

ORIGINAL ARTICLE

CARACTÉRISATION HYDROGÉOLOGIQUE DES ÉCOULEMENTS SOUTERRAINS DANS LA PARTIE SUD DU MARAIS POITEVIN (NOUVELLE-AQUITAINE-FRANCE) : APPROCHE GÉOPHYSIQUE ET PIÉZOMÉTRIQUE



Hydrogeological Characterization of Groundwater Flow in the Southern Part of the Marais Poitevin (Nouvelle-Aquitaine, France): A Geophysical and Piezometric Approach

| Anongba Braphond Rodrigue Vincent Benjamin ^{1*} | Tohouri Privat ¹ | Soro Sandona Issa ² | et | Adja Miessan Germain ¹ |

¹. École Normale Supérieure (ENS) | département des sciences et technologies | Section des sciences de la vie et de la terre | Abidjan | Côte d'Ivoire | 08 BP 10 Abidjan 08 |

². Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny (INPHB) | École doctorale polytechnique | Unité mixte de recherche et d'innovation génie civil, géosciences et sciences géographiques | Yamoussoukro | Côte d'Ivoire |

DOI: 10.5281/zenodo.15248995 | Received March 16, 2025 | Accepted April 17, 2025 | Published April 20, 2025 | ID Article | Anongba-Ref8-4-20ajiras160425 |

RÉSUMÉ

Introduction : Le Marais Poitevin, deuxième plus grande zone humide de France, constitue un écosystème fortement impacté par les activités anthropiques. La compréhension de son fonctionnement hydrogéologique représente un préalable essentiel à la mise en œuvre de stratégies de préservation efficaces. **Objectifs** : Cette étude vise à caractériser la structure lithologique des formations géologiques du marais Poitevin et à déterminer les directions d'écoulement des eaux souterraines entre les aquifères calcaires de l'Oxfordien supérieur (situés en amont) et les formations quaternaires du marais. **Méthodes** : Une approche méthodologique intégrée a été adoptée, combinant : (1) une prospection géophysique par méthode électrique avec dispositifs Wenner-Schlumberger et dipôle-dipôle pour caractériser les structures géologiques; (2) des sondages à la tarière mécanique (19 forages) pour établir des coupes lithologiques; et (3) des mesures piézométriques saisonnières (38 points de mesure en basses eaux, octobre 2004, et hautes eaux, avril 2005) pour déterminer les directions d'écoulement. **Résultats** : Les investigations géophysiques et les sondages mécaniques ont mis en évidence une structure tabulaire dans la zone d'étude, avec une épaisseur de formations quaternaires (bri) variant de 7 à 20 mètres, reposant sur le substratum de l'Oxfordien supérieur. Les esquisses piézométriques montrent un écoulement préférentiel des eaux souterraines depuis les plateaux calcaires vers le marais, identifiant ce dernier comme l'exutoire naturel des nappes souterraines de l'Oxfordien supérieur. **Conclusion** : Le Marais Poitevin constitue le réceptacle principal des écoulements souterrains provenant des formations calcaires situées en amont. Les cours d'eau drainant le marais sont majoritairement alimentés par ces apports souterrains, soulignant l'interconnexion entre les aquifères calcaires et le fonctionnement hydrologique du marais. Ce schéma conceptuel de fonctionnement hydrogéologique représente une base importante pour la gestion intégrée des ressources en eau de ce territoire.

Mots-clés : méthodes géophysiques, zones humides, lithologie, tarière mécanique, piézométrie, Oxfordien supérieur, aquifères calcaires.

ABSTRACT

Background: The Marais Poitevin, the second largest wetland in France, is an ecosystem that has been significantly impacted by anthropogenic activities. Understanding its hydrogeological functioning is a key prerequisite for the implementation of effective conservation strategies. **Objectives**: This study aims to characterize the lithological structure of the geological formations within the Marais Poitevin and to determine the directions of groundwater flow between the upstream Upper Oxfordian limestone aquifers and the Quaternary formations of the marsh. **Methods**: An integrated methodological approach was adopted, combining: (1) geophysical prospecting using electrical methods (**Wenner-Schlumberger** and dipole-dipole arrays) to characterize geological structures; (2) mechanical auger drilling (19 boreholes) to establish lithological profiles; and (3) seasonal piezometric measurements (38 monitoring points during low-water conditions in October 2004 and high-water conditions in April 2005) to determine groundwater flow directions. **Results**: Geophysical surveys and mechanical drillings revealed a tabular structure in the study area, with Quaternary (bri) formations ranging in thickness from 7 to 20 meters, overlying the Upper Oxfordian bedrock. Piezometric maps indicate preferential groundwater flow from the limestone plateaus toward the marsh, identifying the latter as the natural outlet of the Upper Oxfordian aquifers. **Conclusion**: The Marais Poitevin serves as the main receptacle for groundwater flows originating from the upstream limestone formations. The watercourses draining the marsh are primarily fed by these groundwater contributions, highlighting the interconnection between limestone aquifers and the marsh's hydrological functioning. This conceptual model of hydrogeological dynamics provides an essential basis for integrated water resource management in the region.

Keywords: geophysical methods, wetlands, lithology, mechanical auger drilling, piezometry, Upper Oxfordian, limestone aquifers

1. INTRODUCTION

Les zones humides représentent des écosystèmes où l'eau constitue le facteur écologique dominant, déterminant les conditions environnementales et façonnant la diversité biologique. Ces milieux particuliers, caractérisés par une biodiversité remarquable, figurent parmi les écosystèmes les plus productifs de la planète du point de vue écologique. Ils assurent de multiples fonctions écosystémiques essentielles, notamment la fourniture d'habitats spécifiques pour une faune et une flore adaptée, le soutien aux chaînes trophiques, et la régulation des cycles biogéochimiques (Ladouche et Weng, 2005) [1]. Au-delà de leur importance écologique, les zones humides rendent des services écosystémiques considérables pour les sociétés humaines, incluant l'atténuation des inondations, le stockage des eaux de surface, la recharge des aquifères et la rétention des nutriments, contribuant ainsi à la qualité des eaux (Mitsch et Gosselink, 2000) [2].

Malgré leur importance écologique et fonctionnelle, ces écosystèmes subissent des pressions anthropiques croissantes liées principalement à l'attractivité de ces territoires pour l'implantation humaine et l'exploitation des ressources (Fustec et Lefeuvre, 2000) [3]. Cette pression démographique et économique a conduit à une régression significative des surfaces de zones humides à l'échelle mondiale. En Europe, les estimations indiquent que 40 à 60% des zones humides ont disparu entre 1950 et 1970 [3], sous l'effet combiné de l'urbanisation, du drainage agricole et de l'artificialisation des sols. Face à cette érosion préoccupante, la communauté scientifique a mis en œuvre des programmes d'études pluridisciplinaires visant à mieux comprendre le fonctionnement de ces écosystèmes dans une perspective de conservation.

Le Marais Poitevin, deuxième plus grande zone humide de France, illustre parfaitement cette problématique. Ce territoire a connu une profonde transformation avec la disparition de plus de la moitié de ses prairies inondables, principalement en raison d'aménagements hydro-agricoles destinés à isoler les parcelles des inondations saisonnières pour permettre leur mise en culture. Cette situation est aggravée par la surexploitation des nappes souterraines calcaires du Malm, du Dogger et du Lias situées en amont du marais, soumises à des prélèvements croissants qui compromettent leurs recharges naturelles et le maintien des débits d'étiage dans les cours d'eau drainant le marais (Safège ingénieurs conseils, 2001) [4].

Malgré cette dégradation généralisée, le Marais Poitevin conserve une valeur écologique d'intérêt national et fait l'objet d'un intérêt scientifique renouvelé. Plusieurs études récentes ont contribué à approfondir la connaissance de son fonctionnement hydrogéologique, notamment concernant le temps de résidence des eaux souterraines (Anongba et al., 2024) [5], les transferts hydriques entre formations quaternaires et jurassiques (Braphond et al., 2023) [6], l'hydrochimie des eaux souterraines (Anongba et al., 2023) [7], ainsi que les caractéristiques pédologiques (Vincent Benjamin et al., 2022; Bernard, 2006; Garnier, 1975; Ducloux et Nijs, 1972; Dupuis, 1969) [8-12].

La présente étude s'inscrit dans la continuité de ces travaux et vise à établir une compréhension intégrée du schéma d'écoulement des eaux dans la partie sud du Marais Poitevin et dans les formations calcaires situées en amont. En mobilisant une approche méthodologique combinant prospection géophysique par méthode électrique, analyse lithologique par sondages à la tarière et caractérisation piézométrique des aquifères, cette recherche propose de développer un modèle conceptuel d'écoulement permettant d'appréhender les interactions entre eaux souterraines et eaux superficielles dans ce système hydrogéologique complexe. La compréhension de ces mécanismes constitue un prérequis essentiel pour la gestion durable des ressources en eau et la préservation de l'intégrité écologique de cette zone humide remarquable.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1. Présentation de la zone d'étude

Le Marais Poitevin, localisé à l'Ouest de la France, constitue une dépression s'inscrivant entre deux plaines du substratum carbonaté qui traduit la structure isoclinale des formations jurassiques de la bordure septentrionale du bassin d'Aquitaine (Dupuis et al. (1965) ; Jambu et Nijs (1966) [13,14].

Ancien Golfe des Pictons, ce marais s'étend de Niort à l'océan Atlantique sur une longueur d'environ 70 km. Avec une superficie de 964 km², il représente la deuxième plus grande zone humide de France après la Camargue et le plus vaste

marais de la façade atlantique. Son territoire s'étend sur deux régions administratives (Pays de la Loire et Nouvelle-Aquitaine) et trois départements (Vendée, Charente Maritime et Deux-Sèvres), regroupant 82 communes avec une population estimée à 161 000 habitants (INSEE (2015) [15]).

La zone d'étude, centrée sur la partie sud du Marais Poitevin, s'étend de Bessines à l'est jusqu'à Charron à l'ouest (Figure 1). Cette zone se situe à proximité du détroit du Poitou, en bordure nord du bassin d'Aquitaine, et couvre 27 communes (16 en Charente Maritime et 11 dans les Deux Sèvres) sur une superficie totale de 550 km². Le climat est de type océanique avec un gradient pluviométrique ouest-est, la pluviométrie moyenne annuelle variant de 840 mm à La Rochelle à 770 mm à Niort.

La topographie présente une homogénéité remarquable, caractérisée par une altitude moyenne de 2 à 5 m NGF, ponctuée d'îlots culminant entre 10 et 20 m. Ces éminences correspondent soit à des soubassements calcaro-marneux ayant résisté aux phases successives d'érosion, soit à des dépôts de cailloux ou graviers quaternaires reposant sur des bancs calcaires (Welsch (1916) [16]).

Au plan géologique, la zone d'étude est constituée de deux ensembles stratigraphiques principaux:

1. Un substratum mésozoïque composé de formations calcaires et marno-calcaires d'âge jurassique (principalement Oxfordien supérieur),
2. Une couverture quaternaire argileuse connue localement sous le vocable de « Bri » (Mazeau (1979) [17]), déposée en milieu marin à lagunaire,

Les formations de l'Oxfordien supérieur, qui affleurent en amont du marais, s'enfoncent progressivement sous les dépôts quaternaires dans la zone centrale du marais, témoignant d'une structure géologique en cuvette partiellement comblée par des sédiments récents.

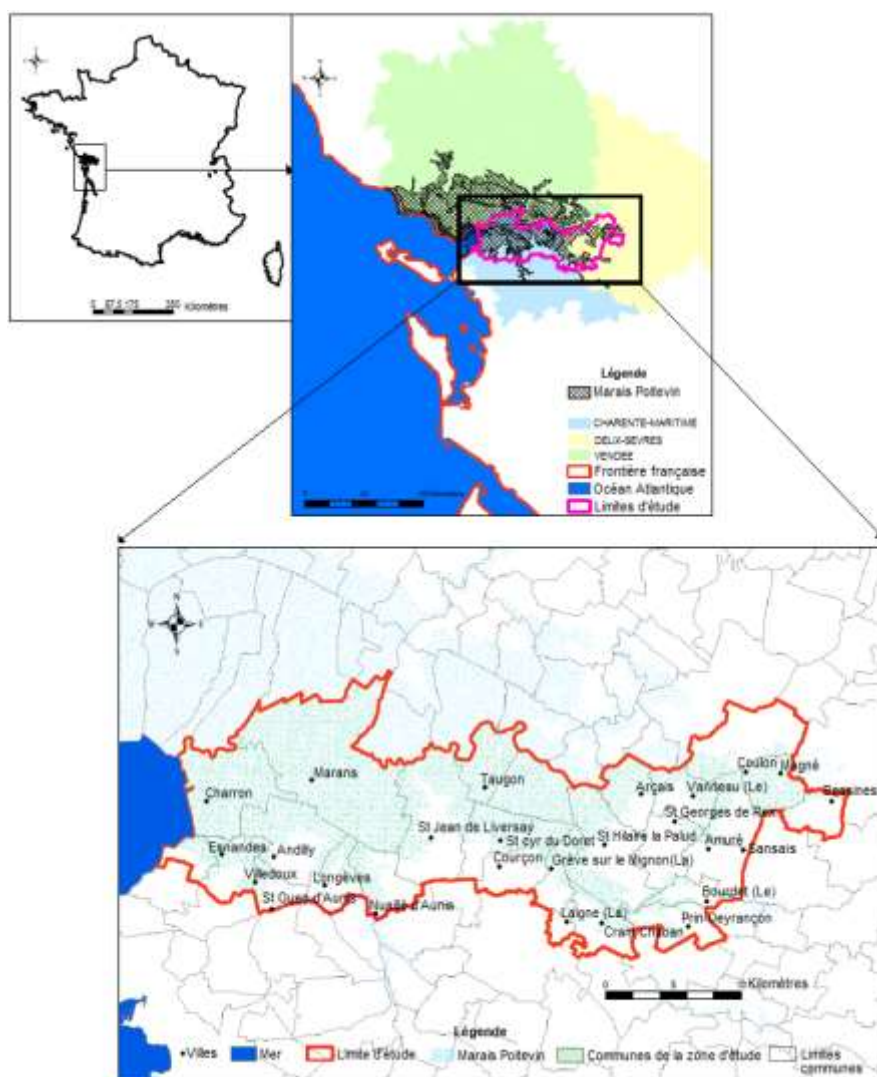


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude [8].

2.2. Stratégie d'échantillonnage et dispositif expérimental

2.2.1. Implantation et réalisation des forages

Un réseau de 19 forages a été implanté selon une distribution spatiale permettant de caractériser les variations lithologiques et les relations hydrauliques entre les formations géologiques (Figure 2). La stratégie d'implantation a reposé sur un transect est-ouest complété par des points de contrôle latéraux, permettant d'appréhender la géométrie tridimensionnelle des formations. Ces forages se répartissent en trois catégories selon leur position et les formations interceptées :

1. Quatre forages dans le Marais Poitevin (Marans F1, Marans F4, SHP F1 et SHP F4) traversant l'intégralité des formations quaternaires et atteignant les aquifères de l'Oxfordien supérieur sous-jacents,
2. Dix forages dans le Marais Poitevin (SHP F2, SHP F3, Marans F2, Marans F3, Andilly Alon, Marans Flandre, Arçais, Le Vanneau, Mazin et Taugon) limités aux formations quaternaires, permettant de caractériser leur variabilité latérale et verticale,
3. Cinq forages en amont du Marais Poitevin (puits d'exploitants agricoles à Port-Jouet, St Jean de Liversay, Épannes, Andilly ville et Anais Moulin neuf) captant les formations calcaires de l'Oxfordien supérieur en position d'affleurement.

Les forages ont été réalisés en mode destructif à l'aide d'une foreuse à tarière hélicoïdale (\varnothing 150 mm) munie de vis sans fin assemblées par clavettes. Cette technique a permis l'acquisition des échantillons à chaque mètre de progression et lors des changements lithologiques, avec un enregistrement automatique des profondeurs. La description lithologique a été établie par reconnaissance macroscopique systématique des sédiments remontés, incluant l'analyse de la texture, couleur, composition minéralogique, teneur en matière organique et présence de fossiles.

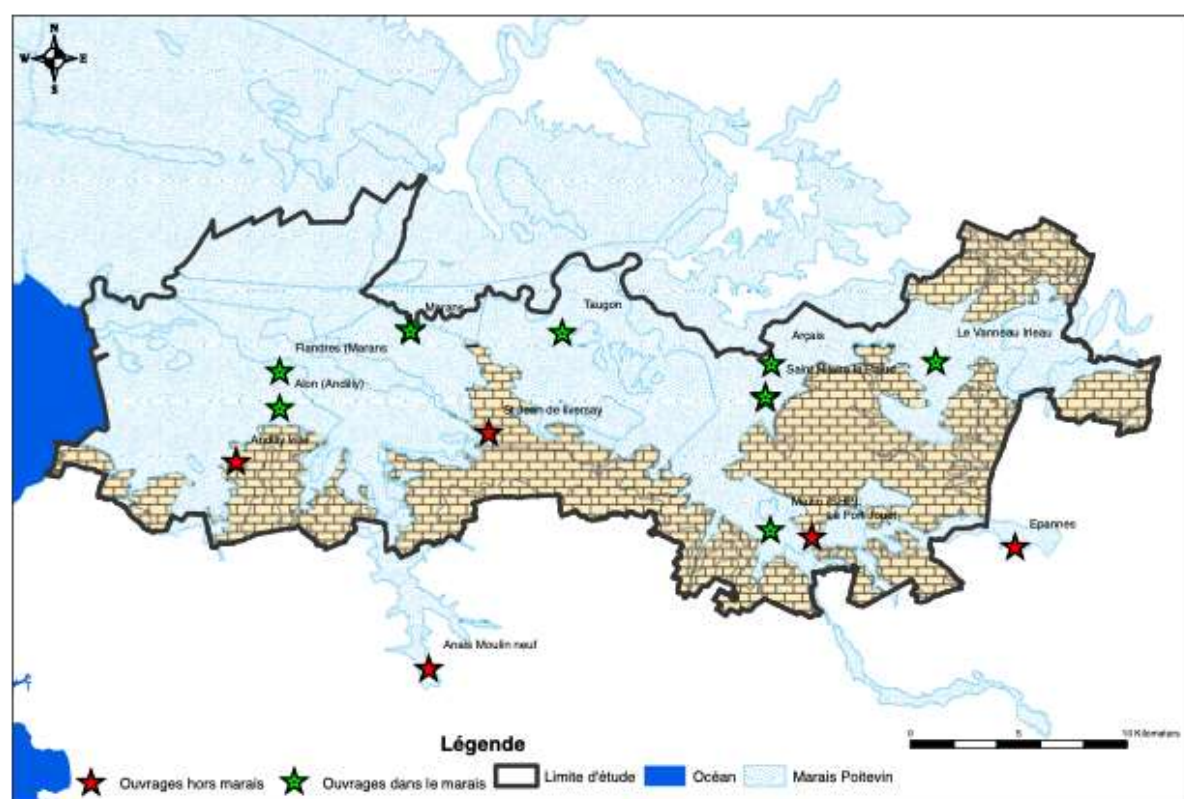


Figure 2 : Disposition des ouvrages sur la zone d'étude dans la partie sud du Marais Poitevin [6].

2.2.2. Instrumentation géophysique

2.2.2.1. Dispositif matériel

L'investigation géophysique a été réalisée avec un dispositif complet de tomographie électrique comprenant:

- Un résistivimètre Syscal R1 (IRIS Instruments) équipé d'un "switch" à 64 voies,
- Un ordinateur portable pour la programmation et le pilotage des séquences d'acquisition,
- Des câbles multiconducteurs à 32 sorties espacées de 5 mètres,
- Des électrodes en acier inoxydable de 40 cm de longueur et 12 mm de diamètre,
- Des connecteurs et câbles de liaison pour assurer des contacts de qualité.

Ce résistivimètre offre une précision de mesure de $\pm 0,5\%$ et une résolution de $1 \mu\text{V}$, avec une tension maximale d'injection de 400 V et une intensité de courant pouvant atteindre 1,25 A, permettant des investigations jusqu'à 80-100 m de profondeur dans les conditions géoélectriques locales.

2.2.2.2. Configurations d'électrodes et protocoles d'acquisition

Sur la base des informations préliminaires obtenues lors de la réalisation des forages, deux dispositifs d'acquisition ont été sélectionnés et optimisés pour répondre aux contextes géologiques spécifiques des sites étudiés:

a) Dispositif Wenner-Schlumberger Ce dispositif (AMNB - Figure 3) a été déployé sur le site expérimental de Marans où une structure tabulaire était suspectée. Dans cette configuration, les électrodes de mesure du potentiel (MN) sont disposées entre les électrodes d'injection du courant (AB), avec un espacement inter-électrodes de 5 m et un facteur géométrique k calculé selon la formule:

$$k = n(n+1)a \quad (1)$$

où

a = distance MN (m) ,

n = niveau d'acquisition

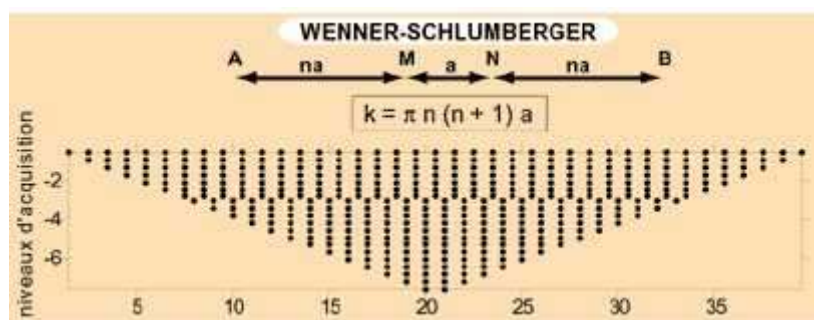


Figure 3 : Dispositif Wenner-Schlumberger (avec a = distance MN [m], n = niveau d'acquisition et k = facteur géométrique - [18].

La fonction de sensibilité de ce dispositif (Figure 5) présente des contours ni horizontaux ni verticaux sous le centre du dispositif, le rendant sensible à la fois aux variations horizontales et verticales de résistivité, particulièrement adapté aux structures stratifiées présentant des variations latérales de faciès (Chapellier (2001) [18]).

b) Dispositif dipôle-dipôle Ce dispositif (AB-MN - Figure 4) a été implémenté sur le site de Saint Hilaire la Palud où les sondages à la tarière avaient révélé un possible décrochage vertical du toit des formations marno-calcaires entre les forages SHPF1 et SHPF2. Dans cette configuration, les électrodes de mesure du potentiel (MN) sont positionnées à l'extérieur des électrodes d'injection (AB), avec un facteur géométrique k calculé selon l'équation (2):

$$k = n(n+1)(n+2)a \quad (2)$$

Les contours de la fonction de sensibilité (Figure 5) étant essentiellement verticaux, ce dispositif présente une sensibilité accrue aux variations horizontales de résistivité, le rendant particulièrement efficace pour la détection de structures verticales comme les failles, dykes ou contacts lithologiques abrupts (Marescot (2004) [19]). Le centre du dispositif a été positionné précisément entre les forages SHPF1 et SHPF2, orienté parallèlement à l'alignement de ces forages pour maximiser la résolution du décrochage suspecté.

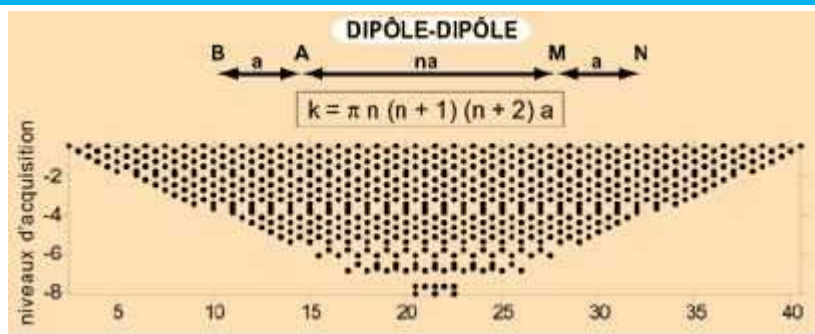


Figure 4 : Dispositif Dipôle-Dipôle (avec a = distance MN [m], n = niveau d'acquisition et k = facteur géométrique - [18]

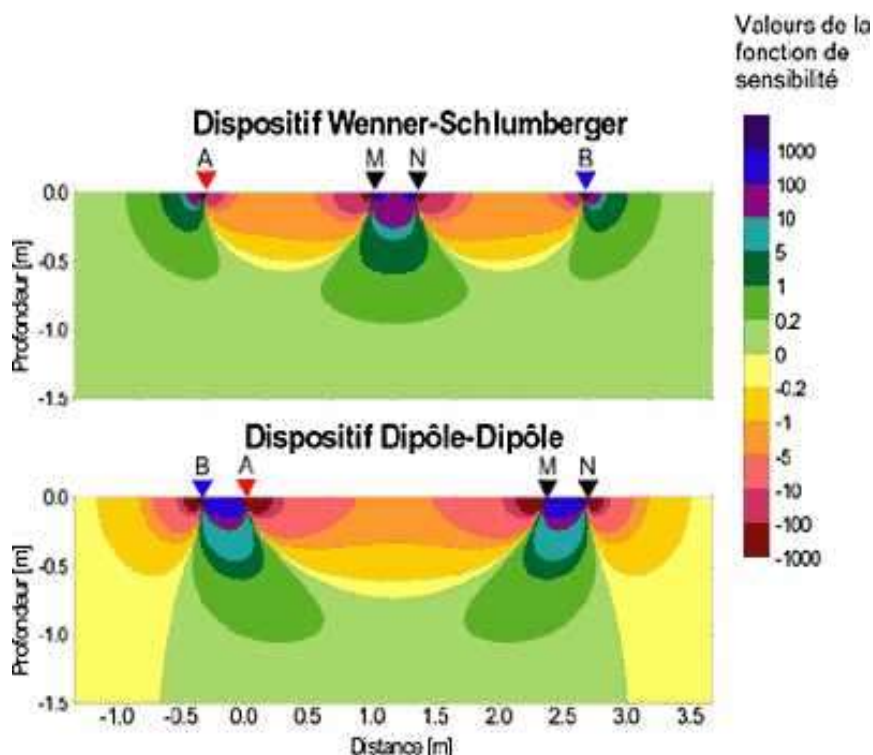


Figure 5 : Fonction de sensibilité pour les dispositifs, Wenner-Schlumberger et Dipôle-Dipôle [19].

2.2.2.3. Acquisition et traitement des données

Les séquences d'acquisition ont été programmées avec le logiciel Electre II, avec une densité de 645 points de mesure pour le dispositif Wenner-Schlumberger et 776 points pour le dispositif dipôle-dipôle. Chaque mesure a été répétée 3 fois avec un coefficient de variation maximum accepté de 3% pour garantir la qualité des données. L'intensité du courant injecté a été optimisée automatiquement entre 10 et 500 mA selon la résistance du circuit.

Le traitement des données a été réalisé avec le logiciel Prosys II pour le filtrage et la validation des mesures, suivi d'une inversion par le logiciel Res2DInv utilisant la méthode des moindres carrés avec régularisation de Tikhonov. Le processus d'inversion a convergé après 5 itérations avec une erreur RMS inférieure à 5%, produisant des modèles géoélectriques bidimensionnels de haute résolution.

Les résultats sont présentés sous forme de trois diagrammes superposés:

1. Pseudo-section de résistivités apparentes mesurées,
2. Pseudo-section de résistivités apparentes calculées (modèle direct),
3. Modèle géoélectrique inversé (distribution des résistivités vraies).

2.2.3. Instrumentation et protocole pour l'étude piézométrique

2.2.3.1. Matériel et réseau de mesure

Les mesures piézométriques ont été effectuées à l'aide d'une sonde manuelle de précision Novarent type 010, composée d'un ruban électroporteur en polyéthylène gradué (précision $\pm 0,5$ cm) d'une longueur de 100 m et d'une largeur de 10 mm, renforcé de fibres d'acier inoxydable assurant sa rigidité. Le ruban présente une graduation noire tous les centimètres, décimètres et des chiffres rouges tous les mètres. La sonde terminale (\varnothing 15 mm, longueur 175 mm) en acier inoxydable émet un signal sonore et lumineux au contact avec l'eau, permettant une détermination précise du niveau piézométrique.

Un réseau de 38 points de mesure a été établi, principalement en bordure du Marais Poitevin (Figure 6). Ce réseau comprend:

- Les forages réalisés spécifiquement pour cette étude (14 points),
- Des puits agricoles privés (19 points),
- Des piézomètres de surveillance existants (5 points).

2.2.3.2. Campagnes de mesures et traitement des données

Deux campagnes piézométriques complètes ont été conduites:

1. Une campagne en période de basses eaux (octobre 2004), correspondant à la fin de la période estivale où la nappe atteint son niveau minimal annuel,
2. Une campagne en période de hautes eaux (avril 2005), correspondant au pic de recharge printanier suivant les précipitations hivernales,

Lors de chaque campagne, l'ensemble des 38 points a été mesuré sur une période n'excédant pas 3 jours pour minimiser les effets des variations temporelles. Pour chaque point de mesure, les paramètres suivants ont été enregistrés:

- Profondeur du niveau d'eau par rapport au repère de mesure ($\pm 0,5$ cm),
- Altitude du repère de mesure par nivellement (± 1 cm),
- Calcul de la cote piézométrique en m NGF (Nivellement Général de la France).

Face au nombre limité de points d'accès à la nappe (38) par rapport à l'étendue de la zone d'étude (550 km²), une approche complémentaire basée sur la corrélation entre piézométrie et topographie a été adoptée, en référence aux travaux de Safège ingénieurs conseils (2001) [4]. Cette approche repose sur l'observation que la piézométrie de la nappe libre de l'Oxfordien supérieur en amont du marais présente une forte corrélation avec la topographie.

Une régression linéaire a été établie entre les côtes piézométriques mesurées et la topographie, avec des coefficients de corrélation de 0,95 pour les hautes eaux et 0,90 pour les basses eaux, démontrant la robustesse de cette relation. L'équation générale de régression s'exprime sous l'équation (3):

$$y = ax + b \quad (3)$$

où :

y : représente la cote piézométrique (m NGF),

x la cote topographique (m NGF),

a et **b** des coefficients déterminés empiriquement selon la période (hautes eaux: $a = 0,87$, $b = 1,52$; basses eaux: $a = 0,82$, $b = 0,98$).

Cette relation a permis l'extrapolation des niveaux piézométriques dans les secteurs dépourvus de points de mesure, à partir du modèle numérique de terrain (résolution 25 m) de l'IGN. Les cartes piézométriques ont ensuite été générées par krigeage ordinaire (variogramme linéaire) avec le logiciel Surfer 8.0, avec un maillage de 50 m et une validation croisée présentant un écart quadratique moyen inférieur à 0,4 m.

Cette méthodologie intégrée a permis d'obtenir des esquisses piézométriques fiables malgré la densité limitée de points de mesure, permettant d'identifier les grandes directions d'écoulement et les relations hydrauliques entre les différents bassins hydrogéologiques.

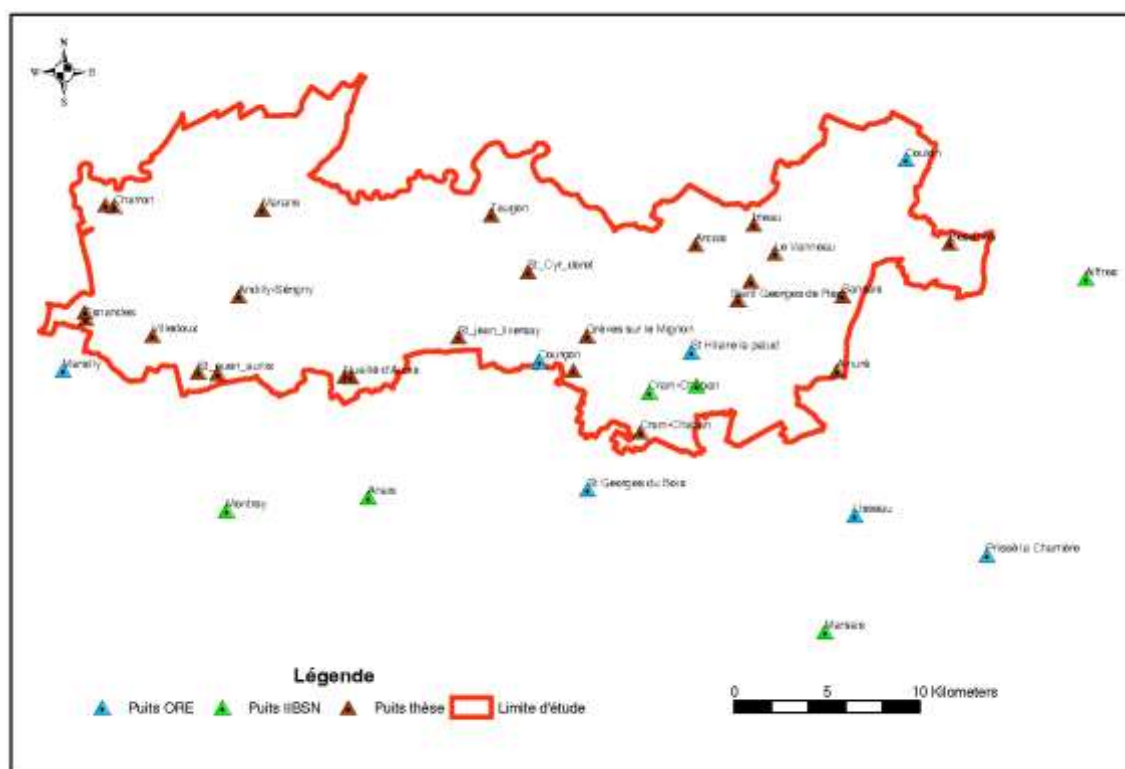


Figure 6 : Répartition des ouvrages utilisés pour le suivi piézométrique de la nappe de l'aquifère calcaire de l'Oxfordien supérieur en basses eaux (octobre 2004) et en hautes eaux (Avril 2005).

3. RÉSULTATS

3.1 Estimation des épaisseurs et reconnaissance macroscopique des formations géologiques du Marais Poitevin à partir des sondages à la tarière

L'installation des forages a permis la mise en place de 19 ouvrages dont les coupes lithologiques sont présentées ci-après (figure 7 et 8). Le forage numéro 1 nommé SHPF1 du site expérimental de Saint Hilaire la Palud a une profondeur de 86 m. Sur ce forage, des formations quaternaires sont rencontrées jusqu'à une profondeur de 9 m. Ensuite, des coquillages sont observées sur une épaisseur de 20 m, puis des formations argileuses et limoneuses sont rencontrées sur une épaisseur de 25 m. A partir de 55 m de profondeur, on observe des formations calcaires. Sur ce forage, le toit de l'Oxfordien supérieur semble être situé à 55 m, ce qui laisse penser à un décrochage du toit de l'Oxfordien supérieur (accident géologique) par rapport à celui rencontré sous le forage numéro 2 qui lui se trouve à 9 m de profondeur. En effet, Le forage numéro 2 nommé SHPF2 du même site expérimental et situé à 4 m de SHPF1 a une profondeur de 8,5 m. Sur cet ouvrage, les formations quaternaires ne sont rencontrées que sur une épaisseur de 7,5 m. Des coquillages sont observés à la base du forage. Le forage numéro 3 nommé SHPF3 à une profondeur de 8 m. Il traverse les formations quaternaires sur une épaisseur de 7 m. Il y a ensuite une présence de coquillages à la base de cet ouvrage. Le forage numéro 4 nommé SHPF4 à une profondeur de 21 m. Des formations quaternaires sont rencontrées sur une épaisseur de 11 m. Des formations calcaires sont observées à partir de 11 m jusqu'à la base du forage. Les forages numéro 2 et 3 du site expérimental de Marans nommés respectivement Marans F2 et marans F3 ont une profondeur de 18 m. Ils n'interceptent que des formations du Quaternaire. Les forages numéro 1 et 4 nommés respectivement marans F1 et Marans F4 du même site expérimental ont une profondeur de 44 m. Ils interceptent des formations du Quaternaire sur une épaisseur de 18 m. Ensuite, des formations calcaires sont observées à partir de 18 m jusqu'à la base du forage. Les 11 ouvrages restants disséminés dans le Marais Poitevin et qui ne captent que les formations du Quaternaire sont les suivants. Les sondages d'Andilly Alon, de Marans Flandres, de marans Basse Garenne, de Taugon pont Bastard, de Taugon Station de Lagunage, de Taugon Logis du Sablon, de SHP Mazin, de SHP la Devise, d'Arçais, d'Amuré, et de Le Vanneau font respectivement, 19 m, 17 m, 12 m, 15 m, 7,5 m, 30 m, 7 m, 18 m, 16 m, 9 m et 25 m de profondeur.

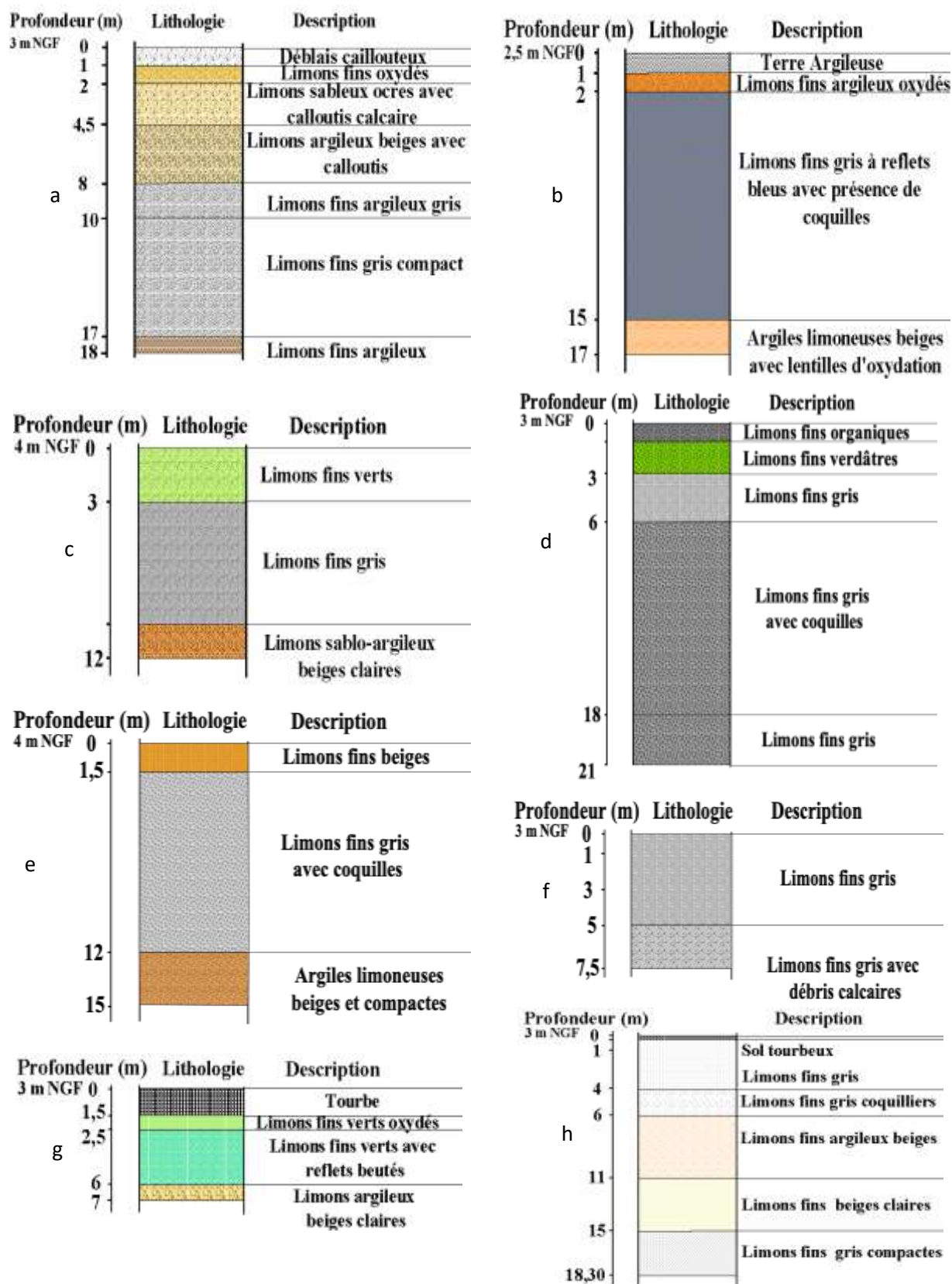


Figure 7 : Coupes lithologiques des sondages d'Andilly Alon (a), de Marans Flandres (b), de Marans Basse Garenne (c), de Marans site expérimental (d) de Taugon Pont Bastard (e), de Taugon Station de Lagunage (f), de SHP Mazin (g), et de SHP la Devise (h).

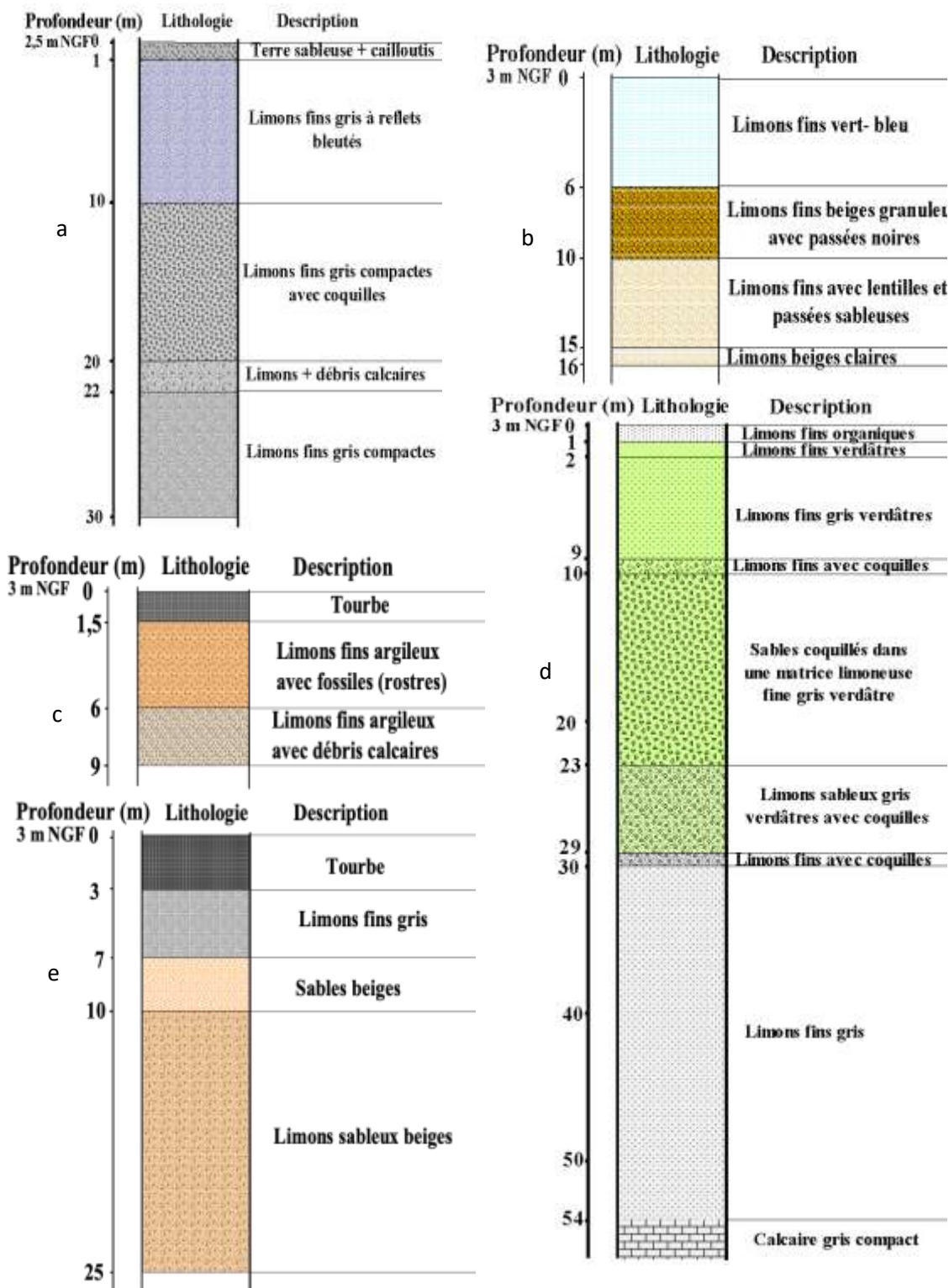


Figure 8 : Coupes lithologiques des sondages de Taugon Logis du Sablon (a), d'Arçais (b), d'Amuré (c), du site expérimental de Saint Hilaire la Palud (d) et de Le Vanneau.

3.2 Détermination des formations géologiques du Marais Poitevin à partir des méthodes géophysiques

Sur le site expérimental de Marans, les résultats géophysiques mettent en évidence une structure tabulaire avec des valeurs de résistivité en surface allant de $1,14 > \rho > 2,96 \Omega.m$. Après 4 m de profondeur, les résistivités obtenus sont supérieures à $1,14 \Omega.m$. Au-delà de 16 m de profondeur, Les valeurs de résistivités augmentent avec la profondeur (figure 9).

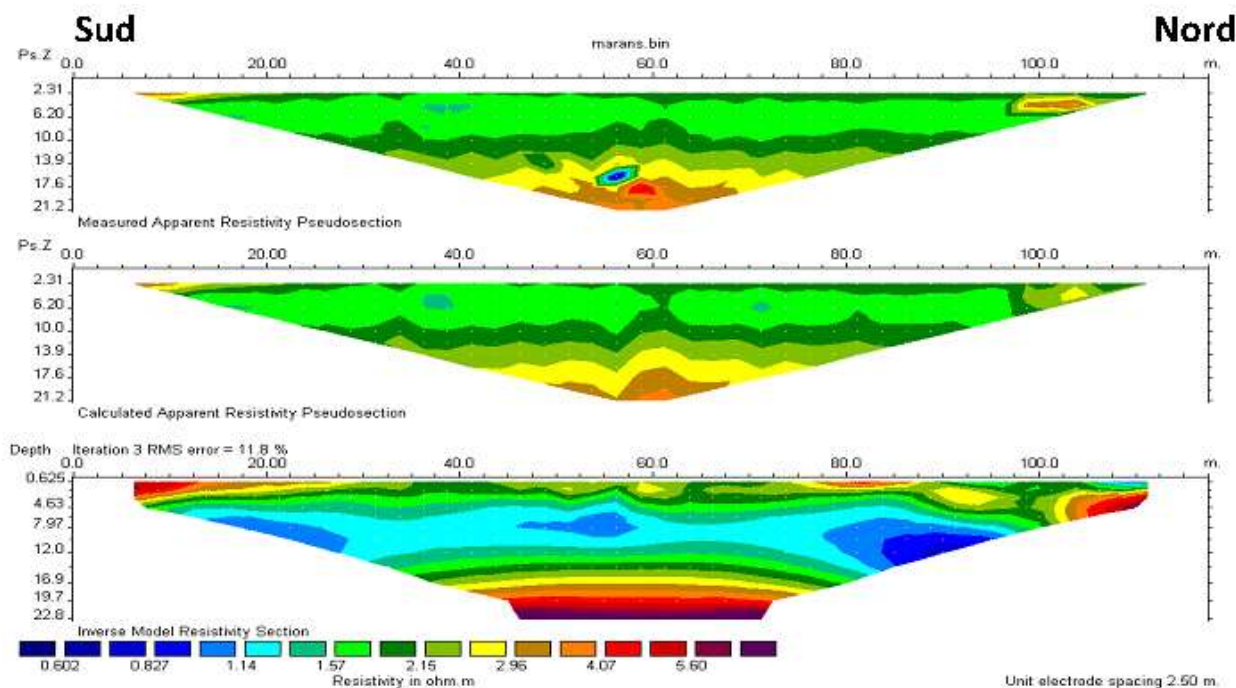


Figure 9 : Représentation graphique des mesures géophysiques réalisées sur le site de Marans à l'aide du dispositif Wenner-Schlumberger.

Les résultats de la géophysique obtenus sur le site expérimental de Saint Hilaire la Palud (figure 10), mettent en évidence des valeurs de résistivité de l'ordre de 26 $\Omega.m$ à 10 m de profondeur sous le forage F2 alors qu'à cette même profondeur, les valeurs de résistivité sont nettement plus faibles (0,9 $\Omega.m$) sous le forage F1 qui se trouve à 4 m laissant entrevoir un décrochage du toit de la formation marno-calcaire comme suspecté lors de l'installation des forages. En surface, des valeurs $\rho < 1 \Omega.m$ sont obtenues.

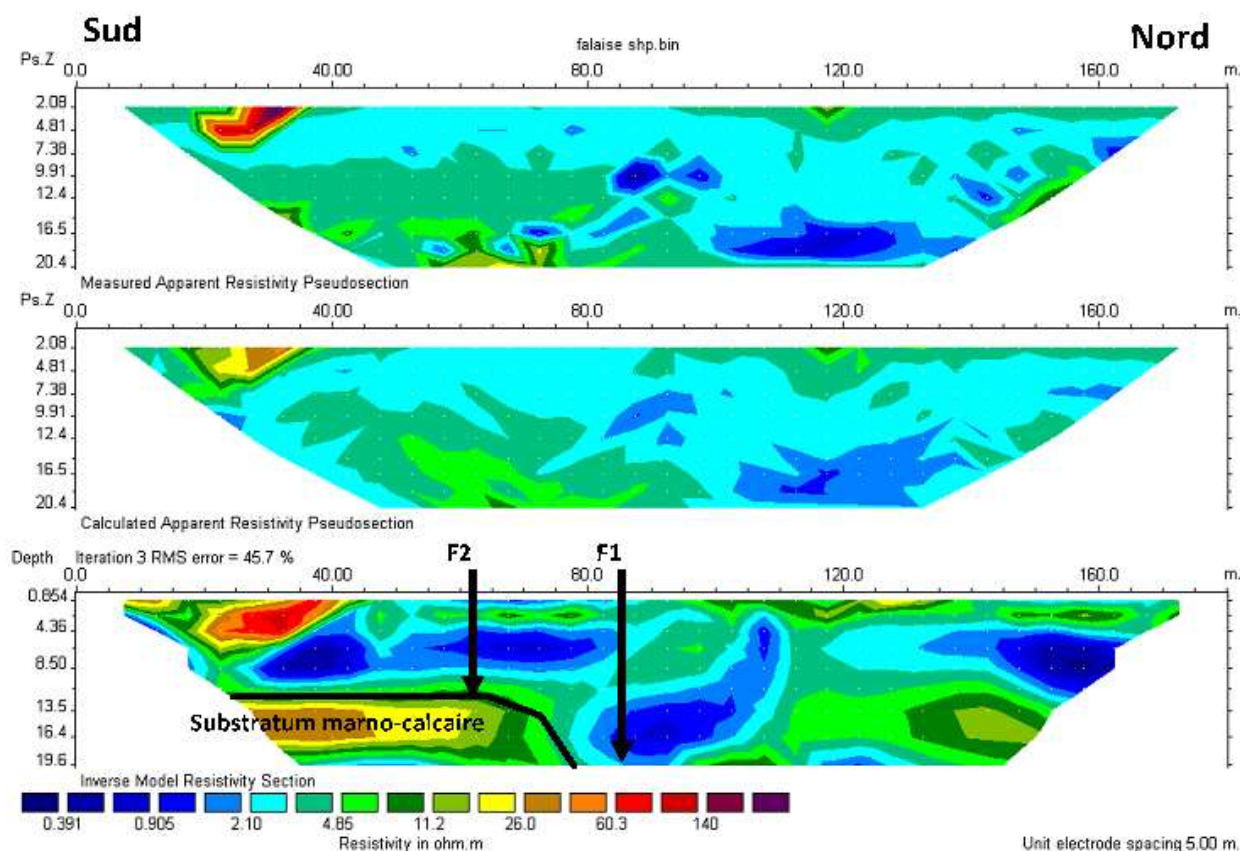


Figure 10 : Représentation graphique des mesures géophysiques réalisées sur le site de Saint Hilaire la Palud à l'aide du dispositif dipôle-dipôle.

3.3 Étude de l'alimentation des eaux du Marais Poitevin

Les esquisses piézométriques qui découlent de cette étude (figure 11 et 12) ne représentent certes pas de manière précise le niveau de la nappe au moment des mesures des côtes piézométriques, cependant, elles sont très intéressantes à l'échelle de l'étude car elles permettent de situer les grandes lignes d'écoulement de l'aquifère de l'Oxfordien supérieur. Il ressort de l'analyse des deux cartes piézométriques (octobre 2004 - avril 2005) peu de différence entre elles. Toutefois, toutes les deux montrent que la nappe de l'Oxfordien supérieur s'écoule vers le marais qui semble être son exutoire naturel. On distingue 4 bassins hydrologiques sur lesquels se rencontrent des cours d'eau (Le Curé, le Mignon, la Courance, la Guirande et le Lambon) qui servent de drains à la nappe de l'Oxfordien supérieur qui s'écoule vers le Marais Poitevin.

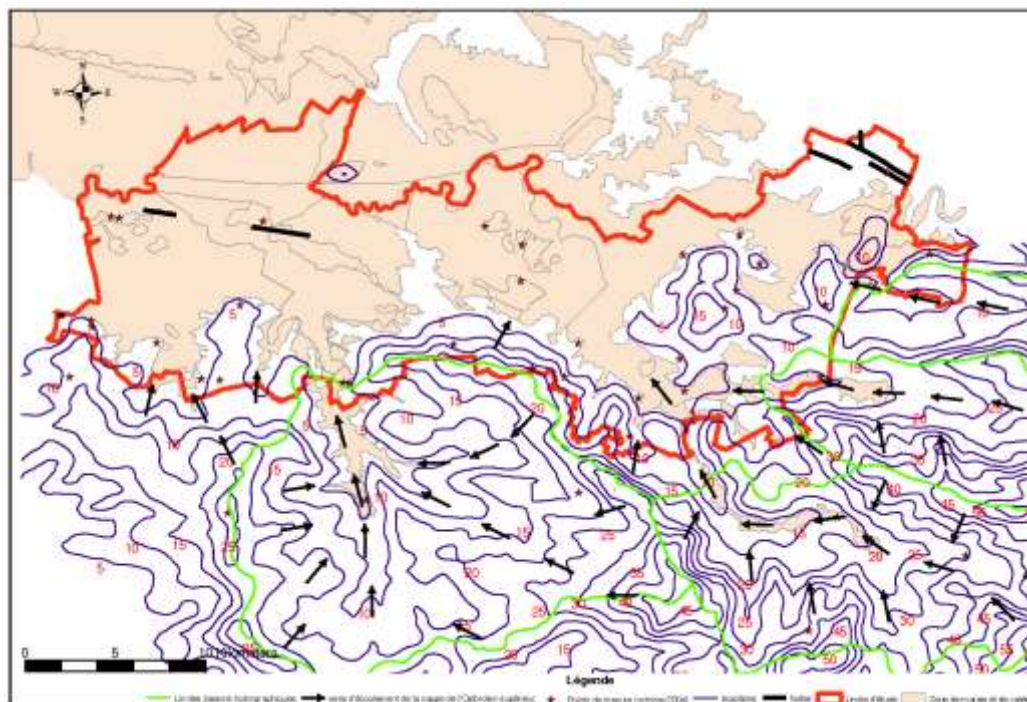


Figure 11 : Esquisse piézométrique, en basses eaux, de la nappe des formations calcaires de l'aquifère de l'Oxfordien supérieur situé en amont du Marais Poitevin (octobre 2004).

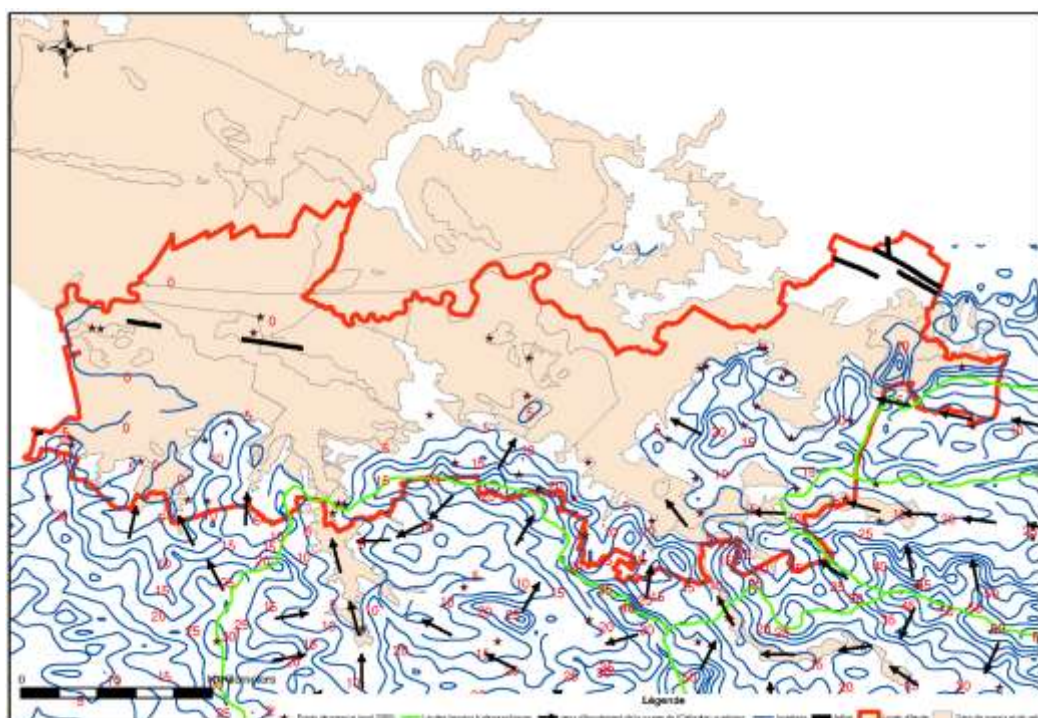


Figure 12 : Esquisse piézométrique, en hautes eaux, de la nappe des formations calcaires de l'aquifère de l'Oxfordien supérieur situé en amont du Marais Poitevin (avril 2005).

4. DISCUSSION

Interprétation des structures géologiques du Marais Poitevin

Les investigations géophysiques couplées aux sondages à la tarière mécanique ont permis de caractériser avec précision l'architecture des formations géologiques dans la partie sud du Marais Poitevin. Sur le site expérimental de Marans, les résultats convergent pour confirmer l'existence d'une structure tabulaire bien définie. Cette disposition structurale est mise en évidence par la présence successive de trois unités géoélectriques distinctes:

1. Une couche superficielle relativement résistante ($1,14 < \rho < 2,96 \Omega.m$) jusqu'à 4 m de profondeur, correspondant aux formations quaternaires non saturées. Ces valeurs de résistivité, bien que faibles dans l'absolu, sont significativement plus élevées que celles des horizons sous-jacents, ce qui s'explique par l'absence de saturation en eau dans cette zone vadose et la nature argileuse des formations quaternaires.
2. Une couche intermédiaire plus conductrice ($\rho > 1,14 \Omega.m$) entre 4 et 16 m de profondeur, caractéristique de formations saturées en eau fortement minéralisée. Cette signature géoélectrique corrobore les analyses hydrogéochimiques antérieures d'Anongba et al. (2024) ; Anongba et al. (2023) ; Anongba (2007) [5, 7, 20] qui ont démontré la présence d'eaux saumâtres à forte conductivité électrique dans ce secteur, avec des concentrations en chlorures pouvant atteindre 12 g/L.
3. Au-delà de 16 m de profondeur, une augmentation progressive des valeurs de résistivité témoigne de la transition vers des formations géologiques différentes. Cependant, les résistivités mesurées (5-10 $\Omega.m$) demeurent trop faibles pour être attribuées sans ambiguïté à des formations calcaires franches, qui présentent typiquement des résistivités supérieures à 50 $\Omega.m$ en l'absence d'altération ou de saturation par des eaux conductrices (Arens et al. (1998) [21]). Ces valeurs intermédiaires suggèrent plutôt la présence de formations marneuses ou marno-calcaires, hypothèse cohérente avec la lithologie régionale documentée par les travaux antérieurs de Waterlot (1938) et Jambu et Nijs (1966) [22,23].

Il convient toutefois de souligner que ces faibles résistivités pourraient également résulter de la présence d'eaux fortement minéralisées au sein de formations calcaires fissurées. Cette hypothèse alternative ne peut être écartée compte tenu du contexte géochimique régional caractérisé par une intrusion saline significative, comme l'ont démontré Anongba (2007) ; Braphond et al. (2023) [20, 6]. La distinction entre ces deux interprétations (nature lithologique vs. effet de la minéralisation des eaux) constitue une limitation inhérente à la méthode électrique dans ce contexte spécifique.

Analyse des résultats du site de Saint Hilaire la Palud

L'analyse des résultats géophysiques obtenus sur le site de Saint Hilaire la Palud révèle également une structure globalement tabulaire, mais avec des hétérogénéités latérales significatives. Le contraste marqué de résistivité observé à 10 m de profondeur (26 $\Omega.m$ sous le forage F2 contre seulement 0,9 $\Omega.m$ à la même profondeur sous le forage F1 situé à 4 m de distance) pourrait, à première vue, suggérer l'existence d'un décrochage structural. Cependant, l'intégration des données lithologiques issues des forages et l'analyse critique des résultats géophysiques conduisent à une interprétation alternative plus robuste. L'hétérogénéité observée semble être principalement liée à la distribution spatiale inégale des eaux salées au sein des formations, et non à un accident tectonique comme initialement suspecté. Plusieurs éléments étayent cette interprétation:

1. L'absence d'accident tectonique majeur documenté dans cette partie du Marais Poitevin selon les études géologiques régionales antérieures (Nijs (1968) [24], Ducloux et Nijs (1972) [11], Anongba (2007) [20]),
2. L'hétérogénéité hydrodynamique des formations du Marais Poitevin, caractérisée par des variations significatives de perméabilité et de connectivité hydraulique, comme l'ont démontré Braphond et al. (2023) [6] et Vincent Benjamin et al. (2022) [8],
3. Les variations latérales de la minéralisation des eaux souterraines documentées par Anongba et al. (2023) [7], avec des gradients de salinité parfois très marqués sur de courtes distances (< 10 m).

Ces observations convergent pour indiquer que les contrastes de résistivité observés résultent principalement de la présence différentielle d'eau salée, dont l'effet conducteur masque ou atténue significativement la signature électrique

des formations géologiques sous-jacentes. Cette interprétation est d'autant plus plausible que la technique de foration en mode destructif utilisée, combinée à la présence d'eaux fortement minéralisées, limite la capacité des méthodes employées à détecter précisément la transition entre les formations quaternaires et celles de l'Oxfordien supérieur. En conséquence, l'épaisseur des formations quaternaires à Saint Hilaire la Palud peut être estimée à environ 10 m, ce qui concorde avec les résultats obtenus par Vincent Benjamin et al. (2022) [8] qui avaient déterminé, par des analyses sédimentologiques et minéralogiques détaillées, une épaisseur similaire pour ces dépôts dans ce secteur.

Modèle conceptuel du fonctionnement hydrodynamique du Marais Poitevin

L'intégration des résultats lithologiques, géophysiques et piézométriques permet d'établir un schéma conceptuel cohérent du fonctionnement hydrodynamique de la partie sud du Marais Poitevin. L'organisation structurale tabulaire mise en évidence joue un rôle déterminant dans les écoulements hydrogéologiques régionaux.

Les esquisses piézométriques réalisées en périodes de basses eaux (octobre 2004) et hautes eaux (avril 2005) présentent des configurations remarquablement similaires, témoignant d'une stabilité temporelle des directions d'écoulement malgré les variations saisonnières des niveaux piézométriques. Cette stabilité suggère un système hydrogéologique robuste, contrôlé principalement par la géométrie des formations aquifères plutôt que par les fluctuations hydroclimatiques saisonnières.

L'analyse de ces cartes piézométriques révèle clairement que la nappe des formations calcaires de l'Oxfordien supérieur s'écoule depuis les plateaux périphériques vers le marais, confirmant que ce dernier constitue l'exutoire naturel des eaux souterraines de la région. Cette configuration hydrogéologique permet d'identifier quatre bassins hydrologiques distincts, délimités par des lignes de partage des eaux souterraines, et dans lesquels s'inscrivent les principaux cours d'eau (Le Curé, le Mignon, la Courance, la Guirande et le Lambon) qui drainent la nappe de l'Oxfordien supérieur.

Ce modèle conceptuel implique que les eaux de pluie tombant sur le bassin versant du marais peuvent suivre trois cheminements hydrologiques principaux, comme l'ont également suggéré Anongba et al. (2024) [5] et Braphond et al. (2023) [6]:

1. Percolation à travers les formations calcaires et marno-calcaires des plateaux bordiers, alimentant directement la nappe de l'Oxfordien supérieur
2. Drainage direct par les cours d'eau du marais, particulièrement lors d'épisodes pluvieux intenses générant du ruissellement
3. Stagnation temporaire à la surface du marais dans les zones de faible perméabilité, formant des zones humides temporaires ou permanentes selon la saisonnalité.

Une quatrième voie d'écoulement, mise en évidence par Anongba (2007) [20], concerne les infiltrations à travers les niveaux calcaires constituant les îles et presqu'îles du marais, créant des systèmes hydrogéologiques locaux qui complexifient davantage le fonctionnement général.

Le schéma conceptuel simplifié présenté en Figure 13 synthétise ces différentes voies d'écoulement et illustre le fonctionnement hydrodynamique global du système. Il convient toutefois de souligner, comme le rappelle la Figure 13, que le fonctionnement réel du Marais Poitevin est considérablement plus complexe que ce modèle simplifié. Cette complexité résulte de l'interaction de multiples facteurs:

- Facteurs naturels : variabilité climatique intra et interannuelle, hétérogénéité pédologique, diversité des structures géologiques et comportements hydrogéologiques différentiels,
- Facteurs anthropiques: gestion artificielle du réseau hydraulique (canaux, écluses, pompes), modifications de l'occupation des sols et pratiques culturales intensives,

Cette dualité entre facteurs naturels et anthropiques constitue un défi majeur pour la compréhension et la gestion durable de cet écosystème fragile, comme l'ont souligné les travaux de Bernard (2006) ; Garnier (1975) [9, 10].

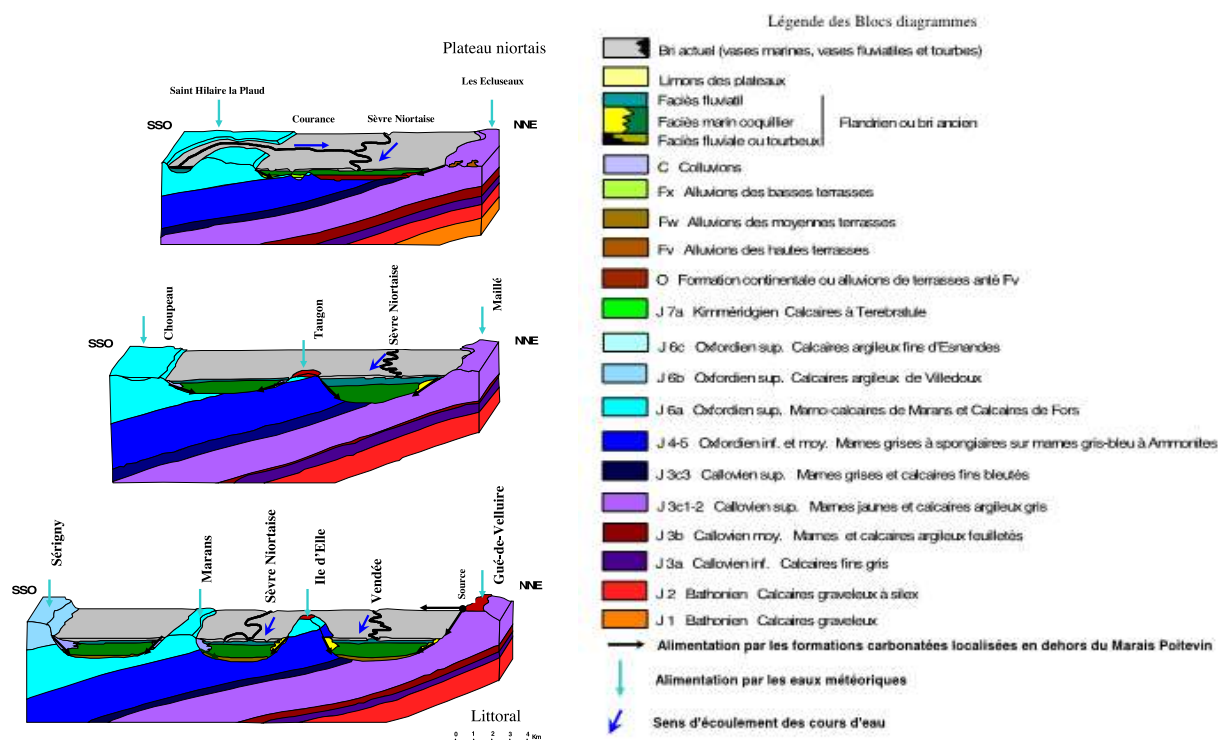


Figure 13 : Proposition d'un schéma de fonctionnement hydrodynamique simplifié du Marais Poitevin.

5. CONCLUSION

La présente étude, basée sur une approche méthodologique intégrée combinant investigations géophysiques, sondages mécaniques et mesures piézométriques, a permis de caractériser la structure géologique et le fonctionnement hydrodynamique de la partie sud du Marais Poitevin. L'analyse des données géophysiques et des sondages à la tarière a démontré que la dépression du Marais Poitevin dans la zone étudiée présente fondamentalement une structure tabulaire, constituée d'une succession de formations marno-calcaires à calcaires du Jurassique, recouvertes par des dépôts quaternaires d'épaisseur variable (7 à 20 mètres). Les anomalies de résistivité observées sur certains profils, initialement interprétées comme de potentiels accidents tectoniques, résultent principalement de la présence différentielle d'eaux fortement minéralisées qui masquent la signature électrique des formations géologiques sous-jacentes.

Les esquisses piézométriques établies en périodes de basses eaux (octobre 2004) et hautes eaux (avril 2005) révèlent un schéma d'écoulement stable et cohérent : la nappe des formations calcaires de l'Oxfordien supérieur s'écoule systématiquement depuis les plateaux périphériques vers le Marais Poitevin, identifiant ce dernier comme l'exutoire naturel des eaux souterraines régionales. Cette configuration hydrogéologique explique pourquoi les cours d'eau qui parcourent le marais (Le Curé, le Mignon, la Courance, la Guirande et le Lambon) sont majoritairement alimentés par les apports souterrains provenant des formations calcaires en amont, particulièrement en période d'étiage.

Le modèle conceptuel de fonctionnement hydrodynamique établi souligne l'importance des interactions entre eaux souterraines et eaux superficielles dans ce système hydrogéologique complexe. Cette interdépendance est d'autant plus critique que les pressions anthropiques croissantes (prélèvements agricoles, drainage, artificialisation des sols) peuvent perturber significativement les équilibres hydrologiques naturels, avec des répercussions potentielles sur la biodiversité exceptionnelle de cette zone humide d'importance nationale. Ces résultats apportent un éclairage nouveau sur la dynamique hydrogéologique du Marais Poitevin et offrent un cadre scientifique robuste pour la gestion intégrée des ressources en eau de ce territoire. Ils soulignent notamment la nécessité d'une approche holistique prenant en compte les relations hydrauliques entre les différents compartiments de l'hydrosystème (plateaux calcaires, marais, cours d'eau) dans les stratégies de préservation et de restauration écologique. Des recherches complémentaires seraient néanmoins nécessaires pour affiner ce modèle conceptuel, notamment par :

- L'extension des investigations géophysiques à l'ensemble du Marais Poitevin pour caractériser plus précisément les variations spatiales de l'architecture géologique,
- La mise en place d'un réseau piézométrique permanent et densifié permettant un suivi temporel à haute résolution des fluctuations de nappe,

- L'étude des flux hydrauliques verticaux entre les formations quaternaires et jurassiques par des techniques de traçage naturel ou artificiel,
- La modélisation numérique des écoulements à l'échelle du bassin versant pour quantifier les impacts potentiels des changements climatiques et des modifications d'usage des sols sur le fonctionnement hydrologique du marais.

Ces perspectives de recherche contribueraient à renforcer les connaissances scientifiques nécessaires à la préservation durable de cet écosystème remarquable, dans un contexte de changements globaux et de pressions anthropiques croissantes.

6. RÉFÉRENCES

1. Ladouche B, Weng P. Hydrochemical assessment of the Rochefort marsh: role of surface and groundwater in the hydrological functioning of the Wetland. *Journal of hydrology*. 2005;314:22-42. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2005.03.018
2. Mitsch WJ, Gosselink JG. *Wetlands*. 3rd ed. New York: Van Nostrand Reinhold; 2000.
3. Fustec E, Lefeuvre JC. *Fonctions et valeurs des zones humides*. Paris: Dunod; 2000.
4. Safège ingénieurs conseils. *Rapport étude hydrogéologique de la nappe intensément exploitée de l'Aunis*. 2001.
5. Anongba BRV, Traore A, Tohouiri P. Origine et temps de résidence des eaux souterraines de la partie sud du Marais Poitevin (Nouvelle-Aquitaine-France) et de son substratum carbonaté de l'Oxfordien Supérieur par utilisation couplée d'isotopes Stables et radioactifs. *Int J Adv Res*. 2024;231-249. DOI: 10.21474/IJAR01/18113
6. Braphond RVB, Djémin JÉ, Privat T, Adja MG. Contribution to the knowledge of water transfers between the Quaternary and Upper Oxfordian (limestone) aquifers of the southern part of the Poitevin marsh (Poitou-Charentes, France). *Int J Innov Sci Res*. 2023;65(1):15-29. Disponible sur: <https://ijisr.issr-journals.org/abstract.php?article=IJISR-22-326-06>
7. Anongba BRV, Privat T, Issa SS, Germain AM. Origine et processus de minéralisation des eaux souterraines dans la partie Sud du Marais Poitevin (Nouvelle-Aquitaine France) et de son substratum carbonaté de l'Oxfordien Supérieur. *Eur Sci J*. 2023;19(33):231. DOI: 10.19044/esj.2023.v19n33p231
8. Vincent Benjamin ABR, Germain AM, Jacques DE. Contribution à la Caractérisation des Sédiments Superficiels Quaternaires de la Partie Sud du Marais Poitevin (Poitou Charentes-France). *Eur Sci J*. 2022;18(40):211. DOI: 10.19044/esj.2022.v18n40p211
9. Bernard M. *Étude des comportements des sols de marais: évolution minéralogique, structurale et hydromécanique*. (Marais de Rochefort et Marais Poitevin) [thèse de doctorat]. Poitiers: Université de Poitiers; 2006. 309 p.
10. Garnier D. Contribution à l'étude de la pédogenèse récente: les sols sur argile à scrobiculaire du Marais Poitevin [thèse de doctorat]. Poitiers: Université de Poitiers; 1975. 91 p.
11. Ducloux J, Nijs R. Contribution à l'étude géologique et géomorphologique du Marais Poitevin. *Bull Soc Belge Géol Paléontol Hydrol*. 1972;81(3-4):227-249.
12. Dupuis J. Le climat et l'économie de l'eau dans les sols de marais mouillés. *Étude pédologique du Marais Poitevin, tome II*. 1969. 144 p.
13. Dupuis J, Dutreuil JP, Jambu P. Observation sur quelques sols récents du littoral poitevin. *Sc Du sol*. 1965;2:173-188.
14. Jambu P, Nijs R. Contribution à l'étude des sols de la partie orientale du marais Poitevin (Marais Mouillé). *Norais*. 1966;52:565-593.
15. INSEE. Recensement de la population 2015 : Populations légales des communes du Marais Poitevin. Paris : Institut National de la Statistique et des Études Économiques ; 2015. Disponible sur <https://www.insee.fr/fr/statistiques/zones/2021173>
16. Welsch J. Le Marais Poitevin. *Ann Géogr*. 1916 ;25:326-346.
17. Mazeau M. Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique du Jurassique supérieur entre Courçon et Saint-Jean-d'Angély (Charente-Maritime) [thèse de doctorat]. Bordeaux : Université de Bordeaux I; 1979. 158 p.
18. Chapellier D. Cours online de géophysique de l'Université de Lausanne. Institut Français du Pétrole. 2001. 99 p. Disponible sur: https://www-ig.unil.ch/pdf/doc_pro/pro_f.pdf
19. Maescot L. Modélisation directe et inverse en prospection électrique sur des structures 3D complexes par la méthode des éléments finis [thèse de doctorat]. Nantes/Lausanne: Universités de Nantes et de Lausanne; 2004. 208 p.
20. Anongba B. Identification du système hydrogéologique des formations quaternaires et callovo-oxfordiennes du Marais Poitevin par approche couplée minéralogique, hydrodynamique et géochimique [thèse de doctorat]. Poitiers: Université de Poitiers; 2007. 319 p. Disponible sur: <https://hal.science/tel-04611747v1/document>
21. Arens G, Chapellier D, Gaudiani P, Mari JL. *Géophysique de gisement et de génie civil*. Paris: Publications de l'Institut Français du Pétrole, Éditions Technip; 1998. 488 p.
22. Waterlot G. La tectonique du Marais Poitevin. *Ann Soc Géol Nord*. 1938 ;63:16-38.
23. Jambu P, Nijs R. Contribution à l'étude des sols de la partie orientale du marais Poitevin (Marais Mouillé). *Norais*. 1966;52:565-593.
24. Nijs R. Contribution à l'étude des sols du Marais Poitevin [thèse de doctorat]. Poitiers: Université de Poitiers; 1968. 214 p.



How to cite this article: Anongba Braphond Rodrigue Vincent Benjamin, Tohouiri Privat, Soro Sandona Issa, Adja Miessan Germain. CONTRIBUTION A LA COMPREHENSION DU SCHEMA D'ÉCOULEMENT DES EAUX DANS LA PARTIE SUD DU MARAIS POITEVIN (NOUVELLE-AQUITAINE-FRANCE). *Am. J. innov. res. appl. sci.* 2025; 20(4): 65-80. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.15248995>

This is an Open Access article distributed in accordance with the Creative Commons Attribution Non Commercial (CC BY-NC 4.0) license, which permits others to distribute, remix, adapt, build upon this work non-commercially, and license their derivative works on different terms, provided the original work is properly cited and the use is non-commercial. See: