au Nord-Ouest. Par contre, dans le second cas, les épaisseurs varient de 0 (zones d'affleurement des calcaires) à 54 m dans les environs de Saint Hilaire la Palud. De façon générale, la comparaison entre la première carte des épaisseurs des formations quaternaires et celle établie à partir de toutes les données disponibles, ne présente pas de grandes différences. Seule l'épaisseur de 54 m rencontrée sur le site expérimental de Saint Hilaire la Palud de la deuxième carte, est différente des valeurs obtenues par la première carte. En effet, l'ajout dans la

table attributive, des informations sur les épaisseurs du marais Poitevin recueillies auprès du BRGM et celles obtenues dans le cadre de cette étude, ont permis d'affiner la carte des épaisseurs des formations quaternaires. Cette carte étant destinée à être améliorée, pourra donc être révisée au fur et à mesure de la disponibilité de données supplémentaires sur les épaisseurs des formations quaternaires du marais Poitevin.

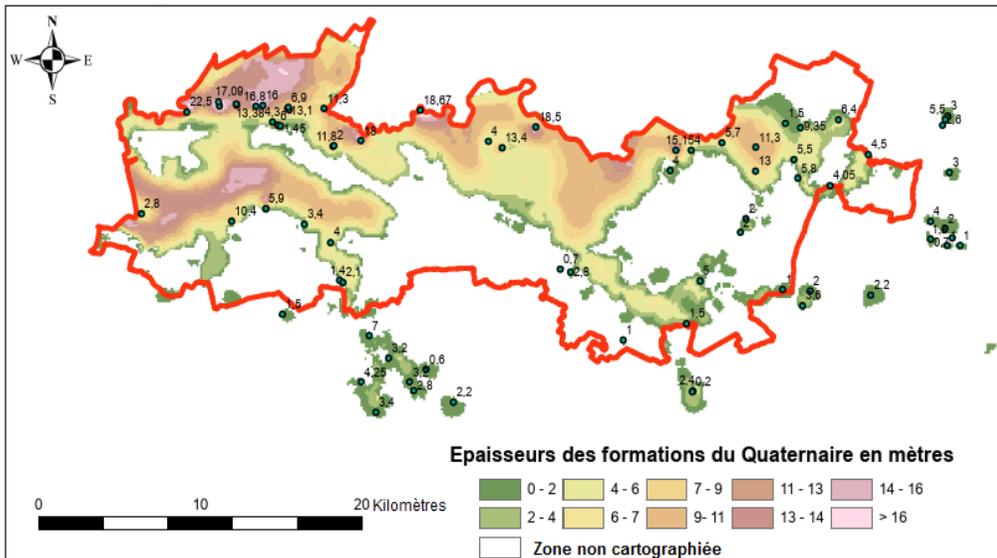


Figure 5. Carte des épaisseurs des formations quaternaires de la zone d'étude sans les données du BRGM et des forations

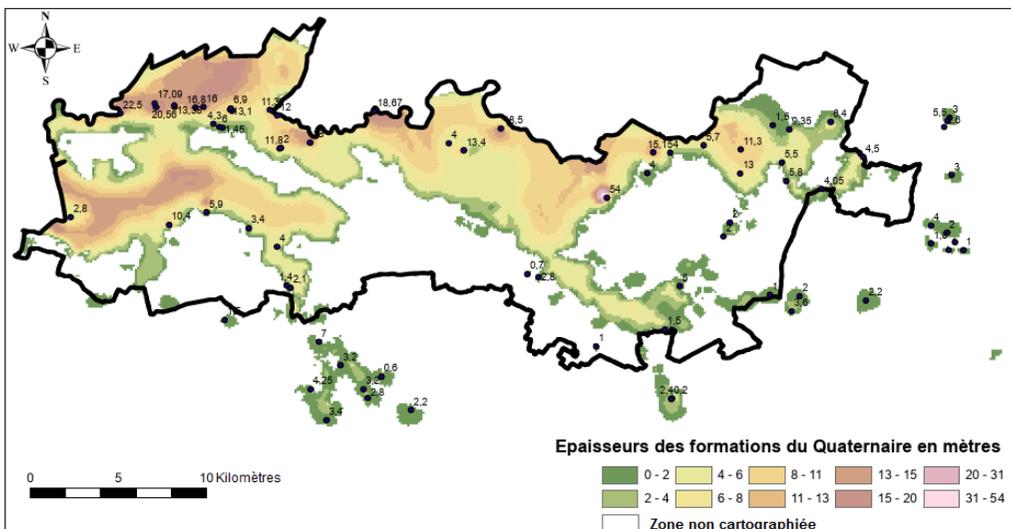


Figure 6. Carte de l'épaisseur des formations quaternaires de la zone d'étude tenant compte de toutes les données disponibles

Analyse granulométrique des sédiments

• Transect 1 : Andilly – Marans Flandre

Les coupes granulométriques et lithologiques des sondages d'Andilly et de Marans Flandres sur le transect 1, le plus proche du littoral actuel, sont présentées dans la figure 7. L'analyse montre que les sédiments sont majoritairement limoneux en surface avec, près de 70 % et 80 % de limons respectivement à Marans Flandre et à Andilly. Sur ces deux sondages, les sédiments sont essentiellement des limons fins sur les premiers mètres (deux premiers mètres à Andilly et douze premiers mètres à Marans Flandre), puis la texture devient plus sableuse. À la base des sondages, les matériaux s'enrichissent nettement en fraction argileuse. Ces variations s'accompagnent corrélativement de variations de la perméabilité qui, inférieure à 10^{-7} m.s⁻¹ en surface, devient plus importante au milieu du profil avec des valeurs de perméabilité comprises entre 10^{-7} et 10^{-4} m.s⁻¹, pour repasser à des valeurs faibles (10^{-7} m.s⁻¹) au voisinage des 15 m de profondeur. Ces deux profils montrent des tendances granulométriques évoluant dans le même sens. Toutefois, il existe des différences à la fois dans les côtes et les épaisseurs auxquelles ces changements sont observables, ainsi que dans leur intensité. Ainsi, le caractère sableux de la partie intermédiaire est plus intense et se rencontre plutôt à Andilly qu'à Marans Flandre. En revanche, en profondeur, le caractère argileux des sédiments est plus franc et apparaît à plus grande profondeur à Marans Flandre qu'à Andilly.

• Transect 2 : Marans basse Garenne – Marans site expérimental

Les coupes granulométriques et lithologiques des sondages de Marans basse Garenne et de Marans site expérimental du transect 2 sont présentées à la figure 8. La granulométrie des sédiments rencontrés à Marans basse Garenne sont limoneux fins à limoneux sur les dix premiers mètres avec des teneurs en limons variant de 50 à 80 %. La proportion en sables augmente graduellement de la surface vers la profondeur pour atteindre 50 % à 12 m, alors que la teneur en limons chute à 25 % à cette même profondeur. La teneur en argiles est plus ou moins constante sur tout le profil. Sur le site expérimental de Marans, la teneur en limons diminue avec la profondeur mais reste toutefois élevée (60 à 75 %). Hormis la surface où sa teneur atteint 20 %, la teneur en argiles des sédiments reste faible (10 à 15 %). Seule la proportion en sables augmente avec la profondeur.

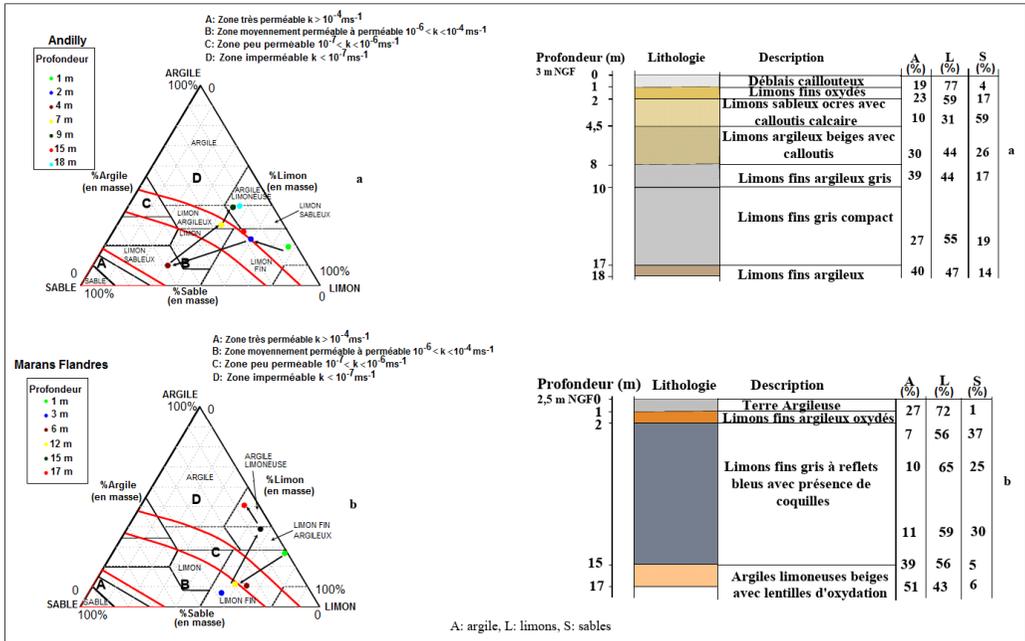


Figure 7. Triangles de texture et de perméabilité et coupes granulométriques et lithologiques des sondages d'Andilly (a) et de Marans Flandres (b)

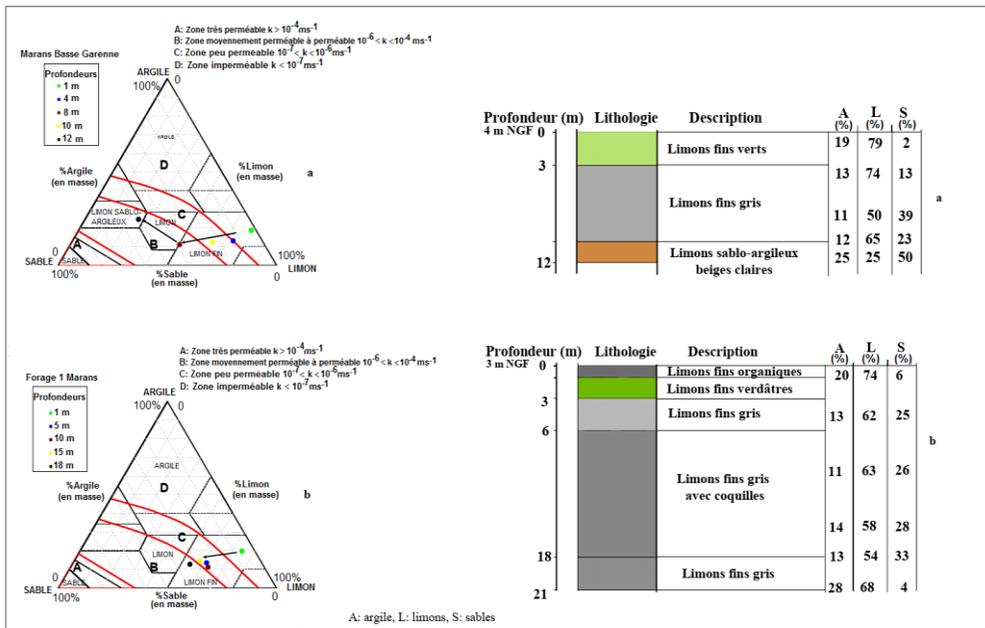


Figure 8. Triangles de texture et de perméabilité et coupes granulométriques et lithologiques des sondages de Marans basse Garenne (a) et du site expérimental de Marans (b)

- **Transect 3 : Taugon pont Bastard – Taugon station de lagunage – Taugon logis du Sablon**

Les coupes granulométriques et lithologiques des sondages de Taugon pont Bastard, Taugon station de lagunage et Taugon Logis du Sablon du transect 3 sont présentées à la figure 9. L'analyse montre que les sédiments sont limoneux généralement fins. De 15 à 20 m de profondeur, l'évolution granulométrique est très similaire à celle observée dans les sondages du transect 1, à savoir un enrichissement faible mais progressif de matériaux à texture de limons fins en fraction sableuse sur une épaisseur de 8 à 10 m environ suivant les trois sondages. Les proportions en limons varient de 70 à 80 % à Taugon pont Bastard, 60 à 80% à Taugon station de lagunage et 60 à 70 % à Taugon Logis du Sablon. Les matériaux deviennent plus argileux sur 2 m à pont Bastard et sur 9 m à Taugon Logis du Sablon. Toutefois, si dans ce dernier cas, l'augmentation du taux d'argiles est faible, il est beaucoup plus important à pont Bastard (teneur en argiles passant de 15 % à 45 %), mais, sur une plus faible épaisseur. Sous ces sédiments plus argileux, la texture de limons fins réapparaît sur 2 à 3 m. Enfin, à Taugon Logis du Sablon, un nouvel enrichissement en fraction argileuse de 19 à 20 % pour les niveaux les plus profonds (20 à 30 m), est observé.

Contrairement aux deux transects précédents où une tendance générale semble se dégager au niveau de la perméabilité et de la taille des sédiments de la surface vers la profondeur, le transect 3 présente trois sites montrant des caractéristiques différentes. À Taugon pont Bastard, une diminution de la taille des sédiments de la surface vers la profondeur est observée donc, un passage de limons fins en surface à des argiles limoneuses en profondeur. Sur ce site, la perméabilité ne dépasse pas 10^{-7} m.s^{-1} . À Taugon station de lagunage, les sédiments demeurent limoneux fins, même si l'augmentation de la teneur en sable rend les sédiments nettement plus perméables en profondeur qu'en surface avec des valeurs comprises entre 10^{-7} et 10^{-6} m.s^{-1} . Quant à Taugon logis du Sablon, les sédiments demeurent limoneux. Toutefois, aucune tendance franche ne se dégage quant à l'évolution de la taille des sédiments en fonction de la profondeur. Il est tout juste possible de dire que les sédiments de surface sont dans l'ensemble plus perméables ($10^{-7} < k < 10^{-6} \text{ m.s}^{-1}$) qu'en profondeur ($k < 10^{-7} \text{ m.s}^{-1}$) avec des teneurs en sables plus élevées (19 à 31 %).

- **Transect 4 : SHP Mazin – Saint Hilaire la Palud – SHP Devise – Arçais**

Les coupes granulométriques et lithologiques des sondages de SHP Mazin, Saint Hilaire la Palud, SHP Devise et Arçais du transect 4 sont présentées à la figure 10. C'est sur ce transect 4 à Saint Hilaire la Palud que le sondage le plus profond de la zone d'étude a été réalisé. Pour les quatre sondages, les cinq (05) premiers mètres de profondeur sont caractérisés par

des limons fins ne présentant pas d'enrichissement notable en d'autres fractions avec des teneurs d'environ 80% à Mazin, 70% à Saint Hilaire la Palud, 60 à 75 % à SHP Devise et 70 à 80 % à Arçais (sur 11 m de profondeur). La teneur en argiles est assez constante sur le profil à Saint Hilaire la Palud et à SHP Devise (11 à 17 %) et plus ou moins constante (9 à 15%) à Arçais. Sur les 3 à 5 m de plus de profondeur, les sédiments sont très argileux à SHP Mazin et SHP Devise, alors qu'il s'enrichit légèrement en fraction sableuse à Saint Hilaire la Palud et à Arçais. Par la suite, les matériaux deviennent plus grossiers jusqu'à 15 m de profondeur passant donc des limons fins légèrement sableux en surface, aux limons à sables pour à SHP Devise, à Arçais et à Saint Hilaire la Palud. Particulièrement, à Saint Hilaire la Palud, entre 15 et 25 m de profondeur, la granulométrie reste assez grossière (sable à sable limoneux) due à la présence de nombreux débris coquilliers. Un tel dépôt, est-il de nature sédimentaire ou anthropique ? En dessous de ce niveau coquillier, les sédiments montrent à nouveau une texture de limons fins plus ou moins légèrement sableux, et cela jusqu'à la fin du sondage, soit sur une épaisseur de près de 25 m.

À SHP Mazin et à SHP Devise, l'évolution de la granulométrie augmente avec la profondeur et s'accompagne d'un accroissement de la perméabilité qui passe de valeurs inférieures à 10^{-7} m.s⁻¹ aux valeurs comprises entre 10^{-7} et 10^{-6} m.s⁻¹. Cette évolution de la granulométrie est également valable à Arçais mais, les valeurs de perméabilité qui étaient inférieures à 10^{-7} m.s⁻¹ vers la surface sont comprises entre 10^{-7} et 10^{-4} m.s⁻¹ en profondeur. À Saint Hilaire la Palud, seuls les sables coquilliers présentent une perméabilité plus élevée qui est supérieure à 10^{-4} m.s⁻¹. Toutefois, une matrice limoneuse qui doit probablement limiter cette perméabilité emballe les débris coquilliers.

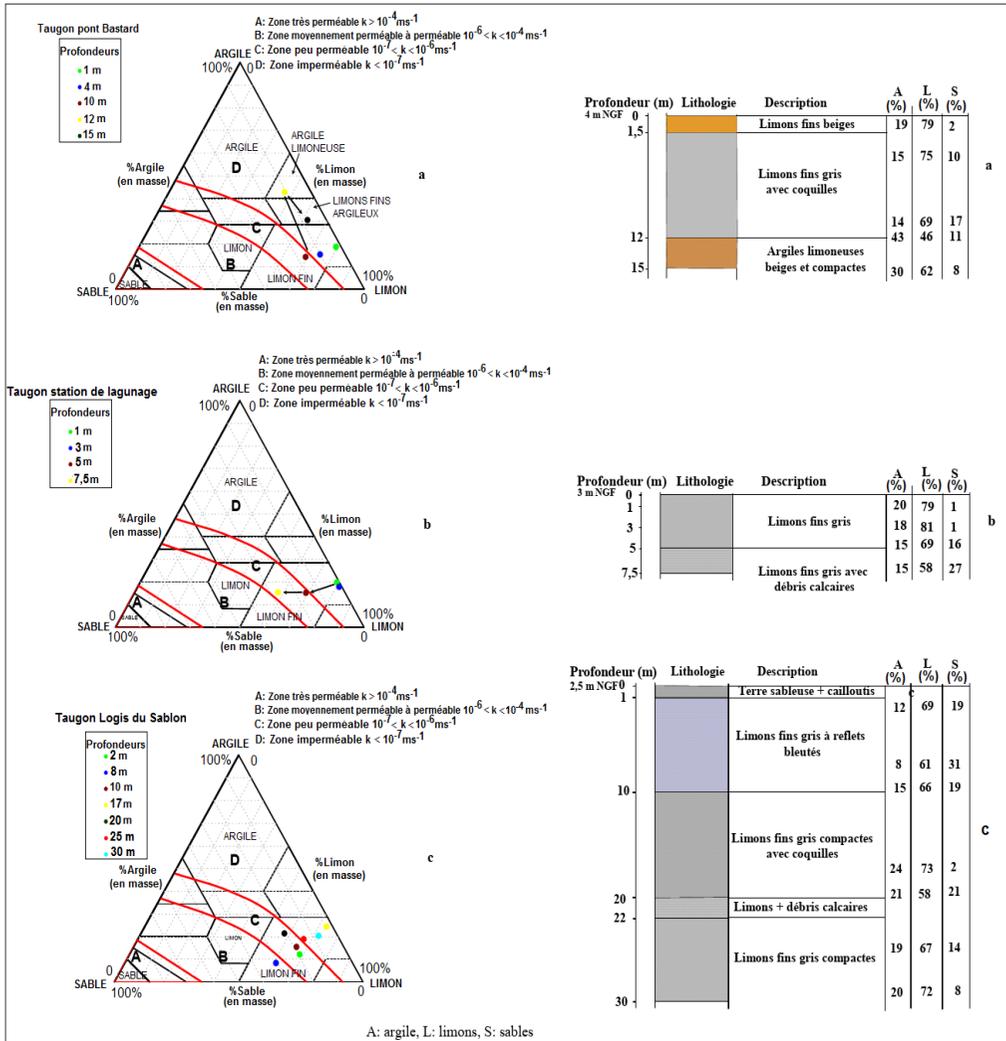


Figure 9. Triangles de texture et de perméabilité et coupes granulométriques et lithologiques des sondages de Taugon pont Bastard (a), Taugon station de lagunage (b) et de Taugon Logis du Sablon (c)

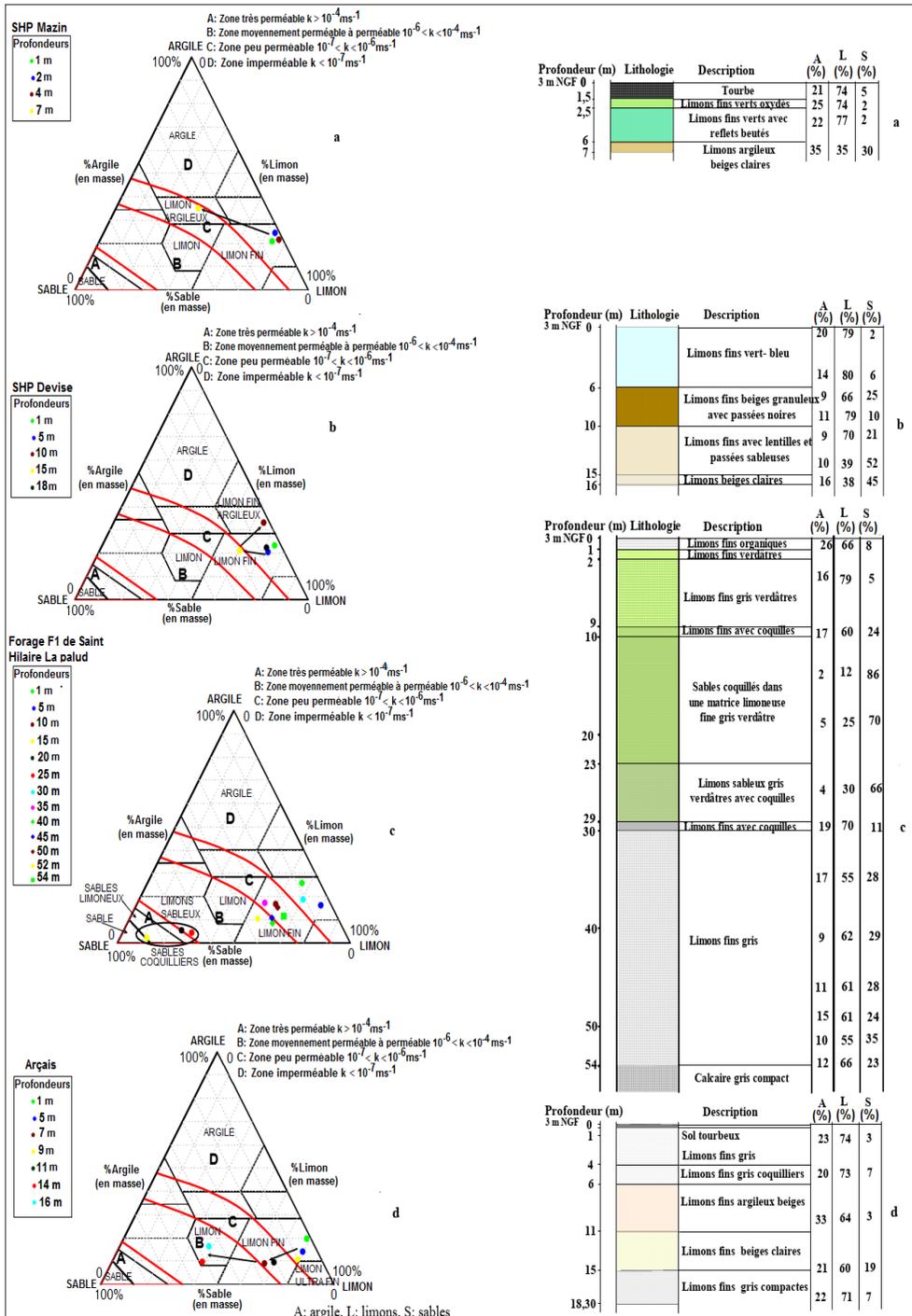


Figure 10. Triangles de texture et de perméabilité et coupes granulométriques et lithologiques des sondages de SHP Mazin (a), du site expérimental de Saint Hilaire la Palud (b), de SHP Devise (c) et d'Arçais (d)

• **Transect 5 : Amuré – Le Vanneau**

Les coupes granulométriques et lithologiques des sondages d'Amuré et Le Vanneau du transect 5 sont présentées à la figure 11. À Amuré, les sédiments analysés sont majoritairement des limons fins (50 à 70 %). Leurs teneurs varient peu en fonction de la profondeur. À contrario, la teneur en argiles augmente tandis que celle des sables baisse. Cela se traduit par une baisse de la perméabilité avec la profondeur qui passe d'une valeur comprise entre 10^{-7} et 10^{-6} m.s⁻¹ à une valeur inférieure à 10^{-7} m.s⁻¹. Ce profil est caractérisé par des limons fins passant aux limons fins argileux.

Au Vanneau, les sédiments sont à majorité limoneux fins jusqu'à 6 m (57 %), puis la teneur en sables augmente avec la profondeur tandis que celle des argiles est plus ou moins constante. Une transition sableuse (95%) à 8 m de profondeur est observée sur ce profil. En profondeur on repasse à une texture limoneuse à limono-sableuse. La perméabilité est élevée et supérieure à 10^{-4} m.s⁻¹ à Vanneau.

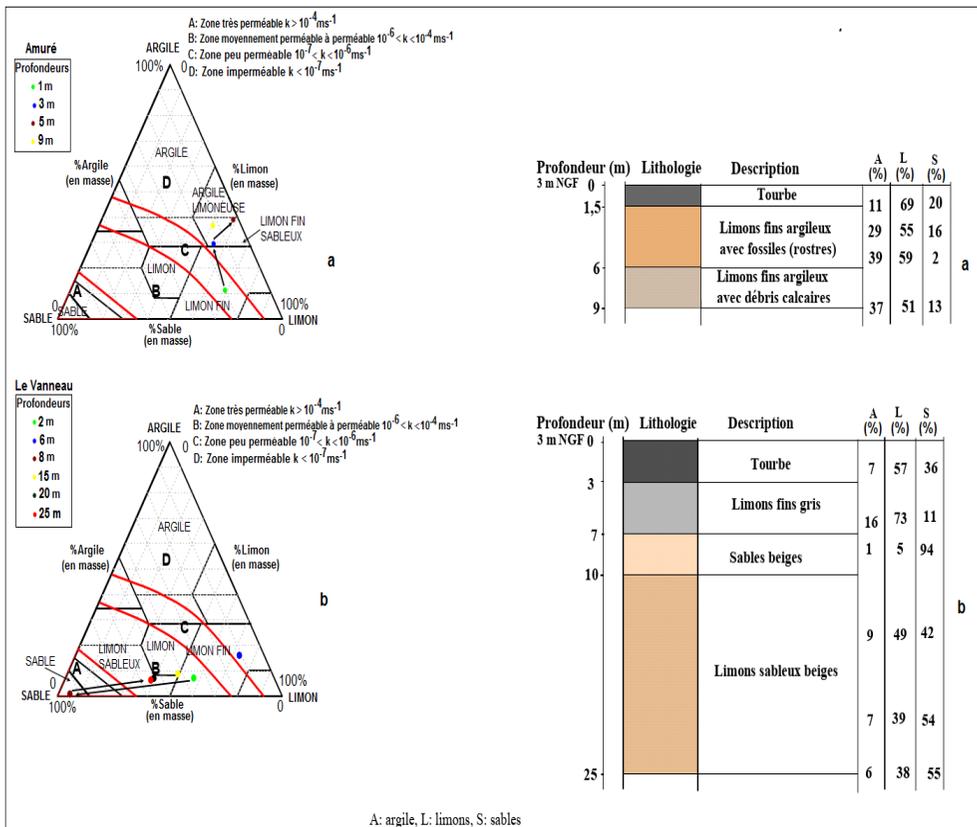


Figure 11. Triangles de texture et de perméabilité et les coupes granulométriques et lithologiques des sondages d'Amuré (a) et du Vanneau (b)

Analyse minéralogique des formations quaternaires

L'analyse minéralogique des échantillons des sites étudiés met en évidence un cortège minéralogique relativement homogène du point de vue qualitatif quelle que soit la profondeur. Ce cortège se compose essentiellement de quartz, de calcite et d'illite. À ces minéraux, s'ajoutent parfois, selon les échantillons, de l'aragonite, de la pyrite, des feldspaths (microcline et albite), de la dolomite, de la chlorite (clinocllore) et plus rarement, de l'amphibole, de la bassanite, du gypse, de l'halite et de la hornblende. La figure 12 montre les diffractogrammes des échantillons des différents sites expérimentaux.

Pour le transect 1 (Andilly – Marans Flandre), le plus proche du littoral actuel, les sédiments rencontrés en surface sont le quartz et les feldspaths (albite et microcline) comme minéraux majeurs (60 à 70%) sur des épaisseurs de 1 m à Andilly et 12 m à Marans Flandre. Ensuite, un passage brutal du caractère des sédiments passant du quartzo-feldspathique au carbonaté est observé. Les minéraux mineurs sont l'illite, la kaolinite, le chlorite ou encore la dolomite.

Sur le transect 2 (Marans basse Garenne – Marans site expérimental), les sédiments des sondages évoluent différemment de la surface vers la profondeur en fonction de la position des ouvrages. Ainsi, à Marans basse Garenne, une évolution du caractère des sédiments identique à celle décrite plus haut est observée avec, une transition franche à 10 m de profondeur entre les sédiments de surface à caractère quartzo-feldspathique et les sédiments du dessous à caractère carbonaté. À l'inverse, à Marans site expérimental situé plus au Nord, la transition entre les sédiments à caractère quartzo-feldspathique et ceux à caractère carbonaté s'opère de façon progressive avec, quelques alternances entre les deux caractères.

Comme dans le cas précédent, les sédiments des sondages du transect 3 (Taugon pont Bastard – Taugon station de lagunage – Taugon Logis de Sablon) présentent une évolution différente de leurs caractères de la surface vers la profondeur en fonction de la position géographique des ouvrages. Ainsi, sur le sondage situé plus au Sud (à Taugon pont Bastard), les sédiments sont à majorité quartzo-feldspathique jusqu'à 10 m de profondeur puis une transition franche avec des sédiments qui deviennent carbonatés est observée. À l'inverse, sur les deux sondages situés plus au Nord (Taugon Logis du Sablon et Taugon station de lagunage), les sédiments de surface sont en majorité de nature quartzo-feldspathique. Une transition progressive vers le pôle carbonaté est ensuite constatée. Les sédiments de l'ouvrage de Taugon station de lagunage localisé entre les deux autres, présentent un passage entre le caractère quartzo-feldspathique et le caractère carbonaté qui n'est ni franc, ni progressif. C'est la zone de transition entre le passage franc et le passage progressif du caractère quartzo-feldspathique au caractère carbonaté.

Comme pour les deux transects précédents, les sédiments des sondages du transect 4 (Mazin – SHP Devise – SHP site expérimental – Arçais) présentent une évolution différente de leurs caractères, de la surface vers la profondeur en fonction de la position géographique. Ainsi, les sédiments du sondage de Mazin (plus au Sud), sont à majorité quartzo-feldspathique jusqu'à 4 m de profondeur puis on observe une transition franche avec des sédiments qui deviennent carbonaté à partir de 7 m de profondeur. À l'inverse, comme pour les deux Transects précédents, les sédiments des ouvrages localisés plus au Nord (SHP Devise, SHP site expérimental et Arçais) passent progressivement d'un caractère quartzo-feldspathique à un caractère carbonaté avec, des alternances sur une grande épaisseur, observées sur l'ouvrage le plus profond du site expérimental de Saint Hilaire la Palud.

Sur les ouvrages du Transect 5 (Amuré – Le Vanneau), une évolution de la nature des sédiments qui est quasi identique aux autres est observée. Toutefois, il n'a pas été possible d'observer sur l'ouvrage d'Amuré (plus au sud), la transition franche entre les sédiments de nature quartzo-feldspathique et ceux de nature carbonatée, contrairement au sondage du Vanneau.

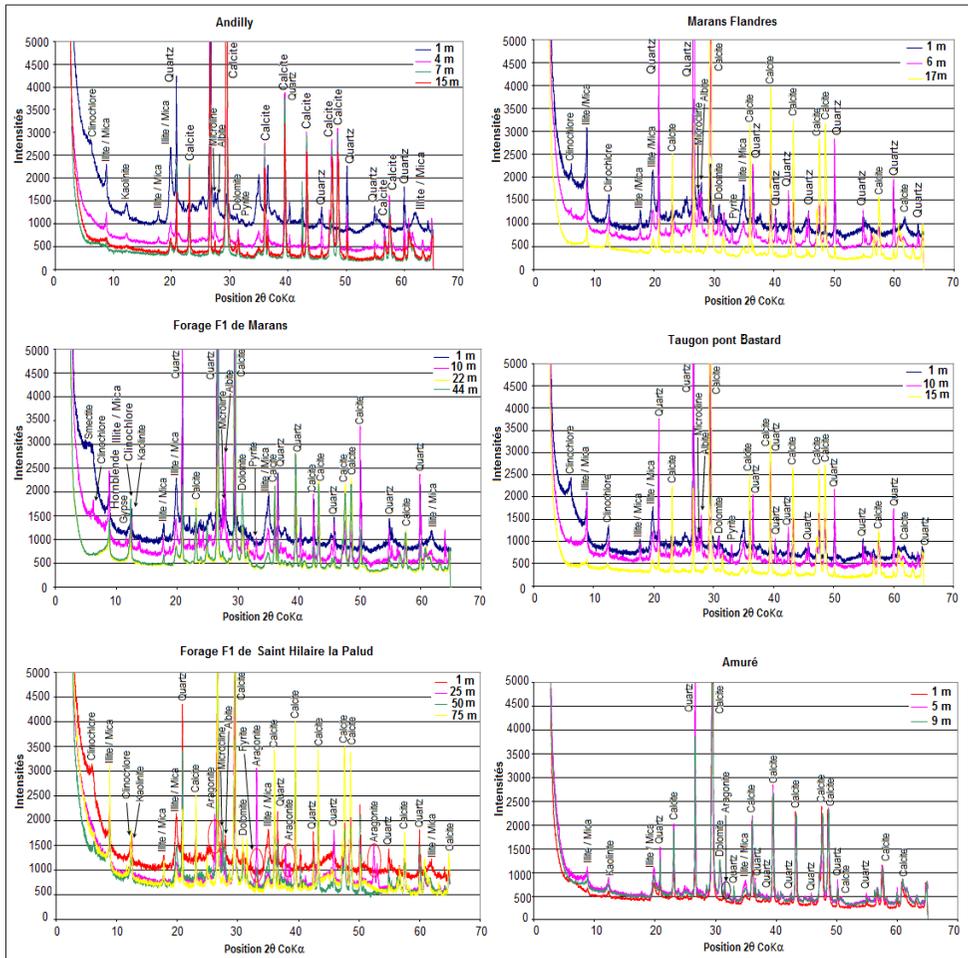


Figure 12. Diffractogrammes des échantillons des différents sites expérimentaux

Coupes géologiques et lithologie des formations quaternaires

Les coupes géologiques interprétatives des formations quaternaires réalisées sont présentées dans la figure 13. Ces coupes permettent d'améliorer les connaissances de la géologie du secteur d'étude. L'analyse montre que sur le site de Marans, les sondages les plus profonds capteraient les formations marneuses de l'Oxfordien moyen inférieur. À l'inverse, sur le site de Saint Hilaire la Palud, si l'ouvrage SHP F4 capte un bloc marno-calcaire de l'Oxfordien supérieur, cela ne semble pas être le cas de l'ouvrage SHP F1 qui lui, semble plutôt capté les formations marneuses de l'Oxfordien moyen et inférieur. Ainsi, à Saint Hilaire la Palud, cette différence pourrait expliquer le fait que l'ouvrage F1 est non productif contrairement à l'ouvrage F4. La faible productivité des ouvrages captant les formations de l'Oxfordien pourrait s'expliquer par la nature marno-calcaire à marneuse de ces formations.

Les résultats des études lithologique, granulométrique et minéralogique des sédiments du Quaternaire ont permis de mettre en correspondance les formations géologiques classiquement décrites et les horizons rencontrés par les différents sondages réalisés au cours de cette étude (Figure 14). L'analyse montre que :

- les faciès observés en surface sont des limons fins gris bleutés passant à des limons fins verdâtres puis à des tourbes, dont l'épaisseur augmente régulièrement d'Ouest vers l'Est. Le cortège minéralogique est dominé par les minéraux quartzo-feldspathiques avec des teneurs en quartz nettement supérieures à 50 %. Les teneurs des minéraux carbonatés sont généralement plus faibles à l'exemple de la calcite dont la teneur est inférieure à 15 %. Le cortège argileux est dominé par l'illite associée à la chlorite. Ces formations quaternaires de surface sont connues sous le nom de "Bri récent" ;
- les faciès observés en dessous sont des limons gris bleutés, avec ou sans coquilles, passant latéralement soit à des sables qui sont les anciennes plages flandriennes, soit à des faciès à débris calcaires qui sont les produits de colluvionnement des anciennes falaises calcaires du golfe du Poitou. L'épaisseur de ces formations décroît d'Ouest (18 m) vers l'Est (15 m). L'ensemble de ces faciès correspond au "Bri ancien". Le cortège minéralogique de ces formations est caractérisé par de fortes variations des teneurs en minéraux carbonatés, variations probablement liées à la présence de débris calcaires et de fossiles (coquillages, rostrés, etc.). Les teneurs en quartz restent toutefois très élevées avec des valeurs comprises entre 20 et 50 %. Le cortège argileux reste toujours dominé par l'illite avec une présence moins systématique de chlorite ;
- en position sous-jacente aux formations flandriennes précédentes, se rencontrent par endroits des graves siliceuses (plus anciennes et plus basses) et des graves riches en calcaires (plus récentes et plus hautes). Ces formations forment des "pseudo-nappes" de faibles extensions réalimentées par les eaux douces d'origine météorique avec un débit maximum relativement faible ;
- l'ensemble des formations quaternaires repose sur le substratum carbonaté Jurassique daté de l'Oxfordien supérieur pour les marno-calcaires constituant la bordure sud du marais et de l'Oxfordien moyen à inférieur pour les marnes grises formant une grande partie du substratum du marais et affleurant sur sa bordure Nord-Est ;

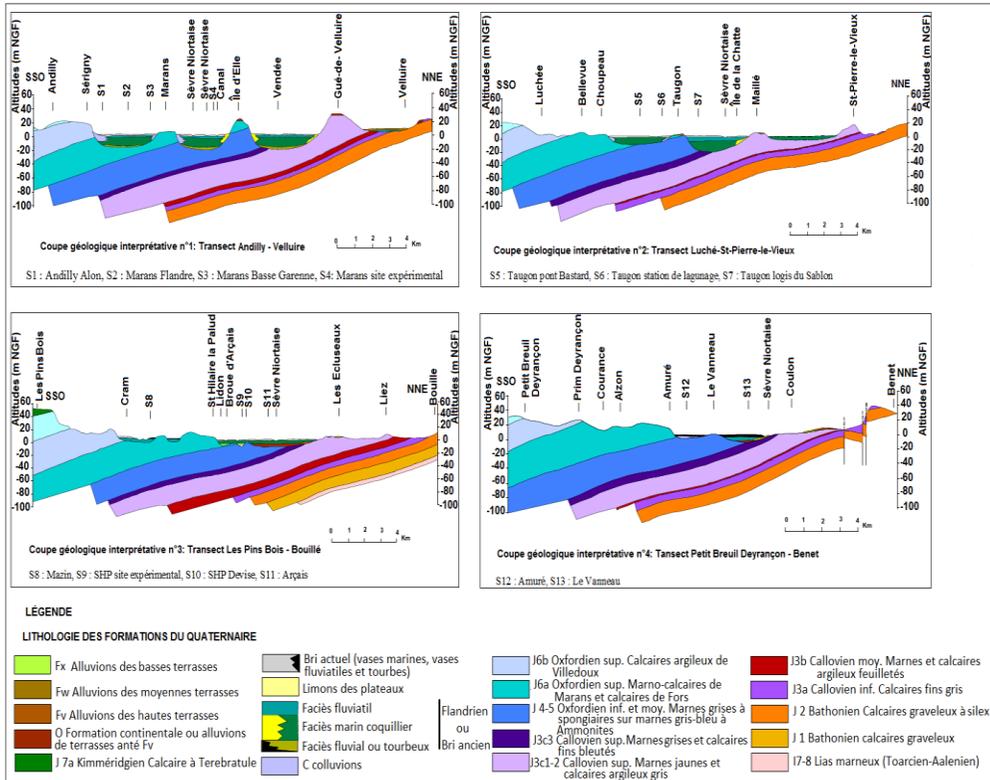


Figure 13. Coupes géologiques interprétatives des transects 1, 2, 3 et 4

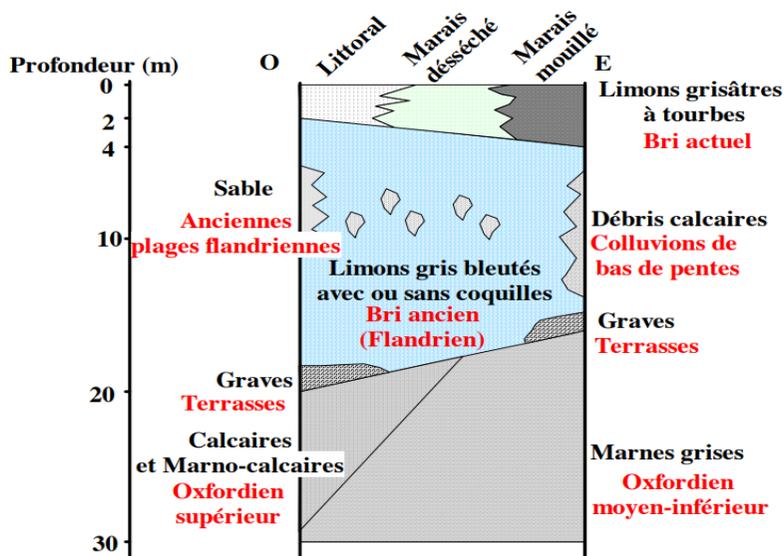


Figure 14. Lithologie des formations quaternaires du marais Poitevin

Discussion

Dans l'ensemble, s'agissant de la perméabilité des formations quaternaires, certaines valeurs sont comprises entre 10^{-7} et 10^{-6} m.s⁻¹ comme celles révélées par les études de Giraud et *al.* (2000) sur les sédiments similaires à ceux rencontrés dans la partie sud du marais Poitevin. Cette perméabilité peut être plus importante et atteindre 10^{-4} m.s⁻¹. Cependant, dans certains cas, la perméabilité des sédiments est plus faible (inférieure à 10^{-7} m.s⁻¹) comme dans les études réalisées par Bernard (2006) dans le marais desséché du fait d'une épaisseur du Quaternaire généralement importante réduisant ainsi les échanges hydrauliques Quaternaire/Oxfordien. À l'inverse, dans le marais humide, ces échanges sont plus importants du fait d'une perméabilité plus élevée au contact entre ces deux formations à cause d'une épaisseur du Quaternaire généralement plus faible. L'épaisseur des formations du Quaternaire serait donc à l'origine des différents comportements hydrauliques observés dans la partie sud du marais Poitevin. L'étude de Ladouche et Weng (2005), réalisée sur des sédiments similaires à ceux du marais Poitevin a montré que les échanges entre les formations du Quaternaire et le soubassement calcaire sont facilités aux endroits où l'épaisseur des formations du Quaternaire est faible notamment en bordure de marais.

Du point de vue lithologique, de l'Ouest vers l'Est suivant les transects 1 à 4, la granulométrie des formations quaternaires est plus grossière au Sud et plus fine au Nord. Cette granulométrie pourrait être responsable d'une perméabilité plus élevée sur la bordure sud que la bordure nord du marais. Sur la bordure Est, la tendance est inverse, du moins pour les cinq premiers mètres de profondeur. A Vanneau, les niveaux plus profonds (jusqu'à 25 m) semblent globalement plus fins entre 8 et 15 m et plus grossiers entre 15 et 25 m que leurs équivalents dans les autres sondages. Au vu de ces similitudes et différences dans l'évolution granulométrique des dépôts, deux hypothèses au moins peuvent être avancées pour en donner une explication :

- la pro-gradation des dépôts sédimentaires détritiques remplissant une dépression plus ou moins occupée par la mer ;
- la ségrégation induite par le drainage du réseau hydrographique secondaire, dirigé du Sud vers le Nord (vers la Sèvre Niortaise) dans cette partie sud du marais Poitevin étudié.

Au vu des descriptions minéralogiques présentées, il existe une relation entre l'évolution en profondeur de la minéralogie des sédiments étudiés et la localisation des ouvrages. Ainsi, le passage des sédiments du caractère quartzo-feldspathique au caractère carbonaté est franc sur la bordure sud du marais et plus progressif en se rapprochant de la limite nord de la zone d'étude.

Il ressort de l'analyse des coupes géologiques interprétatives que le site expérimental de Saint Hilaire la Palud présente une particularité matérialisée par la présence d'une anomalie qui a été mise en évidence lors de la réalisation

des ouvrages. Toutefois, cette anomalie qualifiée de "discontinuité", matérialisée par une dénivellation importante du toit des formations de l'Oxfordien entre les ouvrages F1 et F4 ne trouve pas d'explication au niveau géologique. En effet, la configuration générale de la dépression du marais Poitevin décrite par certains auteurs (Ducloux et Nijs, 1972; Dupuis et *al.*, 1965; Waterlot, 1938 ; Jambu et Nijs, 1966 ; Nijs, 1968) montre que celle-ci est comprise entre 4 et 5 m de Coulon à une trentaine de mètres près de Marans. Deux hypothèses sont susceptibles d'expliquer la présence d'une grande épaisseur du Quaternaire à Saint Hilaire la Palud :

- la première hypothèse est l'existence d'une faille. Toutefois, les études susmentionnées ont montré que la région n'avait pas été beaucoup bouleversée par la tectonique ;

- la seconde hypothèse est la présence d'une ancienne vallée glaciaire. Cependant, toutes les vallées de ce type mises en évidence notamment non loin de Fontenay le Comte, ont des orientations SSW-NNE, alors que celle de Saint Hilaire la Palud semblerait être d'orientation E-W même si, les limites de cette dernière n'ont pu être correctement circonscrites.

Une dernière hypothèse serait liée à la transition entre les formations du Quaternaire et les marnes de l'Oxfordien moyen et inférieur qui ne serait pas nette. De ce fait, le passage d'une formation à l'autre n'a pas été détecté par le sondage à cause de la technique de foration (sondage destructif), du fait certainement d'un faible contraste entre ces formations. Il semblerait donc que l'épaisseur du Quaternaire n'excède pas 10 m à Saint Hilaire la Palud et que les 54 m d'épaisseur du Quaternaire traversés, incluent également celle des formations marneuses de l'Oxfordien moyen et inférieur. Les calcaires rencontrés à 54 m correspondent donc aux marnes et calcaires du Callovien qui selon la position du sondage sur la coupe se situerait donc à peu près à cette profondeur. Toutefois, les informations apportées dans ce travail ne sont que des hypothèses. Une étude plus poussée avec des techniques de foration adaptée (sondages carottés) pourrait permettre de lever toute ambiguïté sur cette anomalie géologique. Par conséquent, l'épaisseur de 54 m du Quaternaire n'a pas été représentée sur la coupe géologique même si elle n'est pas formellement réfutée.

Conclusion

Il ressort de cette étude que les épaisseurs des formations quaternaires de la partie sud du marais Poitevin, varient en général de 0 à 22,5 m avec, une particularité observée sur le site expérimental de Saint Hilaire la Palud où, celles-ci varient de 0 à 54 m. Les résultats obtenus montrent une assez grande variabilité latérale au sein des formations quaternaires avec toutefois, une dominance du caractère limoneux des faciès de remplissage, notamment au droit des zones les plus épaisses. Le faciès limoneux est généralement plus

fins en surface qu'en profondeur avec ou sans coquillage, passant latéralement à des sables ou à des débris calcaires. Les sédiments quaternaires sont plus grossiers sur sa bordure sud et plus fins à l'aplomb de la Sèvre Niortaise c'est-à-dire à la limite nord de la zone d'étude. Intuitivement, il en découle que la perméabilité des faciès de bordure sud est plus élevée que celle des faciès localisés au cœur de la dépression et sur la bordure nord, pouvant donc induire une connexion hydraulique entre les formations du Quaternaire et celles de l'Oxfordien. De plus, les sédiments en surface ont une faible perméabilité qui est soit inférieure à 10^{-7} m.s⁻¹, soit variant de 10^{-7} à 10^{-6} m.s⁻¹ par rapport à ceux rencontrés en profondeur où les valeurs de perméabilité peuvent atteindre 10^{-4} m.s⁻¹. Le cortège minéralogique est dominé par le quartz et les feldspaths en surface et les minéraux carbonatés en profondeur, qui sont associés à l'illite et la chlorite. Les formations quaternaires mettent en évidence la "nappe du Bri" en surface et les "pseudo-nappes" en profondeur dont l'ensemble repose sur le substratum carbonaté Jurassique.

References:

1. Anongba, B. V. R. (2007). Identification du système hydrogéologique des formations quaternaires et callovo-oxfordiennes du Marais Poitevin par approche couplée minéralogique, hydrodynamique et géochimique. Thèse de Doctorat de l'Université de Poitiers (France), 319 p.
2. Barbecot, F. (1999) : Approche géochimique des mécanismes de salinisation des aquifères côtiers – Chronologies ¹⁴C – ²²⁶Ra. Thèse de doctorat, Université Paris Sud. 261p.
3. Bassi, N., Kumar, M. D., Sharma, A., & Pardha-Saradhi, P., 2014. Status of wetlands in India: A review of extent, ecosystem benefits, threats and management strategies. Journal of hydrology: Regional studies 2, 1-19.
4. Bernard M. (2006) : Étude des comportements des sols de marais : évolution minéralogique, structurale et hydromécanique. (Marais de Rochefort et Marais Poitevin). Thèse de doctorat. Université de Poitiers, 309 p.
5. Brooks, J. R., Mushet, D. M., Vanderhoof, M. K., Leibowitz, S. G., Christensen, J. R., Neff, B. P., Rosenberry, D. O., Rugh, W.D. & Alexander, L.C. (2018). Estimating wetland connectivity to streams in the prairie pothole region: an isotopic and remote sensing approach. Water Resources Research, 54, 955-977.
6. Camuzard, J.P. (2000). Les sols marqueurs de la dynamique des systèmes géomorphologiques continentaux. Thèse de doctorat de l'Université de Caen, I., 53-129.

7. Cuthbert, M. O., Baker, A., Jax, C. N., Graham, P. W., Treble, P. C., Anderson, M. S., & Acworth, R. I. (2014). Drip water isotopes in semi-arid karst: Implication for speleothem paleoclimatology. *Earth and planetary letters*, 395, 194-204.
8. David, K., Timms, W., Hughes, C.E., Crawford, J. & McGeeney, D. (2018). Application for the pore water stable isotope method and hydrogeological approaches to characterize a wetland system. *Hydrology Earth System Sciences*, 22, 6023-6041.
9. Ducloux, J & Nijs, R. (1972). Contribution à l'étude géologique et géomorphologique du Marais Poitevin. *Bull. de la Soc. Belge de Géologie, de Paléontologie et d'Hydrologie*, t.81, fasc. 3-4, 227-249.
10. Dupuis, J. (1969). Le climat et l'économie de l'eau dans les sols de marais mouillés. *Étude pédologique du Marais Poitevin, tome II*, 144 p.
11. Dupuis, J., Dutreuil J. P., & Jambu, P. (1965). Observation sur quelques sols récents du littoral poitevin. *Sc. Du sol*, n°2, 173-188.
12. Garnier, D. (1975). Contribution à l'étude de la pédogenèse récente : les sols sur argile à scrobiculaire du Marais Poitevin. Thèse de doctorat, Université de Poitiers, 91 p.
13. Giraud, F., Lachassagne, P., Ladouche, B., Weng, P., Pinault, J. L. & Chevallier, C. (2000). Étude hydrologique et hydrogéologique du marais de Rochefort. BRGM/RP-50247-FR, 121 p.
14. Guo, Z., Cui, G., Zhang, M. & Li, X. (2019). Analysis of the contribution to conservation and effectiveness of the wetland reserve network in China based on wildlife diversity. *Global Ecology and Conservation*, Elsevier, Volume 20.
15. Jambu P., Nijs R. (1966) : Contribution à l'étude des sols de la partie orientale du marais Poitevin (Marais Mouillé), *Norois*, n°52, 565 – 593.
16. Ladouche B., et Weng P. (2005): Hydrochemical assessment of the Rochefort marsh: role of surface and groundwater in the hydrological functioning of the Wetland. *Journal of hydrology*, 314, pp. 22-42.
17. MDDP (2005). Ministère du développement durable, de l'environnement et des parcs : Captage des eaux souterraines et traitement des eaux usées des résidences isolées. Guide technique, 268 p.
18. Nijs, R. (1968). Contribution à l'étude des sols du Marais Poitevin. Thèse de l'Université de Poitiers, 214 p.
19. Safège (2004). Safège ingénieurs conseils : Rapport état des lieux. Schéma d'Aménagement et de gestion des eaux de la Sèvre Niortaise et du Marais Poitevin, 523 p.

20. Safège (2001) Safège ingénieurs conseils. Rapport étude hydrogéologique de la nappe intensément exploitée de l'Aunis, 228 p.
21. Sinan, M. (2000). Méthodologie d'identification, d'évaluation et de protection des ressources en eau des aquifères régionaux par la combinaison des SIG, de la géophysique et de la géostatistique. Application à l'aquifère du Haouz de Marrakech (Maroc). Thèse de doctorat d'état, Université Mohammed V, École Mohammadia d'Ingénieurs (Rabat), 371 p.
22. Waterlot, G. (1938). La tectonique du Marais Poitevin. Ann. Soc. Géol. Nord, tome LXIII, 16-38.
23. Welsch, J. (1916) : Le Marais Poitevin. Annales de Géographie, tome XXV, 326-346.