Synthèse géomorphologique du marais de Brière

Pierre Pouzet, Pierre Fernandez, Jimmy Mouchard

▶ **To cite this version:**

Pierre Pouzet, Pierre Fernandez, Jimmy Mouchard. Synthèse géomorphologique du marais de Brière. [Rapport de recherche] UMR CReAAH 6566 Centre de Recherche(s) en Archéologie, Archéosciences, Histoire - LARA, Laboratoire de recherche ARchéologie et Architecture. 2020, 44 p. hal-03079606

HAL Id: hal-03079606
https://hal.science/hal-03079606

Submitted on 10 Dec 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Synthèse géomorphologique du marais de Brière

Pierre Pouzet, Pierre Fernandez, Jimmy Mouchard
LARA, décembre 2020

A. Contexte de la synthèse géomorphologique

Pour tenter de mieux comprendre l'évolution de la Brière au cours des derniers millénaires, une synthèse géomorphologique a été engagée. Cette synthèse a pour objectif d'étudier la plupart des travaux géomorphologiques réalisés durant les dernières décennies. L'objectif est d'appréhender l'évolution de la géomorphologie briéronne et la succession des paysages ayant façonné ce marais. L'étude repose dans un premier temps sur l'analyse de la topographie des principaux éléments du relief briéron. L'étude globale de la topographie permet de comprendre certains grands traits de l'évolution géomorphologique du marais, tandis que l'étude des microreliefs offre des clés de compréhension sur le façonnement de son hydrographie au cours des derniers millénaires. Nous présentons ensuite une synthèse de l'évolution de la sédimentologie de cet espace, vaste zone de dépôts d'alluvions principalement quaternaires. Les données primaires utilisées pour la réalisation de cette synthèse sont en amont critiquées. Enfin, le couplage de ces deux approches offre la possibilité intéressante de produire plusieurs coupes géologiques dans les espaces les moins étudiés. Nous avons testé cette nouvelle approche au travers de quatre transects préalablement sélectionnés dans le marais. De nouvelles perspectives de recherche sont ensuite proposées pour les futurs travaux engagés sur l'étude géomorphologique briéronne.

A. Contexte de la synthèse géomorphologique **1**

B. L'étude de données topographiques **2**

1. Contexte de l'étude topographique et données disponibles 2
2. L'extraction d'accidents topographiques 5

C. L'analyse des données sédimentologiques **14**

1. Contexte de l'étude sédimentologique et données disponibles 14
2. Synthèse bibliographique de l'évolution du marais de Brière 23

D. Affiner la connaissance du marais par la production de coupes géologiques dans les secteurs les moins étudiés **31**

E. Perspectives **40**

F. Références bibliographiques **41**

G. Table des figures et illustrations **44**

*Pour les riches échanges sur l'interprétation des données topographiques et sédimentologiques apportant des informations à cette synthèse, nous remercions **Rémy Arthuis, Martin Juigner et Dominique Sellier** pour leur disponibilité. Nous remercions également le **PNR de Brière** pour leur accueil lors de la recherche d'archives de sondages.*

B. L'étude des données topographiques

1. Contexte de l'étude topographique et données disponibles

Dans un premier temps, l'analyse de la topographie du marais permet d'appréhender la géomorphologie générale de la Brière. Par l'analyse de fichiers SIG Raster, nous souhaitons déceler les principales formes de relief et tenter de comprendre quelques formes de microreliefs témoignant de son évolution passée. Après avoir analysé les différents types de données disponibles dans le marais, nous avons pu récupérer auprès de l'Institut de Géographie et d'Aménagement Régional de l'Université de Nantes (IGARUN) les données de topographies les plus complètes et récentes sur la Brière (Figure 1). Ces données issues du Litto3D datent de 2011, et couvent l'ensemble du marais. La résolution en X/Y est métrique, et centimétrique en Z, correspondant à l'altitude. Une fusion des 551 dalles couvrant les 16 communes situées sur le territoire du PNR a été réalisée pour produire le raster topographique global de haute résolution.

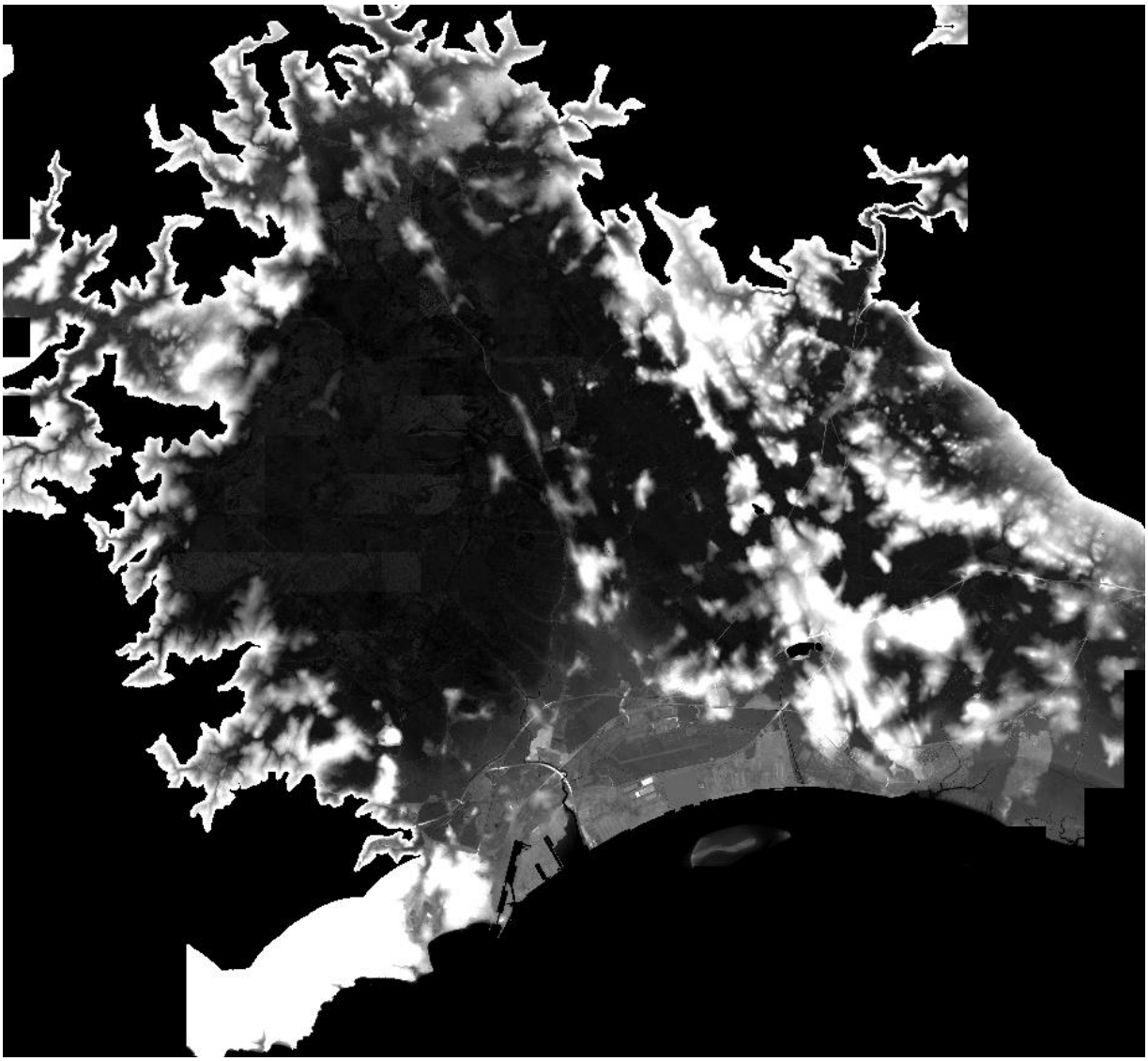


Figure 1 Présentation du Litto3D de 2011 sur la Brière, symbologie allant de 0m NGF (noir) à 10m NGF (blanc)

Le Litto3D est un projet commun au SHOM et à l'IGN permettant une description en trois dimensions du littoral, notamment grâce à la technologie lidar. La donnée regroupe la topographie côtière et la bathymétrie sous-marine au sein d'un même ensemble. Elles ont donc été produites par le Service hydrographique et océanographique de la Marine (Shom) et l'IGN conjointement, et aucune campagne Lidar de l'OR2C n'a pour l'instant été menée dans ce secteur. Après avoir effectué une analyse rapide des données recueillies et quelques échanges avec les spécialistes de l'OR2C, Observatoire Régional des Risques Côtiers (dont M. Juigner), il s'avère que ces données ayant une résolution spatiale fine ont de sérieuses lacunes au sein de petits espaces présents au cœur du marais. Les spécialistes de l'OR2C nous ont informés de manipulations de l'IGN ayant conduit à une détérioration de la donnée, et notamment la fusion de données brutes avec d'anciennes données topographiques à résolution moins fines. En conséquence, une partie de la tourbière briéronne a légèrement perdu en précision topographique. Cependant, une campagne de nouvelles données Lidar est prévue par l'OR2C pour les années à venir, permettant de compléter et d'affiner l'étude du marais et de limiter cette perte d'information. En complément, le RGE ALIT de l'IGN a également été récupéré pour l'ensemble du secteur nord-ouest de l'estuaire de la Loire. Présentant une résolution de 75m en X/Y sur 1m en Z, il permet seulement d'appréhender les grands traits du relief briéron.

Si l'on étudie le marais dans son ensemble, nous pouvons observer au travers de ce raster les hauts reliefs du bloc basculé du Sillon de Bretagne à l'est (fonds blancs abruptement délimités), plongeant directement sur le marais de Brière (espace noir), dont la tourbière en son centre est située à moins de 2m NGF. Au sud apparaît un espace légèrement plus haut, variant entre 3 et 10m NGF (dégradé de gris), sur lesquels sont notamment situés l'aéroport et la raffinerie. Certains bâtiments semblent d'ailleurs ressortir au Litto3D. Nous remarquons également plusieurs taches blanches le long d'un transect nord-sud en plein cœur de la Brière, culminant à plus de 5, voire 10m NGF. Ces buttes représentent les anciennes îles lorsque ce paysage était encore une baie maritime il y a plusieurs millénaires. Au nord-ouest; légèrement peu plus haut que la zone tourbeuse de basse altitude étant à près de 0.5m NGF dans ce secteur, la butte aux pierres (1.5 - 2m NGF) ressort légèrement du paysage. L'homogénéité des espaces situés à moins de 2 m NGF d'altitude permet de difficilement appréhender les principaux bassins-versants tapissant le marais. Celui du Brivet apparaît difficilement au nord-est dans ces prémices vers Pontchateau, traversant le Sillon et débouchant sur la tourbière, avant de disparaître dans les très faibles altitudes de la Grande Brière. À l'inverse, la vallée de son affluant de rive droite provenant du nord, seconde vallée importante de la Brière selon Rémy Arthuis, est très difficilement perceptible. Au nord-ouest, le bassin-versant du Méan ressort quant à lui très nettement, mais ne semble pas connecté au marais, seulement séparé par un fin relief sur lequel domine le bourg de Saint-Lyphard.

Par l'intermédiaire de l'extension *« Profil Tool »* de Qgis, l'utilisation de cette donnée SIG nous permet de réaliser des transects topographiques directement sur le logiciel (Figure 2). Ce profil illustre parfaitement les différents grands ensembles topographiques présentés dans le paragraphe précédent. Les plaines bordières culminent à plus de 10m NGF, notamment celles de Saint-André-des-Eaux à l'ouest situées sur le bloc basculé de Guérande (voir section C). En opposition, les altitudes basses du marais tourbeux s'établissent entre 0 et 2m NGF, traversées ici au niveau de la partie sud de la Réserve des Grands Charreaux. Le transect travers la butte de Saint-Malo-de-Guersac, qui ressort très nettement du paysage à près de 8m NGF. Le lit du Brivet est pointé sur le transect et la cartographie. Vient ensuite, plus à l'est, l'ensemble de buttes situées sur le territoire de la commune de Donges, également d'anciennes îles. Le transect les traverses au niveau du lieu-dit Le Landais, culminant progressivement jusqu'à 10m NGF. Séparé du Landais par le canal de la Taillée (0-2mNGF), le transect termine son tracé dans les hauteurs des plaines de Besné et Prinquiau (10 – 12m NGF), situées en bordure basse du Sillon de Bretagne.

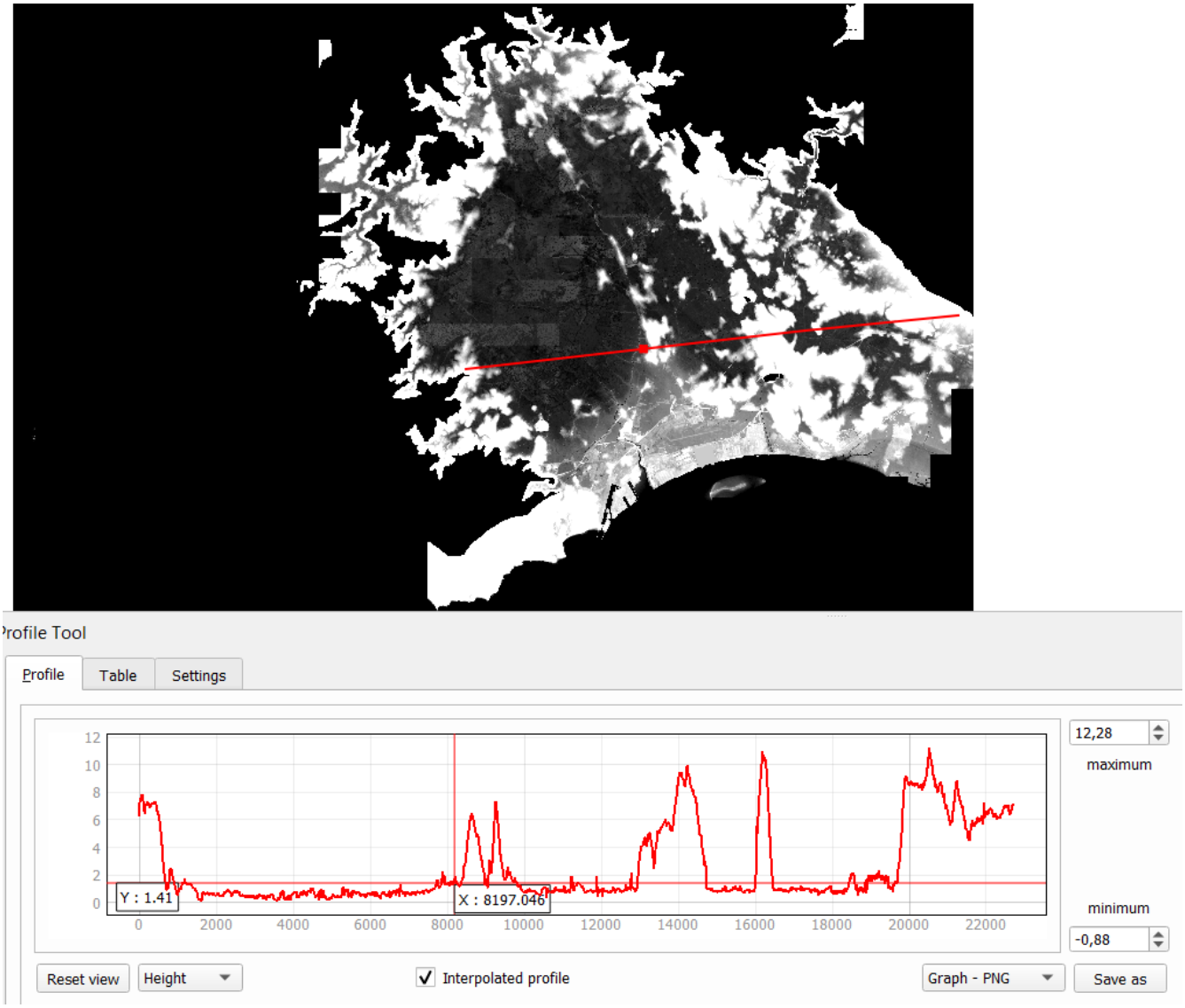


Figure 2 Présentation d'un transect topographique réalisé avec l'outil "Profil Tool" de Qgis.

2. L’extraction d’accidents topographiques

Pour pouvoir gagner en précision sur l’étude des éléments de microtopographie, nous avons tout d’abord récupéré la photographie aérienne la plus récente du secteur : la BD Ortho 2018 de l’IGN. La BD ortho est une photographie aérienne orthorectifiée (photographie corrigée selon les éléments du relief) disposant également d’une très haute résolution demi-métrique (0.5m en X/Y). La fusion de 52 dalles correspondant au marais de la Brière a permis de produire un raster global. Son analyse fine peut permettre de détecter quelques éléments parfois invisibles à l’œil nu en étant sur le terrain. Enfin, pour faciliter l’extraction de données de microrelief, nous avons utilisé le Lidar pour produire un raster de pente. Le principe d’un raster de pente est d’analyser la topographie des pixels un à un pour évaluer la différence entre chacun d’entre eux spatialement. La pente est mesurée comme étant le taux de variation maximal des valeurs d'une cellule par rapport à ses voisines immédiates. Le raster de pente identifie alors la « déclivité » de chaque cellule de la surface raster et permet de déterminer si un terrain étudié est plat ou pentu : Plus la valeur de la pente est faible, plus le terrain est plat ; plus la valeur de la pente est élevée, plus le terrain est pentu. L’utilisation de cette donnée permet d’extraire les accidents topographiques qui ressortent comme une surface ayant une faible pente, dans un environnement marécageux globalement homogène et plat.

Via l’utilisation des photos aériennes récentes à très haute résolution 0.5x0.5m (A), du Lidar topographique 1x1x0.1m (B) et de ce raster de pente 1x1x0.1m (C), des formes de microreliefs peuvent être extraites. Ces formes sont mises en lumière par des différences pouvant parfois considérer seulement quelques pixels, et peuvent donc avoir des étendues spatiales très fines. Témoins d’anciennes marques de réseau hydrographique naturel ou canalisé, nous les nommerons donc *« accidents topographiques »* pour regrouper les différents types de microreliefs détectés :

- Type 1 : Les paléochenaux
- Type 2 : Les anciens canaux anthropisés
- Type 3 : Les possibles marques de variation du niveau d’eau en Brière

Au total, 1430 tronçons ont été numérisés sous Qgis, dont 215 correspondants au type 1, 1017 au type 2 et 198 au type 3 (Figure 3). Ils peuvent représenter une partie du réseau hydrographique actuel qui n’a pas été numérisé par l’IGN. Ces trois couches SIG correspondent donc la continuité du réseau actuel représenté dans le ficher COURS_D_EAU. L’analyse de ces trois fichiers Shape linéaires doit alors se faire en complément de la couche SIG de l’IGN pour pouvoir appréhender le réseau hydrographique actuel et passé de la Brière dans son ensemble.

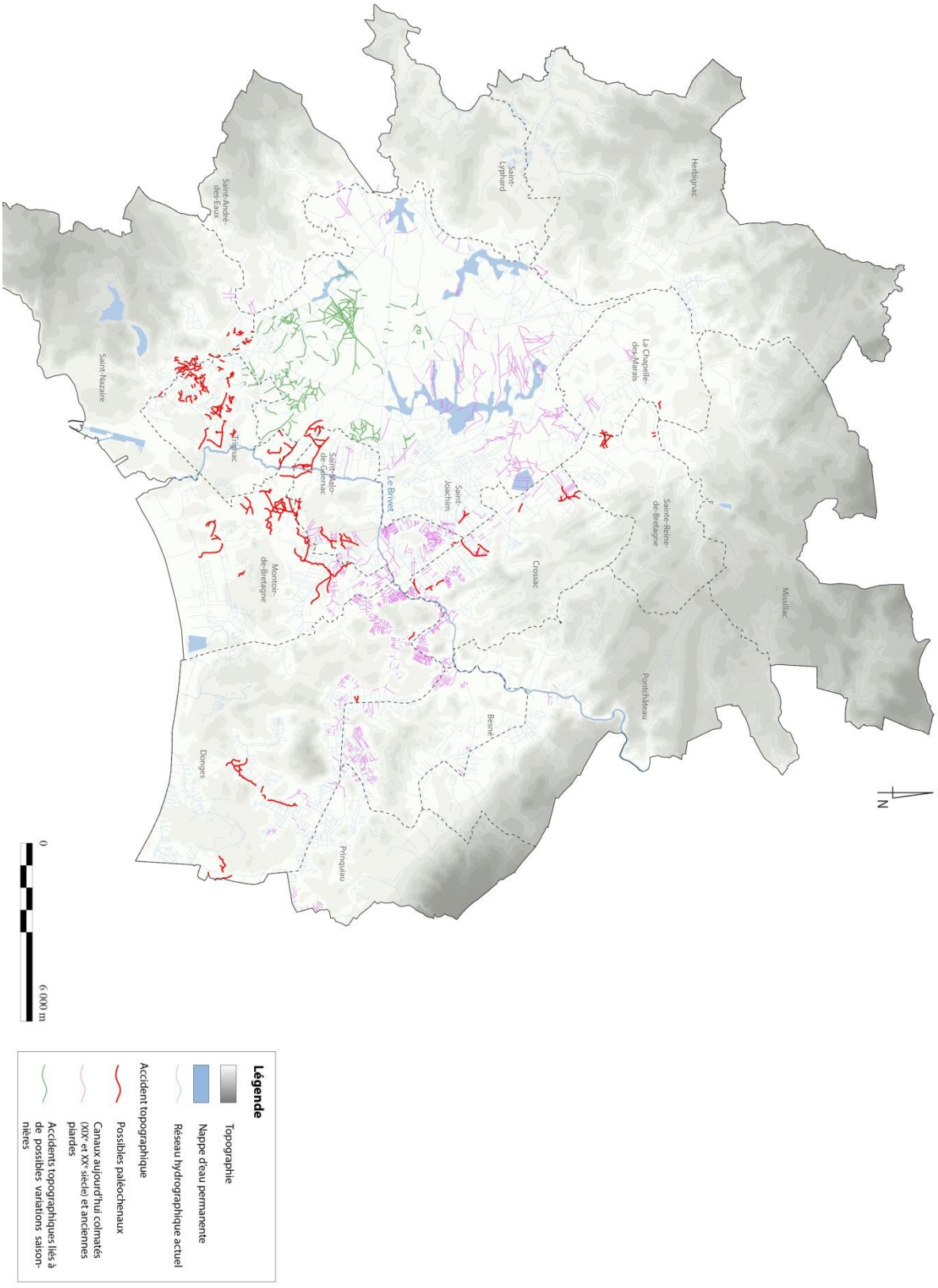


Figure 3 Localisation et interprétation des accidents topographiques identifiés par analyse de la Litto3D - Réal P. Fernandez

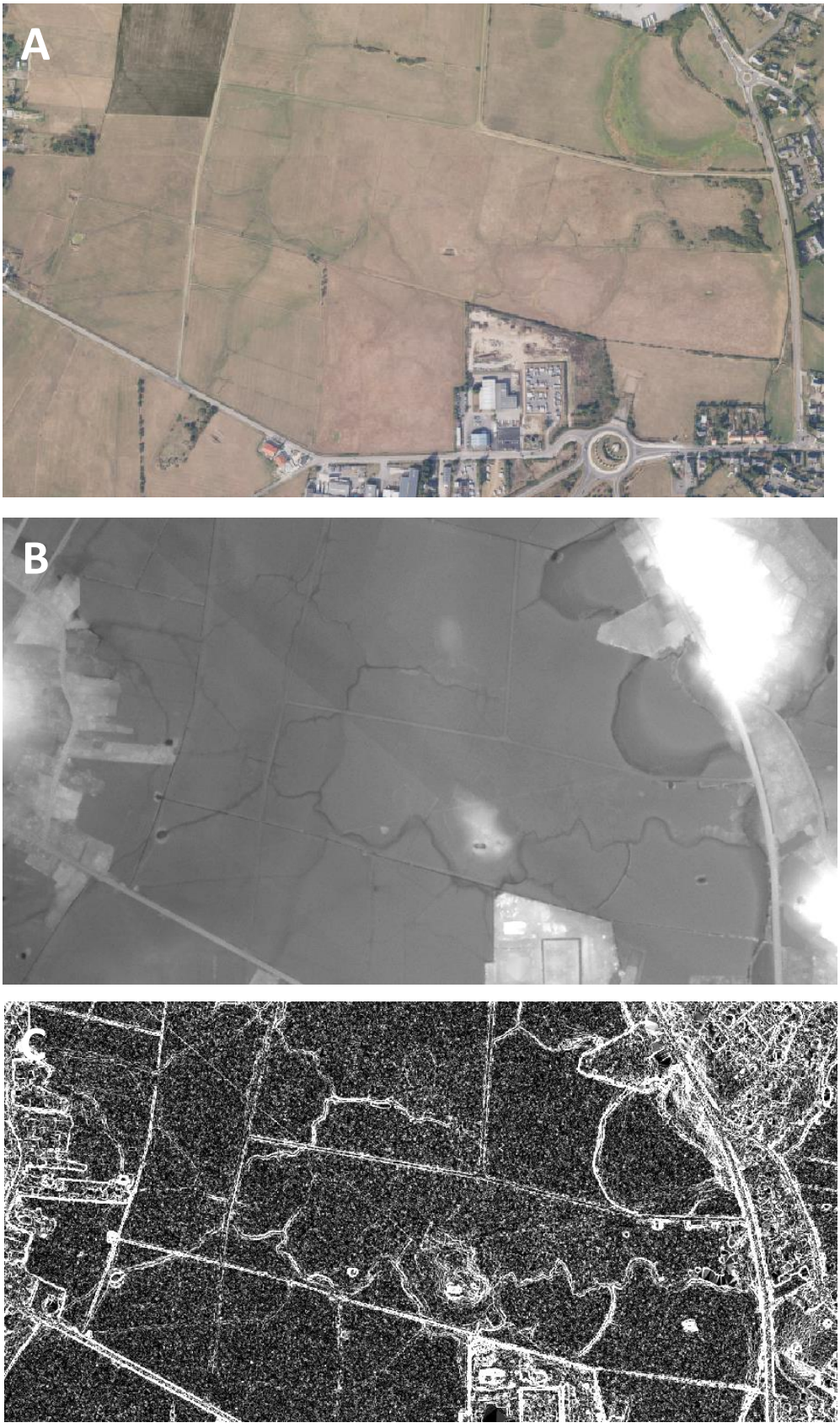


Figure 4 Exemple de Type 1 : détection d'un paléochenal. Secteur : Montoir-de-Bretagne, route de St-Malo-de-Guersac. A : BD ORTHO 2018 / B : Litto3D 2011 / C : Raster de Pente.

Figure 5 Exemple de Type 2 : détection d'un ancien réseau de canaux anthropisés. Secteur : La Guesne (Crosac), rue des Marais. A : BD ORTHO 2018 / B : Litto3D 2011 / C : Raster de Pente.

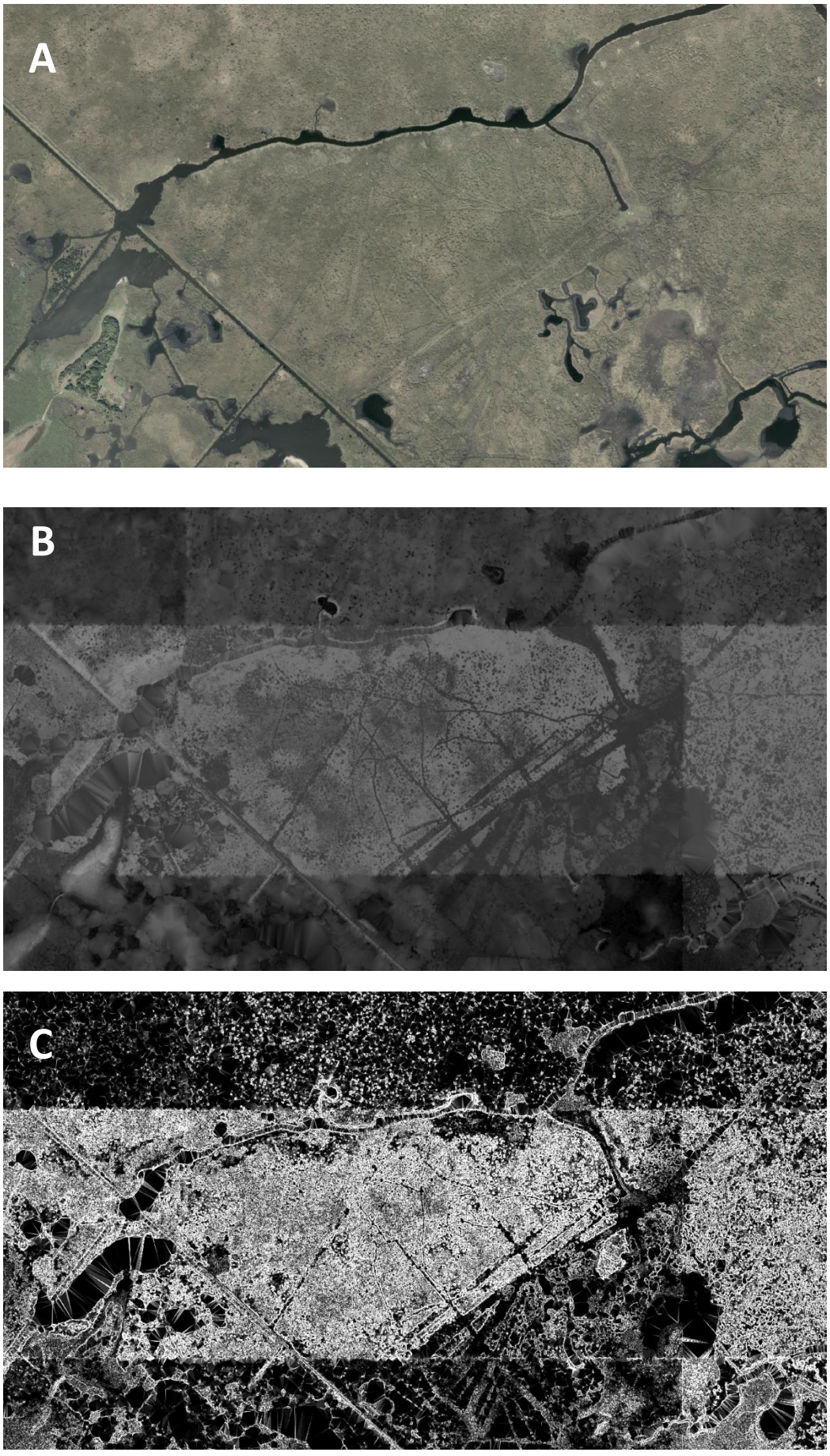


Figure 6 Exemple de Type 3 : détection de possibles traces de variation du niveau d'eau. Secteur : réserve des Grands Charreaux, près de la Curée de la Chaussée Neuve. A : BD ORTHO 2018 / B : Litto3D 2011 / C : Raster de Pente.

i. Type 1 : La forte densité de paléochenaux dans le sud du marais, témoin d'un dense réseau hydrographique passé ?

Comme nous pouvons le voir au sein de ces trois exemples, les données topographiques issues du Lidar et du raster de Pente permettent d'appréhender les éléments de microreliefs avec précision. Spatialement, on note une nette distinction entre les trois types de microreliefs extraits, avec, dans un premier temps, une forte densité de paléochenaux au sud sur le cordon vaso-silteux. On remarque nettement un tracé composé de méandres, témoignant le caractère naturel de ces anciens cours d'eau (Figure 4). Cette observation vient en parallèle de l'analyse du réseau hydrographique actuel, qui semble être bien plus dense sur la Brière orientale. En conséquence, de fortes mutations hydrographiques, et donc potentiellement paysagères, pourraient alors être survenues durant les derniers millénaires.

Pour pouvoir appréhender ces différences, une prise de recul sur la donnée étudiée est tout d'abord primordiale. Le type de sol semble avoir une influence très importante dans l'identification de ces éléments paysagers, et la présence d'un sol tourbeux régulièrement submergé ne permet très certainement pas leur identification au sein de la Grande Brière. Cependant, il est tout à fait possible que certains tracés soient préservés dans les couches sous-jacentes (et notamment au sein du niveau d'argiles marines, voir en partie suivante) de la partie méridionale de la tourbière actuelle. Par ailleurs, la forte densité de paléochenaux au sud peut témoigner d'un ancien réseau hydrographique très dynamique dans cet espace débouchant anciennement sur l'océan. Une migration des principaux cours d'eau, dont le Brivet, n'est pas à exclure durant la période de l'installation du cordon. Reprenant les conclusions de R. Kerviler, l'étude de Michelle Vieau publiée en 1982 expose d'ailleurs la localisation de l'ancien estuaire du Brivet, localisé dans les années 1880. Il était localisé à environ 1,5km à l'ouest de l'actuel, au niveau du bassin de Penhoët (Figure 7). Si le tracé du Brivet semble avoir assez largement muté depuis 150 années, les cicatrices extraites à partir des données topographiques sur le paysage actuel semblent également témoigner de très fortes mutations hydrographiques durant les derniers millénaires.

Enfin, nous pensons également que la numérisation des paléochenaux a probablement été largement sous-évaluée dans cet espace fortement anthropisé depuis 200 ans. Même si quelques fines cicatrices topographiques ont été détectées sur le tarmac de l'aéroport de Saint-Nazaire, l'explosion urbaine influence nettement leur détection. Le Lidar n'a pas exclu certains bâtiments les plus imposants, limitant l'analyse du microrelief dans cet espace fortement anthropisé. Enfin, un autre critère expliquant la sous-estimation des paléochenaux est le caractère beaucoup plus hétérogène du relief dans cet espace méridional comparé à celui de la Grande Brière tourbeuse. Nous notons une augmentation progressive des altitudes du nord-ouest vers le sud-est. La détection des accidents topographiques est alors rendue plus complexe, car chaque seuil topographique doit alors être étudié dans son ensemble pour permettre leur extraction. Si cette sous-évaluation se confirme, l'hypothèse de fortes mutations hydrographiques et paysagères au sein du marais

de Brière est alors plausible. Si de nouvelles données Lidar plus précises sont proposées dans les années à venir, cette première étude pourra donc être complétée pour pouvoir être spatialement plus exhaustive.

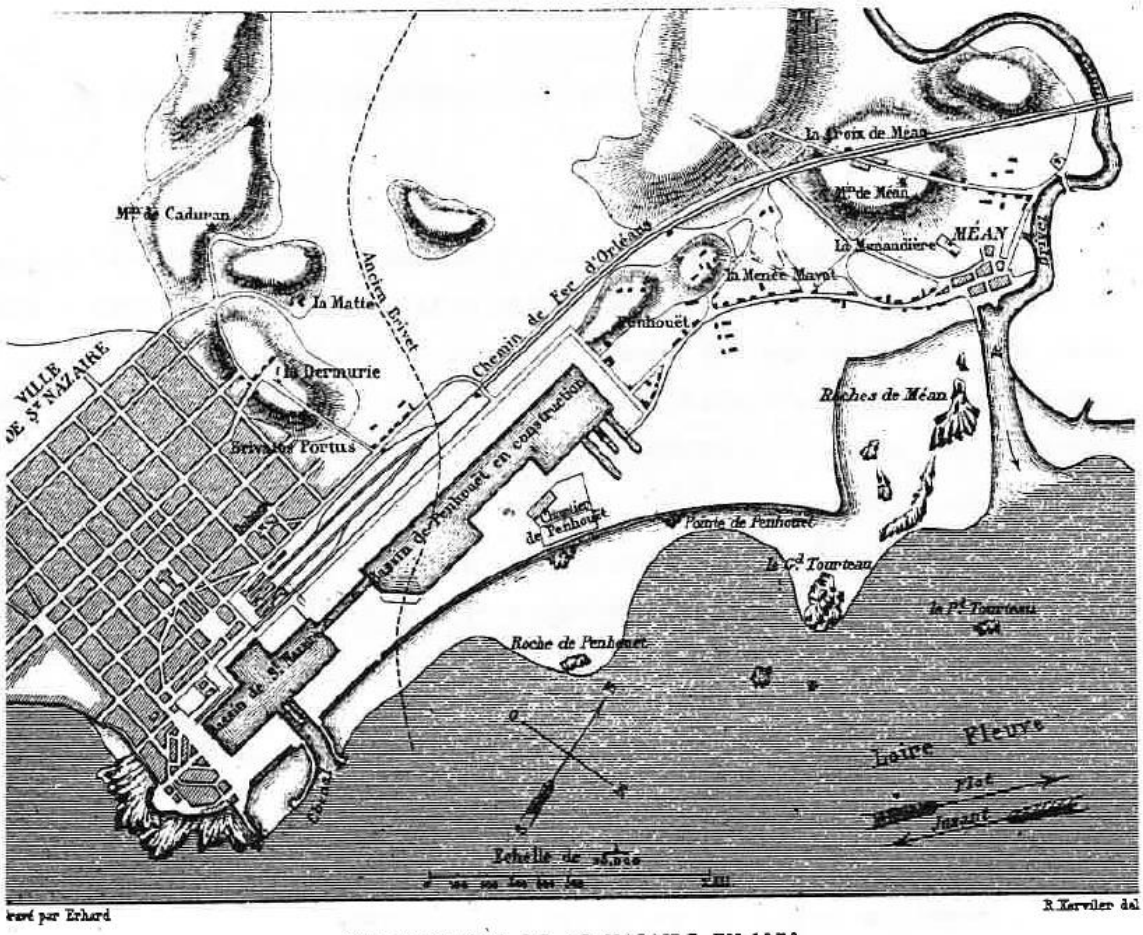


Figure 7 Localisation de l'ancien estuaire du Brivet selon M. Vieau (1982)

ii. Type 2 : Les anciens canaux de la Brière orientale

Les éléments ressortant de l'analyse des accidents topographiques à l'est du marais sont des linéaires beaucoup plus droit sans méandres (Figure 5). Les tracés semblent être très géométriques et parallèles ou perpendiculaires les uns aux autres. Ils se complètent parfaitement au réseau hydrographique déjà existant, sous forme de canaux utilisés pour l'irrigation et le drainage agricole. Selon les documents de gestion consultés, l'élevage bovin laitier domine dans cette région, expliquant la présence de canaux délimitant les parcelles et les piardes pouvant être utilisées comme abreuvoirs pour animaux. Des prairies fourragères sont également présentes dans une moindre mesure, tandis que les parcelles restantes sont laissées comme zones de marais. Le paysage est dessiné par de nombreux marais indivis. Cet ancien réseau canalisé semble parfaitement se compléter à celui existant, et donc témoigner de mutations hydrographiques bien plus récentes que celles des paléochenaux observées en Brière méridionale. De plus, les tracés semblent être, aujourd'hui comme pour les canaux passés détectés par les accidents topographiques, totalement anthropisés. Ils délimitent en majeure partie des prairies naturelles. Hormis une possible continuité récente des paysages

agricoles de la Brière orientale, cette analyse ne semble pas offrir de riches informations sur l'évolution paysagère ancienne des marais de Brière. Cependant, nous notons qu'autour des îles de Fédrun et d'Errand et des secteurs de la Criaudière des Vignes, de Prinquiau, de la Haie Ferrière, ces tracés semblent liés à ceux numérisés par Pierre Fernandez représentant l'hydrographie issue du cadastre napoléonien. Des liens peuvent donc être réalisés avec l'évolution récente du réseau hydrographique du début du XIXe siècle. D'autres liens sont possibles pour les périodes plus anciennes dans les espaces où ces tracés ne croisent pas ceux du cadastre napoléonien.

Enfin, certains linéaires plus longs et moins droits sont également numérisés au nord de la Grande Brière tourbeuse (à proximité du canal du Nord). Il y a ici une incertitude sur l'interprétation de ces tracés, qui peuvent également être influencés par le passage récent d'engins agricoles. Cependant, ils semblent tout de même relier le réseau hydrographique existant à de nombreuses piardes et plans d'eau. Nous pensons qu'il s'agit tout de même d'un ancien réseau de canaux plus anarchiques présent en Brière septentrionale. Si cette hypothèse est confirmée, elle pourrait témoigner d'une possible évolution récente de pratiques agricoles, mettant ainsi en lumière une évolution importante de la géométrie et de la superficie des parcelles sur le territoire Briéron. Il est également important de noter que la mauvaise qualité du Lidar dans certains secteurs de la Grande Brière tourbeuse peut également produire une sous-estimation de ces tracés.

iii. Type 3 : Une interprétation complexe des accidents topographiques du cœur de la tourbière.

Un dernier type d'accidents topographiques est détecté en plein cœur de la Grande Brière, représenté par des linéaires très hétérogènes : larges ou étroits, courts ou longs, parfois réguliers ou formant des méandres (Figure 6). En conséquence, l'interprétation de ces accidents topographiques est la plus complexe. Un réseau très connecté semble être dessiné près de la réserve des Grands Charreaux. Plusieurs hypothèses peuvent être proposées. Dû à la faible qualité du Lidar en Grande Brière, cela pourrait être un impact du couvert végétal et herbacé sur le marais, formant ces tracés extraits sur certains espaces non végétalisés. Nous pensons qu'il pourrait aussi s'agir de traces impulsées par les passages de barques ou de bateaux juste avant le relevé du Lidar, pouvant alors impliquer une remobilisation temporaire de sédiments et de la végétation de zone humide.

Cependant, due à la localisation de ces marques en plein cœur de la tourbière régulièrement submergée, l'hypothèse privilégiée serait un impact de la variation des niveaux d'eau sur le Lidar. Nous remarquons une très nette différence de niveau d'eau dans le secteur des Grands Charreaux, entre des données prises à peu de différence temporelles, sur des sites ressources tels que Google Maps et IGN Remonter le temps. La Figure 8 illustre ces propos,

présentant la photographie aérienne actuelle (A) et la dernière photographie aérienne la plus récente prise dans ce secteur, probablement en 2012 (B). Nous pensons donc, sans aucune certitude, que ces accidents topographiques témoignent de la variation saisonnière, annuelle voir pluriannuelle du niveau d'eau au sein de la tourbière briéronne. Pour cette hypothèse, nous mettons également en garde le lecteur face à la qualité très hétérogène du lidar au sein de la Brière tourbeuse, qui rend l'interprétation de ces informations spatialisées très complexes. Par ailleurs, due à cette limite, ces tracés seraient eux aussi probablement sous-évalués quantitativement.

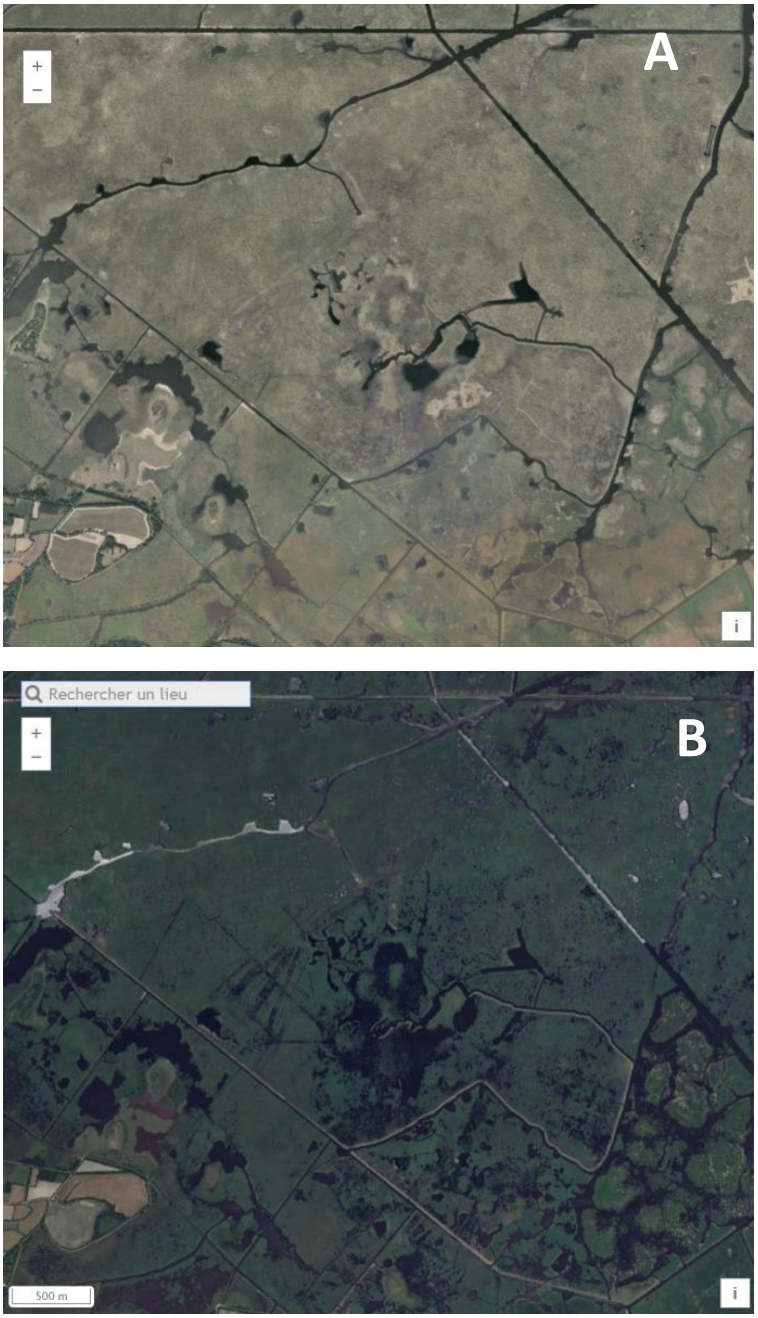


Figure 8 Comparaison de photo aérienne actuelle (A) et récente (2012, B) dans le secteur de la réserve des Grands Charreaux

C. L'analyse des données sédimentologiques

1. Contexte de l'étude sédimentologique et données disponibles

L'étude sédimentologique est au cœur de l'analyse géomorphologique de la Brière. Elle permet de reconstruire l'évolution du marais et de ses paysages depuis des millénaires. Cette étude vise à réaliser une synthèse bibliographique des travaux existants. Chaque sondage ou profil sédimentologique relevé en bibliographie a été référencé au sein d'un SIG (Figure 10) pour pouvoir appréhender spatialement l'évolution du marais. Cela permet également de croiser topographie et sédimentologie (voir section D). La cartographie présentée en page suivante synthétise ces différentes données. Pour comprendre le contexte de cette étude et avoir du recul sur l'ensemble des éléments relevés en bibliographie, nous présentons tout d'abord les principales sources relevées qui ont servi à produire cette synthèse.

a. Les premiers travaux de R. Kerviler, d'A. Vince et de la société Béarnaise

À la fin du XIX^{e} siècle, R. Kerviler est l'un des premiers ingénieurs à avoir réalisé des sondages sédimentologiques repris par les études scientifiques récentes. Il a notamment réalisé une coupe stratigraphique du bassin de Penhoët reprise par l'étude archéologique de M. Vieau publiée en 1982. Cette représentation reprise par M. Vieau dans un contexte archéologique et est malheureusement trop complexe à analyser pour pouvoir être réutilisée. Les premières études faisant office de référence pour l'analyse sédimentologique du marais ont été réalisées dans les années 1950. Il s'agit tout d'abord des écrits de l'Abbé Augustin Vince, grand érudit local selon Dominique Sellier, connaissant parfaitement son territoire. Ses travaux ont été publiés au sein de son livre *« Notre Brière »* datant de 1959. Quelques sondages précis ont pu être relevés, notamment à proximité de mortas, présentant avec un certain détail la sédimentologie fine du marais. P. Fernandez a notamment repris sa coupe principale présentée en P.33, illustrant la succession des niveaux stratigraphiques (Figure 9). L'Abbé Vince offre également de nombreux détails très riches sur l'évolution du paysage Briéron dans ces écrits tout au long des chapitres de son ouvrage.

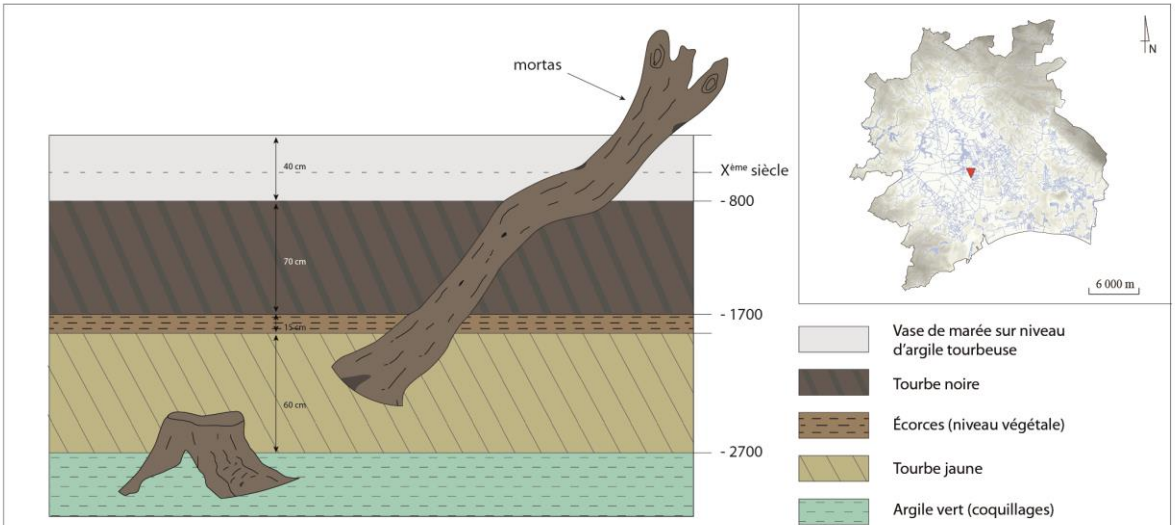


Figure 9 Coupe verticale dans le marais de Rozé par l'abbé A. Vince durant les années 1950, d'après Vince (1959). DAO Fernandez P.

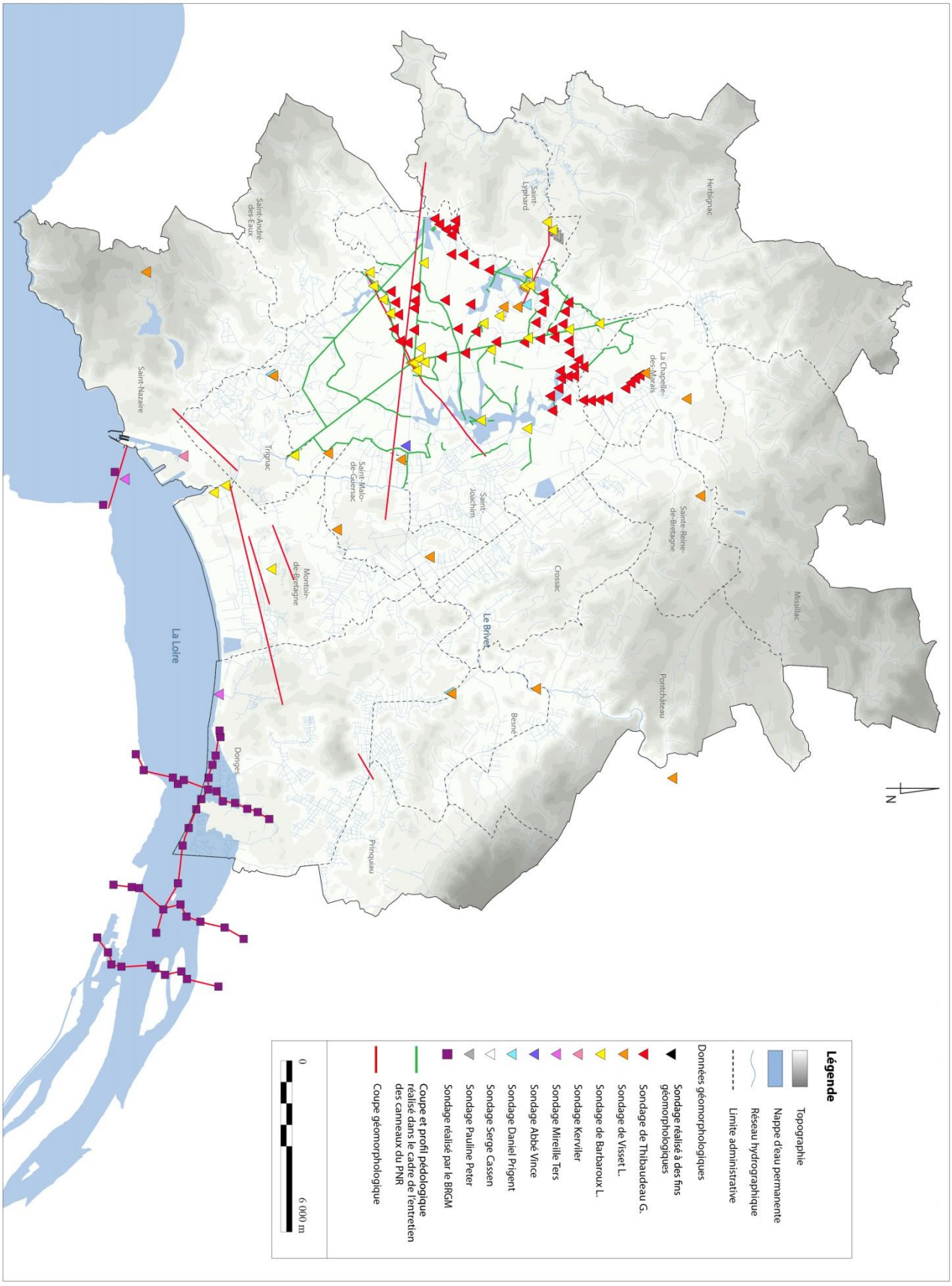


Figure 10 Localisation des données géomorphologiques disponibles - Réal. Fernandez P.

Le premier grand profil sédimentologique réalisé en Brière est le fruit des travaux de la Société Béarnaise en 1955 (coupe reprise par P. Fernandez présentée en Figure 11, p.18). Cette coupe résulte du couplage de dix-huit sondages réalisés d'est en ouest entre La Chaussée Neuve (Saint-André-des-Eaux) et l'Île de Pendille (Saint-Joachim). La stratigraphie est présentée avec de nombreux détails, notamment sur leur profondeur. Elle permet une première reconstruction fine de la succession des niveaux de sédiments sur un transect long de neuf kilomètres en plein cœur de la Grande-Brière tourbeuse. Ce profil, mentionné dans la plupart des études scientifiques paléoenvironnementales du marais de Brière, a ensuite servi de référence pour l'ensemble des études qui ont été menées durant les décennies suivantes.

b. La richesse des études scientifiques menées des années 1970 à 1990

À partir des années 1970, de nombreuses études scientifiques ont été réalisées par des universitaires pour tenter de mieux comprendre l'environnement passé du marais. La première étude est publiée par Mireille Ters en 1968, elle vise à appréhender l'évolution de la basse vallée de la Loire et des sondages sédimentologiques très précis sont réalisés vers Montoir-de-Bretagne. Viennent ensuite les études de Daniel Pringent, Lucien Barbaroux et de Gabriel Bellancourt dans les années 1970. Si G. Bellancourt s'appuie déjà sur les sondages préexistants n'en réalisant pas de nouveaux, D. Pringent et L. Barbaroux offrent de nouveaux relevés, le premier sous forme de tranchées très simplifiées pour des relevés archéologiques, tandis que le second étudie finalement la sédimentologie du marais par plus de vingt nouveaux sondages.

D. Pringent a ensuite initié la grande série de relevés réalisés par Lionel Visset entre la fin des années 1970 et le début des années 1990. Une grande reconstruction palynologie a été réalisée par L. Visset à partir d'une vingtaine de carottes réalisées dans l'ensemble du marais. La première étude paléoenvironnementale de la Brière à l'échelle entière du marais est réalisée. Il reprend globalement les conclusions sur la structure stratigraphique analysée par autres études, et principalement la coupe de la société Béarnaise, et y ajoute une dense analyse palynologique. Par l'évolution de la végétation du marais, il relie les différentes phases d'évolution climatique avec les grandes phases sédimentologiques, et donc paysagères de la Brière, synthétisées dans son ouvrage *« 8 000 ans en Brière »*. Analysant la palynologie, et donc l'évolution de la végétation de cet espace, les conclusions tirées par L. Visset sur les causes de l'évolution successive du paysage briéron sont majoritairement liées à l'évolution climatique. La succession de phases froides et chaudes implique des périodes plus ou moins sèches ou humides, mais également une variation eustatique entre phases de transgressions et régressions marines. De nouvelles perspectives sur les causes de l'évolution du paysage briéron sont aujourd'hui discutées, notamment par les récents travaux de R. Arthuis. Cette discussion est d'autant plus légitime que par son excellente étude très riche menée en Brière, L. Visset explique les causes de l'évolution du paysage sans considérer les possibles influences des milieux périphériques au marais. Ayant contribué

pendant de très longues années à la reconstruction de sa stratigraphie, l'apport d'études de la partie aval de la Loire (également initiée par M. Ters durant les mêmes périodes) n'était à l'époque pas aussi détaillée qu'aujourd'hui. Il était alors très complexe d'appréhender les possibles liens entre ces différents ensembles, contraignant L. Visset à expliquer ces évolutions majoritairement par des causes climatiques et eustatiques. Enfin, l'ouvrage de L. Visset est également l'une des seules références aujourd'hui d'évolution du paysage Briéron, à laquelle nous pouvons ajouter l'ouvrage d'A. Vince, néanmoins moins repris dans les études récentes. L. Visset semble d'ailleurs être le seul à avoir réalisé des datations isotopiques (au radiocarbone) en Brière à notre connaissance. Son étude sert de donc de référence temporelle, fixant à elle seule les datations de l'ensemble de son paléoenvironnement.

Enfin, une autre étude a été menée par Gilles Thibaudault (Union des Syndicats des Marais du bassin du Brivet) durant les années 1970. Ses 60 sondages ont pour objectif une analyse du sol briéron par l'intermédiaire d'une perche graduée par une sonde IDR. Les sols sont identifiés selon la différence de résistance à l'enfoncement selon le triptyque vases - tourbes – argiles. La marge d'erreur est évaluée à 10cm. L'analyse stratigraphique est donc très imprécise, et repose sur un triptyque de couches sédimentologiques établi en amont. Elle ne permet donc pas la distinction d'autres types de sédiments. La localisation précise des carottes, ainsi que leur stratigraphie générale y est représentée. Les sondages de G. Thibaudault peuvent être liés à une dense étude de relevés pédologiques disponibles dans les archives du PNR. Une centaine de coupes simplifiées est disponible dans les archives du parc, quadrillant l'ensemble de la grande Brière tourbeuse, principalement le long des canaux. Ces coupes ont été réalisées à la main à partir d'un très grand nombre de relevés stratigraphiques. Cette analyse a notamment permis la production d'une carte pédologique distinguant les principaux grands ensembles structurant le typique vase – tourbes – argiles (Figure 12). Cette carte a été réalisée par la Société d'Études Techniques (S.E.T.) Praud en 1982. Après analyse de la synthèse bibliographique sédimentologique, nous pouvons lier les couches argileuses avec le niveau d'argiles marines TST2, les tourbes avec le niveau tourbeux HST2 (a et b) et les vases avec le niveau « contemporain » de vases d'inondations/de marées HST3 (étant les sols hydromorphes moyennement organiques de la Brière méridionale). L'ensemble des différents relevés sédimentologiques (L. Barbaroux, L. Visset et G. G. Thibaudault) a été détaillé au sein d'un rapport écrit par G. Thibaudault en 1978, disponible au PNR de Brière.

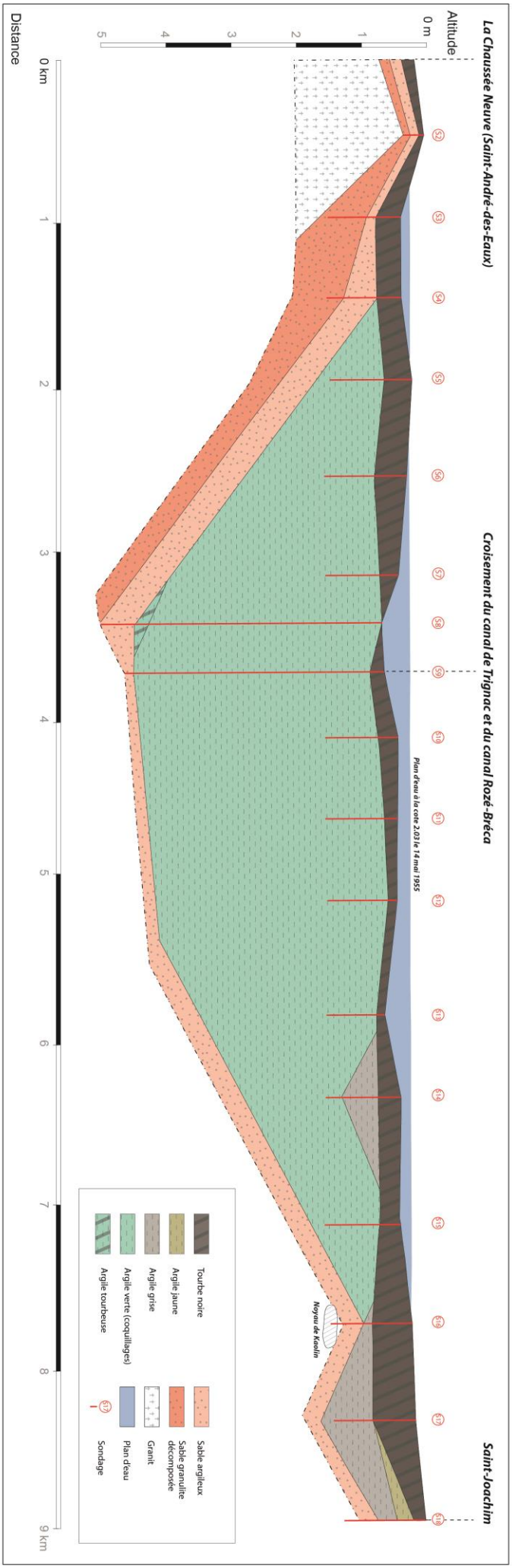


Figure 11 Coupe transversale de la Grande Brière réalisée en 1955 par la société Béarnaise P.R.E.P.P. DAO Fernandez P.

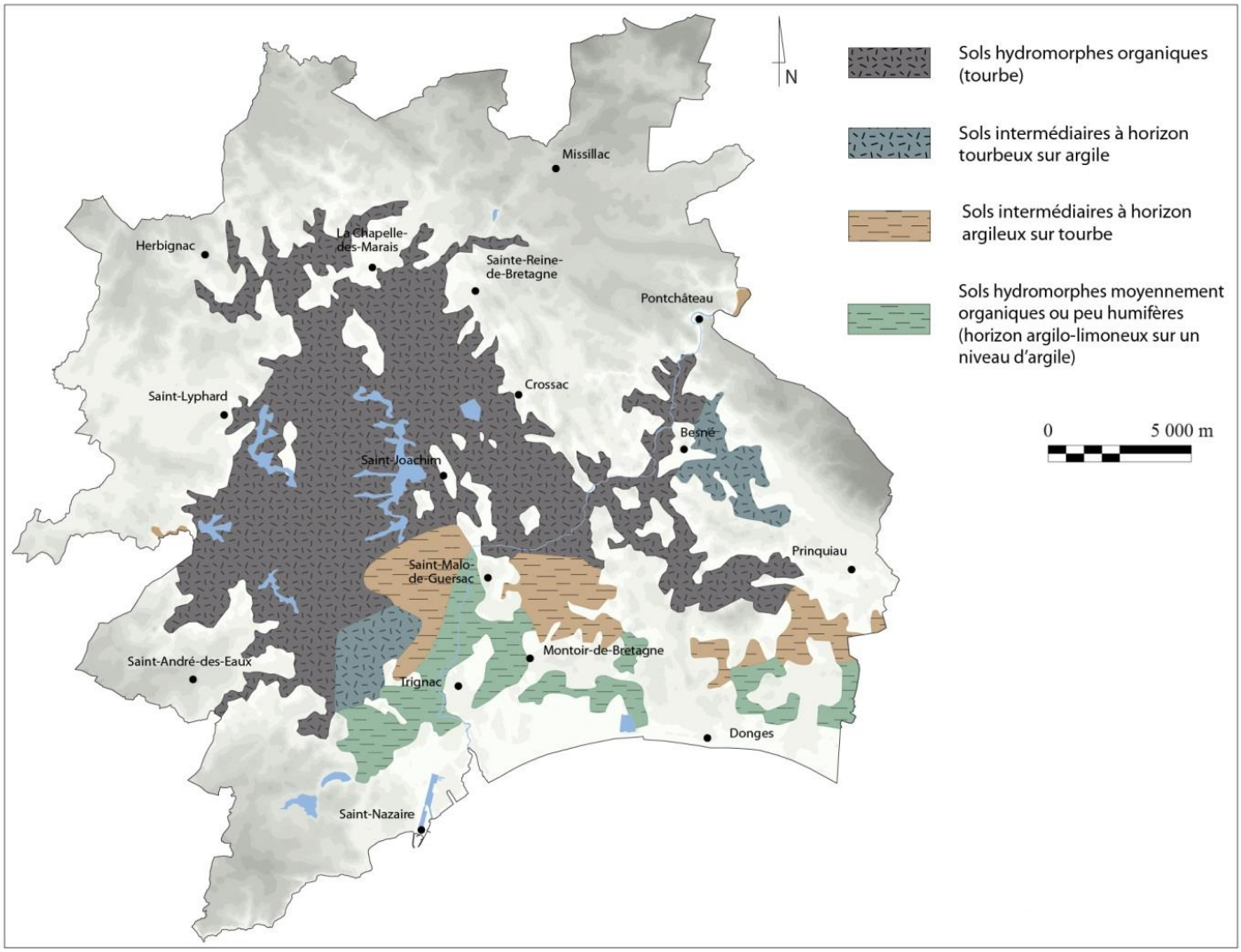


Figure 12 Zonages pédologiques de la Brière et ses abords, d'après la S.E.T. Praud, 1982 - Réal Fernandez P.

c. Travaux récents : entre patrimonialisation et archéologie.

Depuis le début des années 2000, de nouvelles études sur le paysage du marais de Brière ont vu le jour, principalement réalisées par Claire Portale et D. Sellier. Cependant, ces études sont principalement portées sur sa patrimonialisation (C. Portale), ou sa géologie générale (D. Sellier) et reprennent en grande partie les conclusions des travaux réalisés par L. Visset pour l'analyse sédimentologique. Depuis les années 1980, aucun nouveau sondage sédimentologique n'a donc été réalisé en Brière. Les analyses actuelles s'appuient sur des études se référant à L. Visset, lui-même qui semble avoir été fortement influencé par les travaux de la Société Béarnaise des années 1950. De par le très riche potentiel archéologique de la Brière, quelques études récentes liées aux projets archéologiques menés émergent (notamment menés par Serge Cassen, Pauline Peter et R. Arthuis) depuis le début du XIXe siècle. Cependant, les sondages restent ponctuels et sont principalement liés à certains sites sur lesquels est implanté, ou a été découvert un vestige important. Peu d'études globales sont réalisées à l'échelle entière du marais. Cependant, les travaux récents de R. Arthuis sur l'évolution de l'estuaire de la Loire sont établis à une large échelle spatiale. Ils pourront apporter de nouveaux éclairages intéressants sur l'évolution du marais de la Brière, principalement liée à l'évolution du fleuve durant les derniers millénaires.

d. Les données issues du BRGM

Quantitativement, l'une des sources principales de données existantes est peut-être retrouvée dans la base de données Infoterre du BRGM, disponible au lien suivant https://infoterre.brgm.fr/ . Le BRGM met à disposition des informations sur les 2784 sondages réalisés en Brière (Figure 13 en page suivante réalisée par P. Fernandez). 2369 d'entre eux sont accompagnés d'un log, permettant la distinction des niveaux sédimentologiques. Figurent notamment au sein de cette base de données les sondages de la société Béarnaise, ayant contribué à la création du profil en lien avec ces 18 sondages (représenté par le linéaire de relevés présent au centre de la Grande Brière).

Bien que ces sondages soient une très riche banque d'information pour étudier la géologie et la sédimentologie du marais, la donnée est qualitativement et spatialement extrêmement hétérogène. Nous remarquons tout d'abord qu'ils sont principalement situés sur la partie méridionale du marais, les relevés effectués étant certainement liés aux projets d'implantations d'activités industrielles au niveau de l'aérodrome et de la raffinerie. La tourbière est très largement sous-représentée, et ce sont dans l'ensemble les espaces anthropisés qui ont privilégiés. Par ailleurs, ces données sont le fruit de plusieurs dizaines d'années de prélèvements, réalisés par de nombreux techniciens pouvant avoir des méthodes de prélèvements et d'analyse totalement distinctes. La qualité des logs, lorsqu'ils sont présents, est extrêmement hétérogène et certaines données sont très imprécises. Enfin, aucune information sur les méthodes employées n'est parfois mentionnée en métadonnées pour de nombreux relevés. Nous avons donc choisi de ne pas traiter ces informations dans la synthèse bibliographique. Cependant, de par la très grande densité de prélèvements disponibles, ces carottes ont été réutilisées pour la réalisation des profils géologiques (section D de ce rapport).

Une cinquantaine de ces carottes ont été reprises pour réaliser cinq profils géologiques en périphérie du marais, publiés en 2006 au sein du rapport du BRGM *« Géométrie des formations géologiques de l'estuaire de la Loire Rapport final phase 1 ».* Ces carottes et profils présentent de nombreux détails intéressants sur la stratigraphie de la Loire. Nous les avons donc conservées pour pouvoir analyser l'évolution des paysages briérons depuis des millénaires au sein de la synthèse, présentée en section suivante.

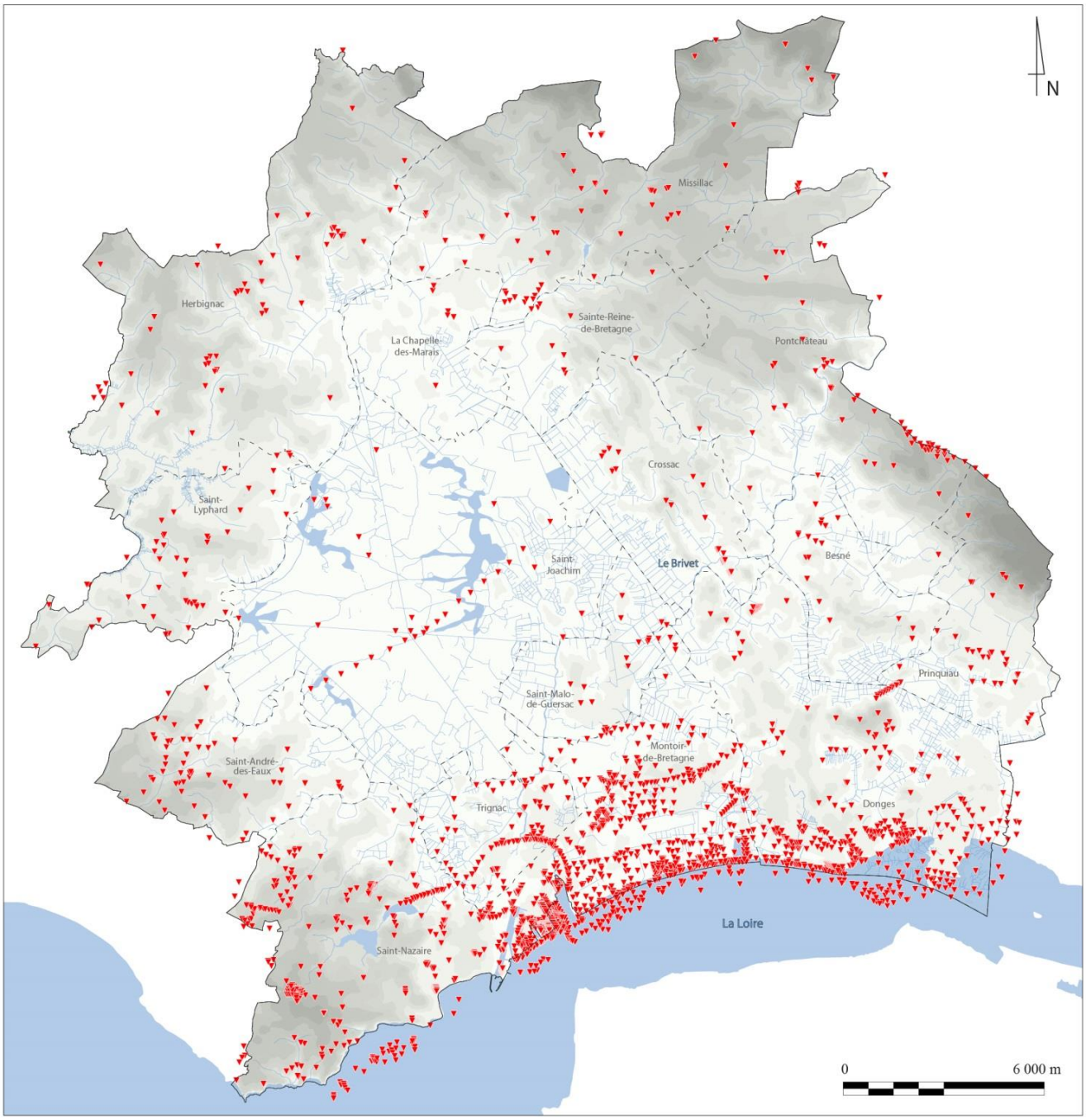


Figure 13 Localisation des sondages géotechniques issus de la banque du BRGM, d'après la base de données InfoTerre. Réal Fernandez P.

Pour présenter l'ensemble des sources primaires utilisées dans la synthèse sédimentologique, un tableau récapitulatif (Table 1) présente en page suivante ces données utilisées. La source, le type et la qualité des enregistrements sédimentologique y sont indiqués, tout comme la présence ou absence de datations. Quelques commentaires succincts présentent les principales limites liées aux données sélectionnées. Ce tableau pourra être complété par les prochaines études géomorphologiques menées en Brière dans les années à venir. Bien que les principales études menées aient été reprises, ce tableau récapitule deux mois de recherches sur la géomorphologie du marais de Brière et n'est certainement pas exhaustif.

Table 1. Récapitulatif des principales sources de sondages disponibles. Réal Pouzet P.

(Précisions : H = Haute, M = Moyenne, F = Faible / Datations : O = Oui, N = Non)

Ref (s).	Source (s)	Type	Précision			Dat.	Commentaires et Principales Limites
			X/Y/Z	Prof.	Séd.		
G. Thibaudault (Années 1970)	Archives PNR	Pédo.	H	M	F	N	Sondages à la tarière peu précis arrêtés à 1m20.
L. Visset (Années 1980/90)	Articles Sci. / Livre / Archives PNR	Séd.	H	H	H	O	Seule source comprenant des datations C14, dont certaines étant peu précises. Localisation et détails sédimentologiques parfois imprécis dans les articles, se référer aux archives PNR pour plus de détails.
L. Barbaroux (Années 1970)	Articles Sci. / Archives PNR	Séd.	H	M	H	N	Échelle des profondeurs parfois peu précises, mais données détaillées dans l'ensemble.
R. Kerviler (Fin XIX^{e}) (présenté dans M. Vieau, 1982)	Livre	Archéo.	F	H	F	N	Représentations très simplifiées et complexes à analyser.
M. Ters (1968)	Articles Sci.	Séd.	M	H	H	N	Données très détaillées, localisation parfois peu précise.
Abbé A. Vince (Années 1950)	Livre	Séd.	M	M	M	N	Représentations schématiques, mais assez précises de quelques sondages.
D. Prigent (Années 1970)	Articles Sci. / Mémoire / Thèse	Séd. / Géol.	F	F	F	N	Représentations sous forme de coupes simplifiées et parfois peu lisibles de la sédimentologie.
S. Cassen (2001)	Articles Sci.	Archéo. / Géol.	M	F	F	N	Coupes schématiques réalisées pour une étude archéologique, peu de détails sédimentologiques.
P. Peter (2019)	Rapport Archéo.	Archéo. / Géol.	H	M	H	N	Coupes schématiques réalisées pour une étude archéologique, de nombreux détails précis et intéressants sur la sédimentologie.
Rapport Loire 2006	BRGM	Séd. / Géol.	H	M	H	N	Sondages réalisés pour l'établissement de coupes (cf. Carte).
Infoterre (En continu)	BRGM	Séd. / Géol.	H	M	M (F, M ou H)	N	Très grande richesse quantitative, des milliers de sondages réalisés, mais malheureusement très peu dans la Grande Brière. Qualitativement, les détails des couches sédimentologiques sont très hétérogènes selon les techniciens, les données sont parfois très lacunaires pour certains sondages, et donc complexes à lier entre elles et avec les autres sources de données.
Scé. Béarnaise (1955)	BRGM	Séd. / Géol	H	H	M	N	Également extraite d'Infoterre, cette coupe réalisée à partir de 18 sondages a influencé la plupart des travaux réalisés à partir des années 1960 en Brière.

2. Synthèse bibliographique de l'évolution du marais de Brière

a. Préambule : Géologie générale de la région briéronne

Selon les travaux menés par D. Sellier (synthétisés par P. Fernandez en Figure 14), le marais de Brière est une dépression située dans une série de blocs basculés du nord-ouest de la Loire-Atlantique. Le marais, localisé sur le Bloc de Guérande, se trouve dans une zone d'effondrement entre le sillon de Bretagne (91 m NGF) et le Coteau de Guérande (61 m NGF). C'est une ancienne cuvette débouchant sur l'océan durant la dernière ère glaciaire Würm (Figure 15). Quelques buttes sont présentes à l'est, témoins du relief incisé par deux vallées principales : celles du Brivet de son affluent de rive droite nommée *« La Chauvelière »* par R. Arthuis. Son socle est composé de granites, gneiss et micaschistes selon les sondages du BRGM. Il est séparé des Marais de Guérande par un massif de leucogranite (Coteau de Guérande) sur lequel s'est formée la « butte » Sandun.

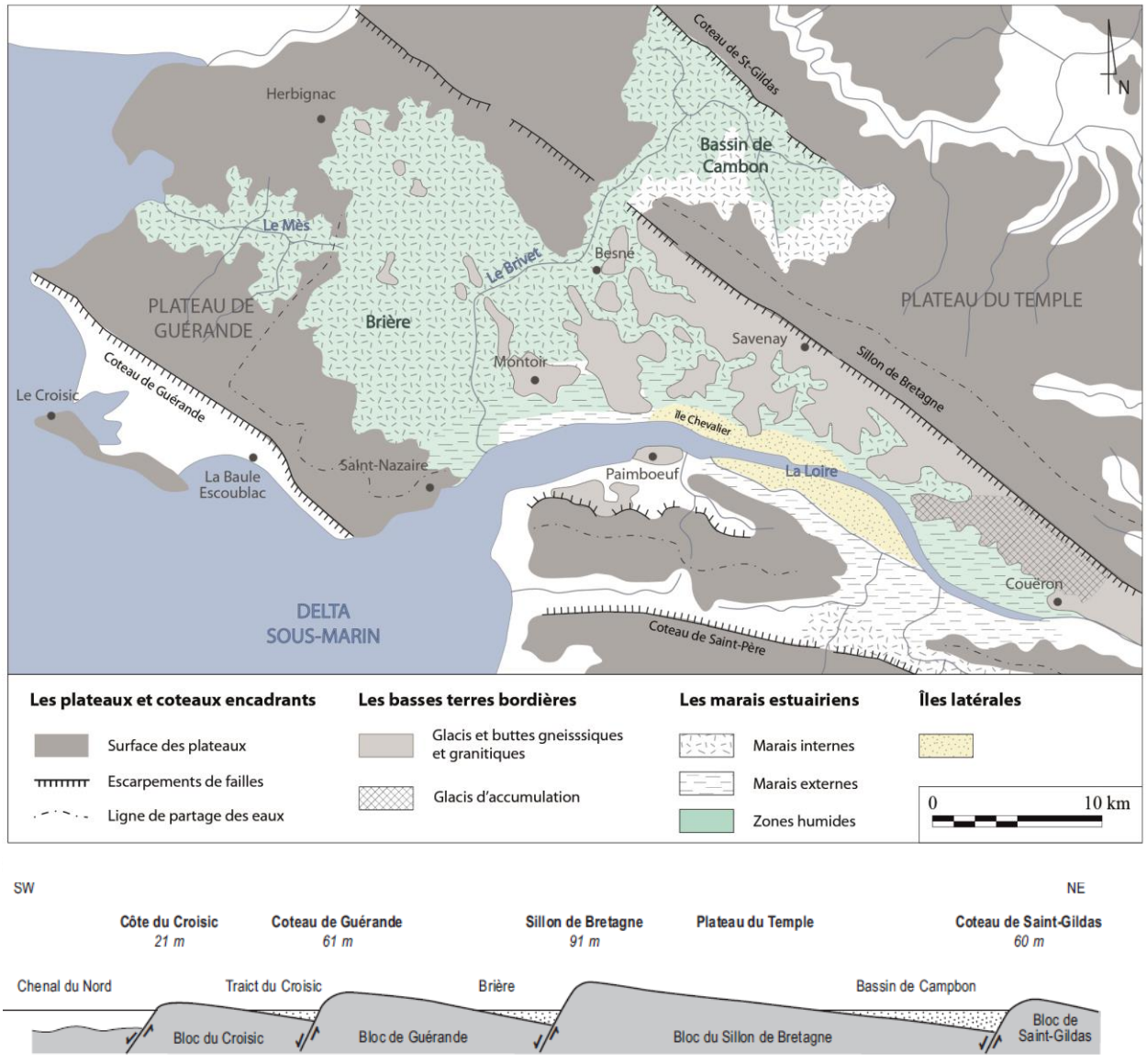


Figure 14 Schéma géomorphologique de l'estuaire de la Loire, d'après D. Sellier (2012) et C. Portale et D. Sellier (2013). Réal cartographique Fernandez P, transect issue des travaux d'origine.

b. Le comblement sédimentologique du marais

La très grande partie des sources scientifiques disponibles s'accordent sur une évolution sédimentologique commune. Dans un premier temps, les travaux successifs de René Kerviler, de l'abbé Vince, D. Prigent, L. Barbaroux, G. Bellancourt, ont été complétés et repris par L. Visset qui a synthétisé l'évolution du marais dans son livre *« 8 000 ans en Brière »*. D. Sellier a plus récemment approfondi le contexte géologique de cet espace, tandis que C. Portale a travaillé sur la patrimonialisation des grands marais atlantiques. Tous les auteurs récents reprennent la synthèse réalisée par L. Visset, établie à partir des travaux antérieurs et de ses nouvelles carottes ayant contribué à une analyse pollinique précise, ainsi que quelques datations radiocarbone. L'évolution du marais est établie sur de grandes phases, définie par plusieurs périodes dont les « bornes » sont définies par les datations de L. Visset. Il va de soi que ces grands changements ne se sont pas établis brutalement, mais qu'elles sont le résultat de lentes mutations géophysiques.

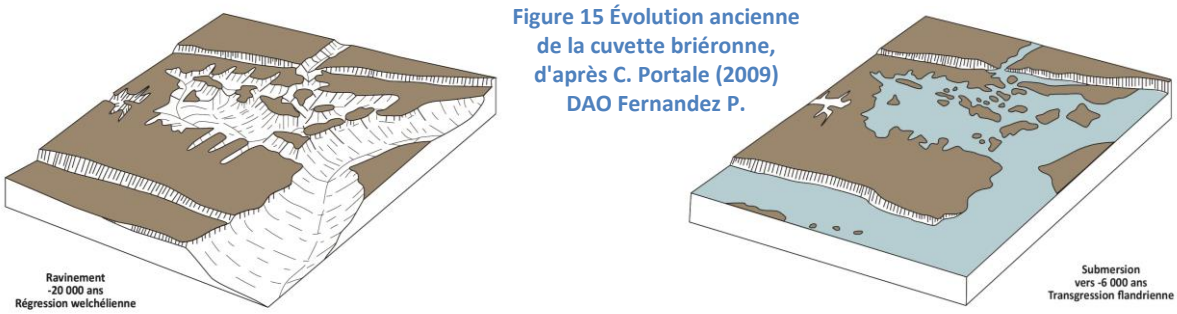
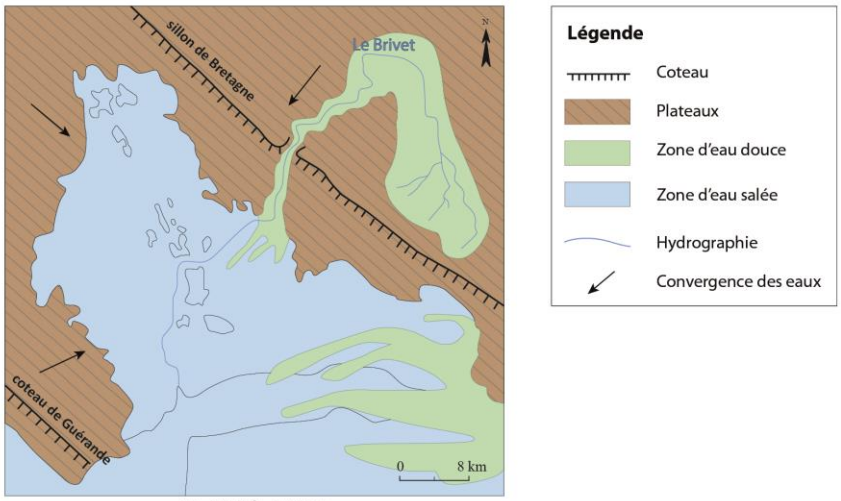
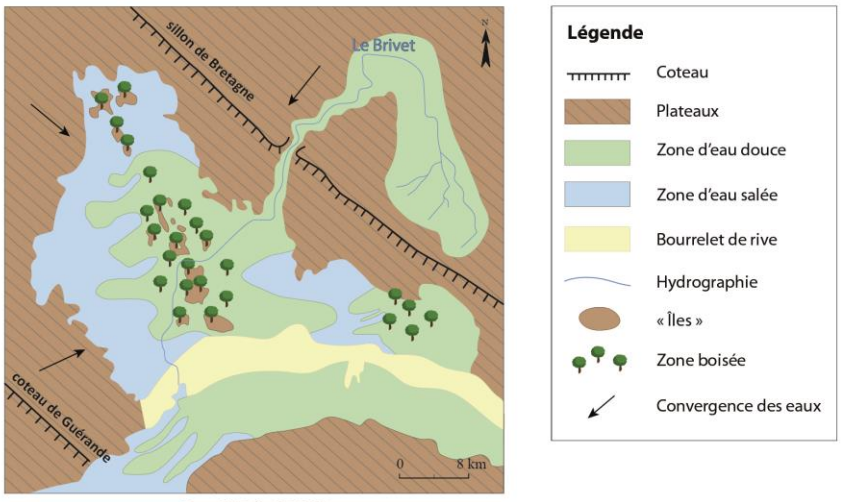


Figure 15 Évolution ancienne de la cuvette briéronne, d'après C. Portale (2009) DAO Fernandez P.

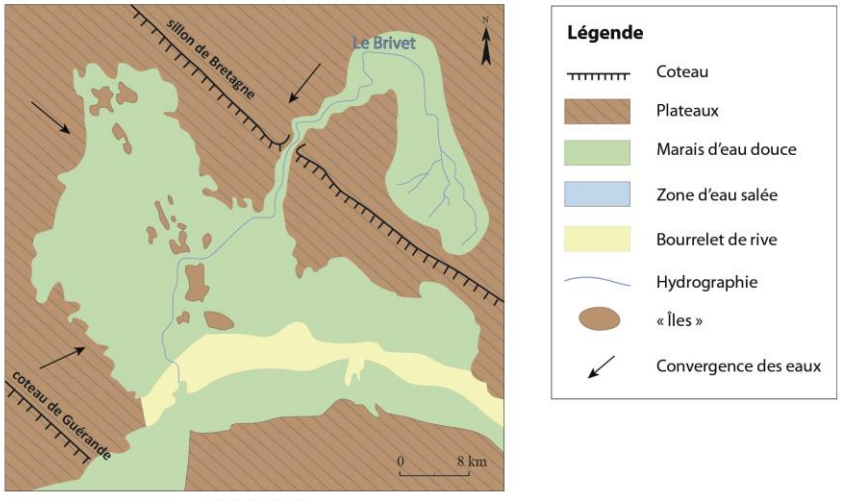
Quatre grandes phases sédimentologiques se succèdent selon l'ensemble de ces auteurs : i) 8000 – 4500 BP *(env. 6050 – 2550 BC)* : la sédimentation transgressive à forte influence marine, 4700 – 4000 BP *(env. 2550 – 2050 BC)* : la fermeture du marais par le sud, 4000 – 3700 *(env. 2050 – 1750 BC)* : l'initiation du processus de tourbification (en deux temps) et depuis 2500 BP *(env. 550 BC)* : la situation actuelle avec une dichotomie nord/sud. Ces quatre grandes phases, illustrées par P. Fernandez en page suivante à partir de la synthèse de C. Portale, ont été détaillées au sein de la prochaine section (Figure 16). Ces phases ont été datées par L. Visset. Les dates BP correspondantes au début et à la fin des phases ne représentent pas des changements brutaux, mais des processus longs et évolutifs. Il est donc primordial de ne pas oublier de considérer les plusieurs dizaines, voire centaines d'années de transition entre ces différentes périodes. Étant donné ce caractère transitif, les bornes de ces différentes phases peuvent légèrement différer selon les sources de données reprenant et réanalysant les conclusions de L. Visset. Les causes de ces mutations, majoritairement expliquées par L. Visset, semblent être issues de paramètres climatologiques influençant l'hydrologie et le niveau marin régional. Cependant, R. Arthuis a récemment travaillé sur l'évolution de l'estuaire de la Loire et offre un nouveau regard sur ces hypothèses estimées durant les années 1990. Il explique ces mutations successives par le fonctionnement de l'estuaire de la Loire, et notamment son évolution entre phases de contraction et de dilatation.



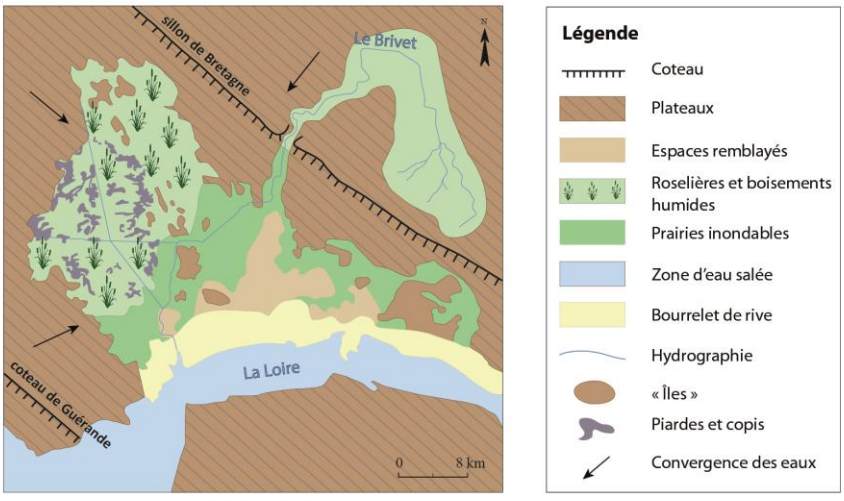
De - 8000 à -4500 BP



De - 4500 à -4000 BP



Vers -3500 BP



Situa□on actuelle

Figure 16 Principales phases de la sédimentation briéronne, d'après C. Portale (2009). DAO Fernandez P.

i. Le cortège transgressif

La transgression flandrienne, initiée il y a environ 10 000 ans durant la période interglaciaire actuelle nommée *« Holocène »*, a majoritairement contribué au comblement du marais. Selon l'étude de Stéphan et Goslin publiée en 2014 (Figure 17), le niveau marin était à env. -8m par rapport à l'actuel il y a 8 000 ans. Depuis, le réchauffement Holocène a impliqué sa forte augmentation jusqu'à 5 000 BP *(env. 3050 BC)*, où il était approximativement à près de -3m par rapport à l'actuel. Depuis, il s'est ensuite relativement stabilisé aux environs du niveau actuel. La majeure partie des sédiments présents au sein du marais de la Brière ont été déposés durant l'Holocène, excepté pour quelques niveaux sableux plus profonds correspondant à la période anté-secondaire. Ils peuvent correspondre à l'altération du socle. Durant cette forte phase de transgression marine, l'ancienne cuvette ayant un paysage de plaine s'est retrouvée recouverte par l'océan, comme le montre la Figure 18 en page suivante réalisée par P. Fernandez et reprise des travaux de C. Portale. Cette dynamique a impulsé le transport et le dépôt dans le marais d'une fine couche de sables marins dans un premier temps, déposée durant les prémices de la transgression (env. 10 000 à 8 000 BP, *donc 8 050 à 6 050 BC*). Selon les travaux de R. Arthuis, l'océan pénètre la Brière en empruntant les principales vallées de ce réseau hydrographique, avec des chenaux soumis à la marée et bordés de marais salés, et, en retrait, de zones humides sur lesquelles s'implante le saule (L. Visset). Une argile verte ou bleue (la couleur diffère selon les sources) s'est ensuite durablement installée dans l'ancienne baie depuis environ 8 000 BP *(6 050 BC)* par la forte impulsion de la transgression marine. Par l'analyse des différents sondages et coupes existants, cette couche apparaît très nettement dans la plupart des études sédimentologiques. Son épaisseur importante témoigne d'une sédimentation rapide impulsée par la nette influence marine. La Brière est en grande partie submergée, hormis les quelques anciennes buttes situées à l'est formant alors des îles morcelées sur lesquels sont aujourd'hui implantés les principales communes du marais dont Donges, St Malo de Guersac, Montoir et St Joachim.

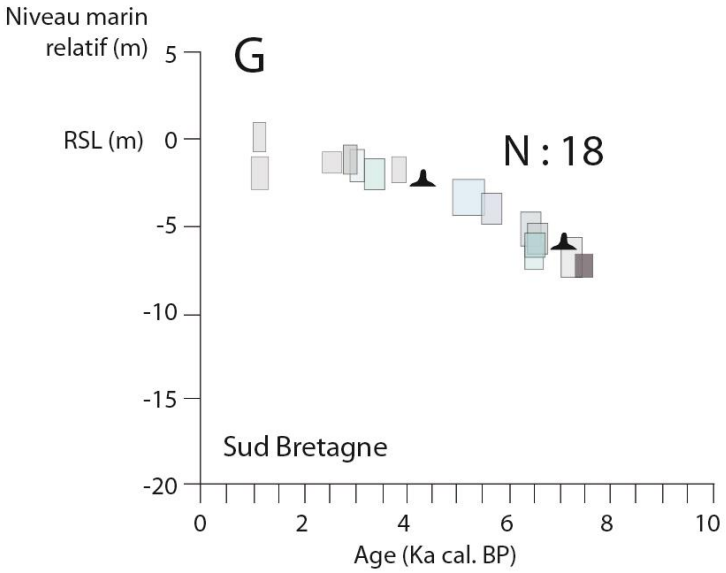


Figure 17 Synthèse de la transgression flandrienne en Bretagne sud, d'après Stéphan et Goslin, 2014. DAO Fernandez P.

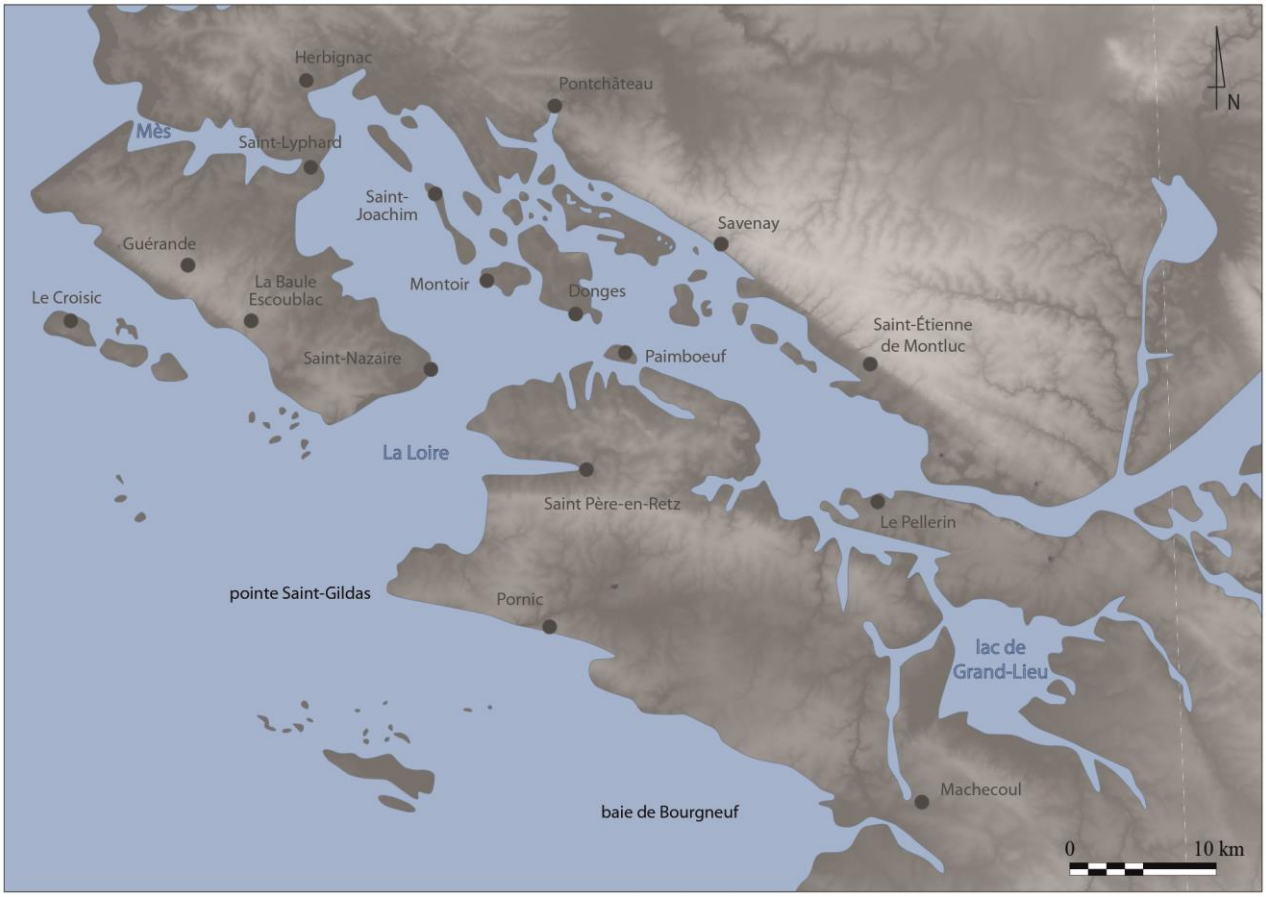


Figure 18 L'embouchure de la Loire et la Grande Brière lors de la transgression flandrienne, d'après C. Portale (2009). Réal Fernandez P.

ii. La fermeture du marais : épisode régressif ou mutations de l'estuaire ?

Vers 4700 – 4200, une petite période de régression marine a induit une fermeture de la baie par le sud via l'installation progressive d'un cordon vaseux selon L. Visset. Cette fermeture a entraîné le dépôt de fines vases noires ou grises selon les sources au sud du marais. Concernant l'évolution et la fermeture du marais vers 4000 BP *(env. 2050 BC)*, l'hypothèse retenue durant les dernières décennies et largement défendue par L. Visset est qu'un refroidissement climatique temporaire ait induit une légère phase de régression marine (évènement de 4.7-4.2 kBP, *env. 2750 – 2250 BC*). Cette régression aurait entraîné la formation d'une flèche vaso-sableuse, possiblement d'est en ouest, le long de la Loire qui aurait refermé petit à petit la Brière.

Cependant, par l'intermédiaire de ses travaux sur l'estuaire de la Loire, R. Arthuis avance une hypothèse plus plausible sur l'isolement de cette ancienne baie. L'évolution du comblement de la baie serait due à l'influence de la péjoration climatique sur le fonctionnement du fleuve de la Loire. La bande alluviale se serait élargie, entraînant des transferts latéraux de sédiments par le fleuve. L'estuaire se serait rétréci, et l'onde de marée qui remontait initialement jusqu'à Rezé aurait été bloquée plus en amont par la formation de deltas au niveau de Cordemais/Lavau-sur-Loire. L'estuaire aurait donc subi durant ces microévolutions climatiques des phases de dilatation et de contraction, induisant de grandes variations sédimentologiques au sein du marais de Brière. Les variations du niveau marin liées aux évolutions climatiques ne seraient donc pas la cause de ces évolutions géomorphologiques du marais. Le paysage évolue fortement : l'espace se « continentalise » et les anciennes îles deviennent des buttes par le colmatage du marais. Les sols jusqu'alors submergés à marée

haute vont s'assécher, se dessaler, et se recouvrir d'une forêt de chêne selon R. Arthuis reprenant les travaux de L. Visset. Les zones restées humides abritent une végétation d'eau douce à saumâtre avec l'apparition d'aulne et de bouleau.

iii. La tourbification de l'Holocène moyen

Vers 4000 BP *(env. 2050 BC)*, la fermeture du marais au sud a entraîné un processus de tourbification important au nord de la Brière, via des apports venus principalement du Brivet. Selon D. Sellier, c'est le Brivet qui a à lui seul tapissé l'ensemble de ce marais durant ces périodes fluviales. L'écoulement du Brivet est freiné à son aval par la progression du cordon. L'eau stagne au sein du marais. Cette fermeture a entraîné le déclin de la chênaie précédemment installée par la tourbification et les conditions climatiques plus difficiles endurées durant la période froide précédente, impliquant de nombreuses tempêtes. Les troncs s'effondrent progressivement et sont fossilisés sous la tourbe, appelés « mortas ». Cette tourbification couplée au déclin de la chênaie a entraîné le dépôt d'une tourbe jaune ou brune selon les sources, la couleur est due à la forte concentration de végétaux, comme en témoigne l'abbé Vince. Vers 3700 BP *(env. 1750 BC)*, la tourbification s'établit sur l'ensemble du marais avec une tourbe noir dominante. Selon les différents sondages, ces niveaux tourbeux sont plus épais que le niveau de vases noir déposé par la fermeture du marais, mais restent très nettement moins marqués que les argiles marines datées au début de l'Holocène. Les dynamiques sédimentologiques témoignent donc d'une sédimentation bien plus lente à partir de 4 700 BP *(env. 2750 BC)*.

iv. Hypothèses liées à la sédimentation récente

La sédimentation actuelle est établie depuis environ 2 500 BP – 2000 BP *(env. 550 BC – Anno Domini)*. Au nord, les tourbes dominent toujours dans un sol très régulièrement submergé par les eaux du marais. Au sud, des vases de marées et dépôts d'inondations se sont installées dues aux cassures qu'a subies le cordon vaso/silteux durant les 3 000 dernières années. L'espace est plus « continentalisé ». Une couche fine de vases superficielles est observable dans les sondages. Ces vases ne sont pas identifiables au nord du marais, car l'influence marine n'est pas assez forte pour y parvenir. Les eaux douces s'élèvent donc, submergeant régulièrement les tourbières du nord de la Brière. L'installation du cordon, puis l'apport de ces vases de marées/d'inondations plus récentes induisent une distinction topographique et paysagère très marquée en Brière, délimitée le long d'un transect Ouest-Sud-Ouest – Est-Nord-Est allant de Saint-Nazaire à Donges. Au nord-ouest de ce transect, les roselières et boisements humides prédominent dans l'environnement tourbeux situé à moins de 2/3m NGF. Au sud-est, le paysage de prairies inondables accueille aujourd'hui la majeure partie de l'anthropisation du marais, témoin de l'industrialisation du territoire avec l'implantation de l'aéroport et la raffinerie de Donges, notamment. L'altitude est plus importante (aux environs de 5m NGF en moyenne, allant jusqu'à 13 m NGF près de Donges) et les sols bien plus secs et colmatés. De nombreux espaces ont été remblayés pour permettre l'installation durable des activités humaines.

Certains travaux, dont ceux de R. Arthuis proposent également plus de précisions à propos de cette sédimentation récente en distinguant deux phases possibles, la première à partir de 2500 BP *(env. 550 BC)* ou et la seconde entre 150 BC et 400 AD (2100 – 1550 BP). Les extraits de son rapport témoignent de ces différentes hypothèses. Des dépôts de limon d'inondation et/ou vases de décantations se seraient déposés grâce à la remontée de la nappe phréatique durant la première phase post-2500 BP/550 BC, tandis que durant la seconde (2100 – 1550 BP */ 150 BC – 400 AD*, ce sont des mécanismes de submersion marine (peut-être liés à une légère hausse du niveau marin, et l'impact de l'homme) qui auraient permis aux eaux salées de pénétrer dans le marais.

« Depuis 2500 BP […] les marais en bordure de la Loire sont régulièrement submergés (marais de l'Acheneaux au sud de Vue, Voeltzel 1987 ; les marais situés en amont de Nantes, Cyprien 2002), et les tourbières sont recouvertes de limon d'inondation et/ou de vase de décantation liée à la remontée de la nappe phréatique (Arthuis et al. 2019) […] Dans la Brière, où les données environnementales deviennent plus rares, la montée de la nappe phréatique provoque le même phénomène déjà décrit pour l'âge du Bronze ancien, à savoir, l'asphyxie de la chênaie dont quelques troncs, fossilisés et datés de 500 av. J.-C., ont été découverts sur le site de l'île d'Errand (info dans L. Visset 1990 ; biblio, référence des dates ?). […] Entre 150 av. J.-C. et 400 apr. J.-C. (de la fin de l'Âge du fer à la deuxième moitié de l'Antiquité), les eaux marines envahissent le sud de la Brière et déposent une couche de vase de marée sur la tourbe noire. Ce mécanisme de submersion marine intervient lors de l'optimum climatique romain, à une période où le fleuve, moins actif, et s'écoulant dans des chenaux bien individualisés et relativement profonds, permet aux eaux salées de remonter l'estuaire jusqu'aux installations portuaires (pontons) situées dans un bras secondaire qui longe le quartier de Saint-Lupien à Rezé avant et durant le 1er s. ap J.-C. (Arthuis et al. à paraître, Armynot du Châtelet et al. 2015). Ce mécanisme a pu aussi être favorisé, voire impulsé, par une légère rehausse du niveau marin permettant l'arrivée de la mer dans la Brière dont les fonds se sont affaissés du fait de tassements différentiels (Prigent, 1978). Il ne faut pas non plus perdre de vu l'action possible des hommes qui a pu favoriser une perméabilité entre l'estuaire et la Brière, conséquence possible d'un accroissement des circulations fluviales. Quelque en soit les causes, la « venue de la mer crée de vastes étendues d'eau libre plus ou moins saumâtre, pratiquement dépourvues de végétation et bordées d'un liseré de plantes halophiles. » (Extrait du rapport de R. Arthuis sur les évolutions environnementales et paysagères de la presqu'île de Guérande).

Alors que les principaux sondages ne montent pas de distinctions entre ces deux types de dépôts, nous pouvons émettre l'hypothèse que l'apport sédimentologique majeur durant la période « contemporaine » provient de vases d'inondations/de marées. La tourbification s'édifie toujours aujourd'hui dans le nord du marais, et peut avoir perduré dans le sud jusqu'à 2000 BP *(env. Anno Domini)* comme indiqué dans le rapport de R. Arthuis. Ces vases de marées et/ou d'inondations ont des paramètres sédimentologiques communs, et ont pu se déposer depuis 2000 BP. Ces dépôts ont ensuite fortement modifié les sols, la végétation

et plus globalement le paysage du marais, car ils ont permis l'installation de l'homme sur sa partie sud, bien plus asséchée et plus haute qu'en Brière septentrionale.

c. Incertitudes actuelles

Suite à l'analyse de ces différentes sources géophysiques, de nombreuses incertitudes demeurent sur l'évolution du paysage du marais. Tout d'abord, la majeure partie des datations a été réalisée dans le cadre des études de L. Visset, qui lui-même semble s'être fortement appuyé de l'une des premières stratigraphies obtenues dans le marais par la société Béarnaise dans les années 1950. Ce travail représente probablement l'unique référence fixant le cadre temporel de l'évolution du marais.

Nous pensons également que les différentes analyses les plus récentes, dont celles de L. Visset, ont fortement été influencées par les travaux plus anciens. Le phénomène de réutilisation de la donnée peut très certainement influencer les analyses récentes de cet espace, y compris cette étude. Nous remarquons que la majeure partie des études menées depuis les années 1970 référence la coupe géologique réalisée par la Société béarnaise dans les années 1950. Cette coupe illustre parfaitement l'évolution du marais par les différentes strates présentes. Cependant, elle a été réalisée le long d'un transect ouest-est au sein de la Grande Brière et n'est pas forcément représentative de l'ensemble du marais. La quasi-absence de sondage au sein de la Grande Brière ne permet pas de répondre à l'heure actuelle à cette incertitude.

Par ailleurs, si L. Visset explique ces différentes phases d'évolution par des implications climatiques (successions de phases chaudes et froides ayant impliqué des évolutions pluviométriques et eustatiques, notamment), il semble que de nouvelles hypothèses sur les causes de ces évolutions soient aujourd'hui considérées par la communauté scientifique. R. Arthuis soutient notamment celle de l'évolution de la morphologie de l'estuaire comme « poumon » de la section aval de la Loire, ayant subi des phases de contraction et de dilatation influençant directement les paramètres morphogènes du marais.

Si l'histoire de la sédimentation du marais est directement liée à l'évolution de l'estuaire de la Loire, les principales réponses morphogéniques se trouveraient alors aujourd'hui au sein du cordon ayant isolé le marais de l'océan. L'isolement est le principal bouleversement ayant totalement modifié l'environnement de la Brière (et notamment son relief, les sols, l'hydrographie et la végétation du marais). Il pourrait également avoir permis l'implantation humaine durable au cours des derniers siècles, dans un espace qui lui était auparavant particulièrement hostile. Ce cordon regroupe déjà la majeure partie des sondages issus de la banque du BRGM, certainement pour l'implantation d'activités économiques et industrielles. Il s'avère être la clé de compréhension la plus complète pour appréhender l'évolution paléoenvironnementale de la Brière, susceptible d'apporter des éléments de réponses sur l'ensemble des questions posées au sein des paragraphes précédents.

D. Affiner la connaissance du marais par la production de coupes géologiques dans les secteurs les moins étudiés

Pour mieux comprendre l'évolution du marais de Brière dans certains secteurs peu étudiés par les études scientifiques, nous avons proposé la création de coupes géologiques. Les données topographiques issues du Lidar ont dans un premier temps été extraites (via l'extension « Profil Tool » de Qgis) pour réaliser les profils topographiques. Nous avons ensuite croisé les sondages sédimentologiques issus d'articles scientifiques numérisés sous le SIG avec les ceux du site INFOTERRE du BRGM, pour comprendre l'évolution de la sédimentation du marais. Si la donnée topographique est dotée d'une grande précision, nous demandons au lecteur un certain recul à la lecture de l'information sédimentologique. Comme il a été mentionné dans les premières sections de ce rapport, la densité de sondages disponibles est très variable spatialement, ces données étant également très hétérogènes selon les sources. Pour comprendre la sédimentologie des espaces les moins densément étudiés, nous avons pris comme références les sondages préexistants. Les méthodes de prélèvements et d'analyses différentes parfois fortement selon les organismes ayant conduit ces travaux. Leur croisement est alors parfois très complexe à réaliser, ne témoignant pas toujours d'une homogénéité stratigraphique dans les transects étudiés. Les différents niveaux analysés dans la synthèse sédimentologique (partie C) ont été repris pour produire la base de la stratigraphie briéronne (Figure 20). Nous avons ensuite reproduit les sondages issus des articles scientifiques ou du BRGM, et estimé les niveaux sédimentologiques correspondant à chaque couche stratigraphique identifiée au sein de ces différents sondages. Cela nous permet ensuite de reproduire chaque phase de remplissage alluvial du marais. L'interprétation des anciens sondages par les auteurs de ce rapport tient une part importante dans l'analyse de la sédimentologie de ces quatre profils. Bien que nous ayons tenté de reproduire ces différentes dynamiques avec plus précision la plus fine possible, nous demandons donc au lecteur de rester vigilant face à ces différentes interprétations. Ainsi, les détails fournis par les différentes études scientifiques ou par le BRGM sur les sondages réalisés servant de donnée primaire à ces coupes sont parfois très sommaires.

Quatre transects ont été sélectionnés pour pouvoir apporter des éléments d'analyses complémentaires à l'étude bibliographique (Figure 19). Ces quatre sites témoignent d'environnements totalement distincts. Un premier transect a tout d'abord été réalisé dans la grande Brière tourbeuse pour pouvoir identifier de potentiels liens avec la coupe réalisée par la société béarnaise (B). Le cordon vaso-silteux étant la possible clé de compréhension de l'évolution de cet espace complexe, deux transects suivant le cordon méridional vaso-silteux longitudinalement (D) et le traversant du nord au sud (C) ont également été modélisés. Enfin, un transect allant du cordon à la grande Brière Tourbeuse en passant par une ancienne île aujourd'hui habitée (A) a également été réalisé pour appréhender les éléments de transitions entre ces différentes formations géomorphologiques.

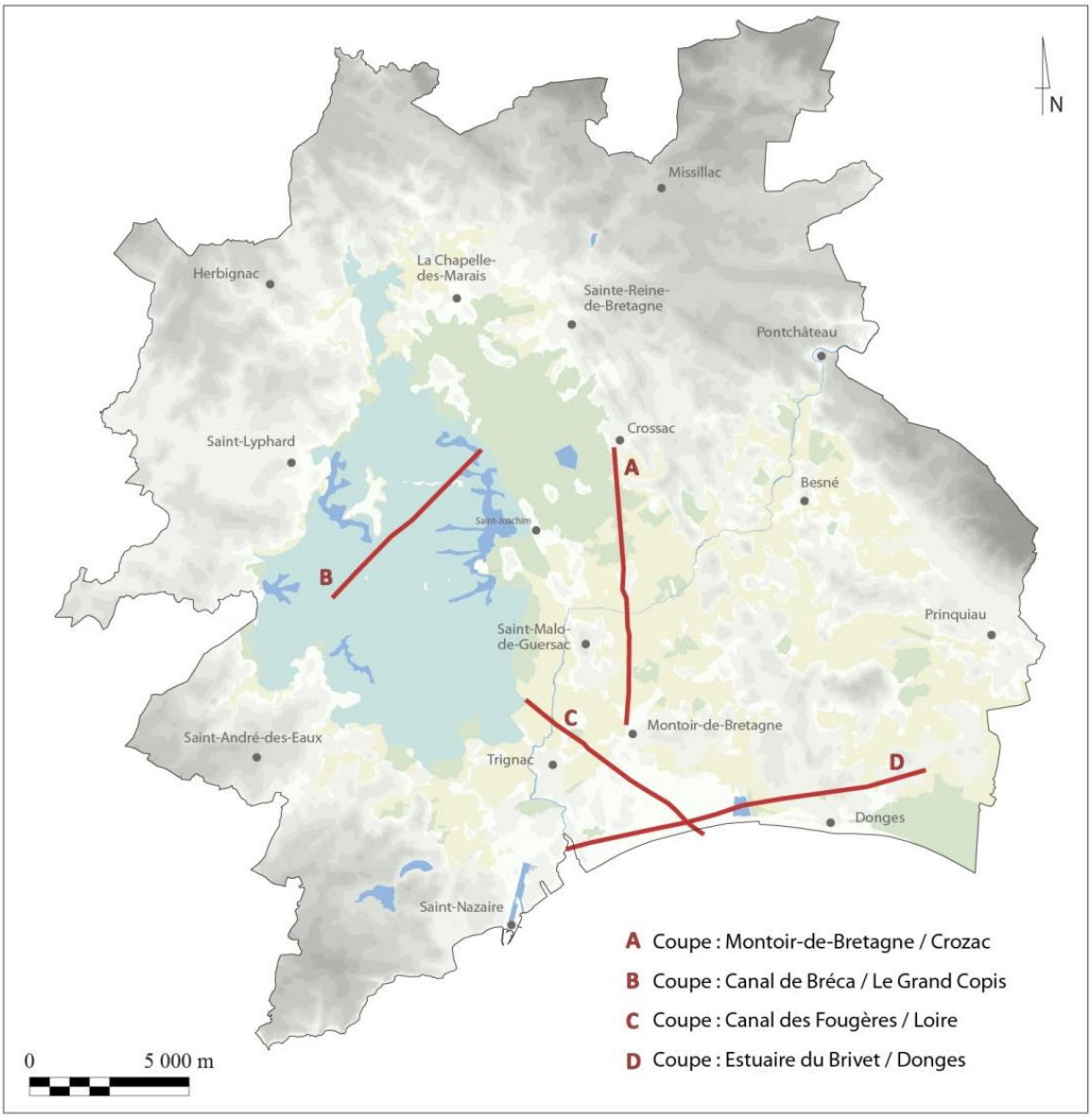


Figure 19 Localisation des nouvelles coupes géomorphologiques réalisées au cours de l'étude documentaire. Réal Fernandez P.

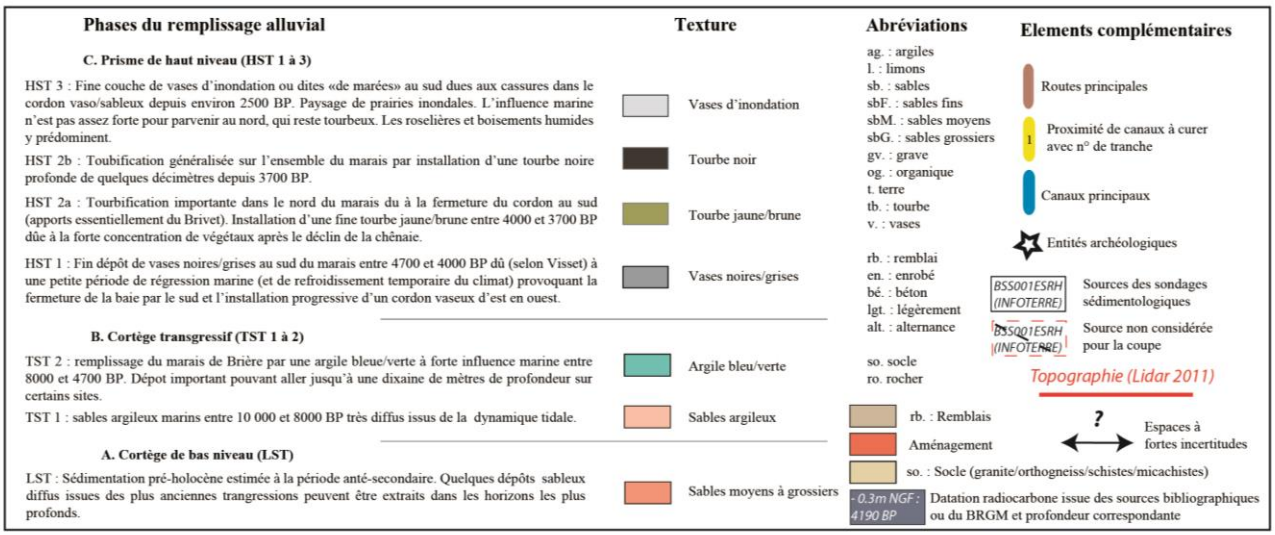


Figure 20 Légende des coupes géologiques réalisées au cours de l'étude documentaire. Réal Pouzet P.

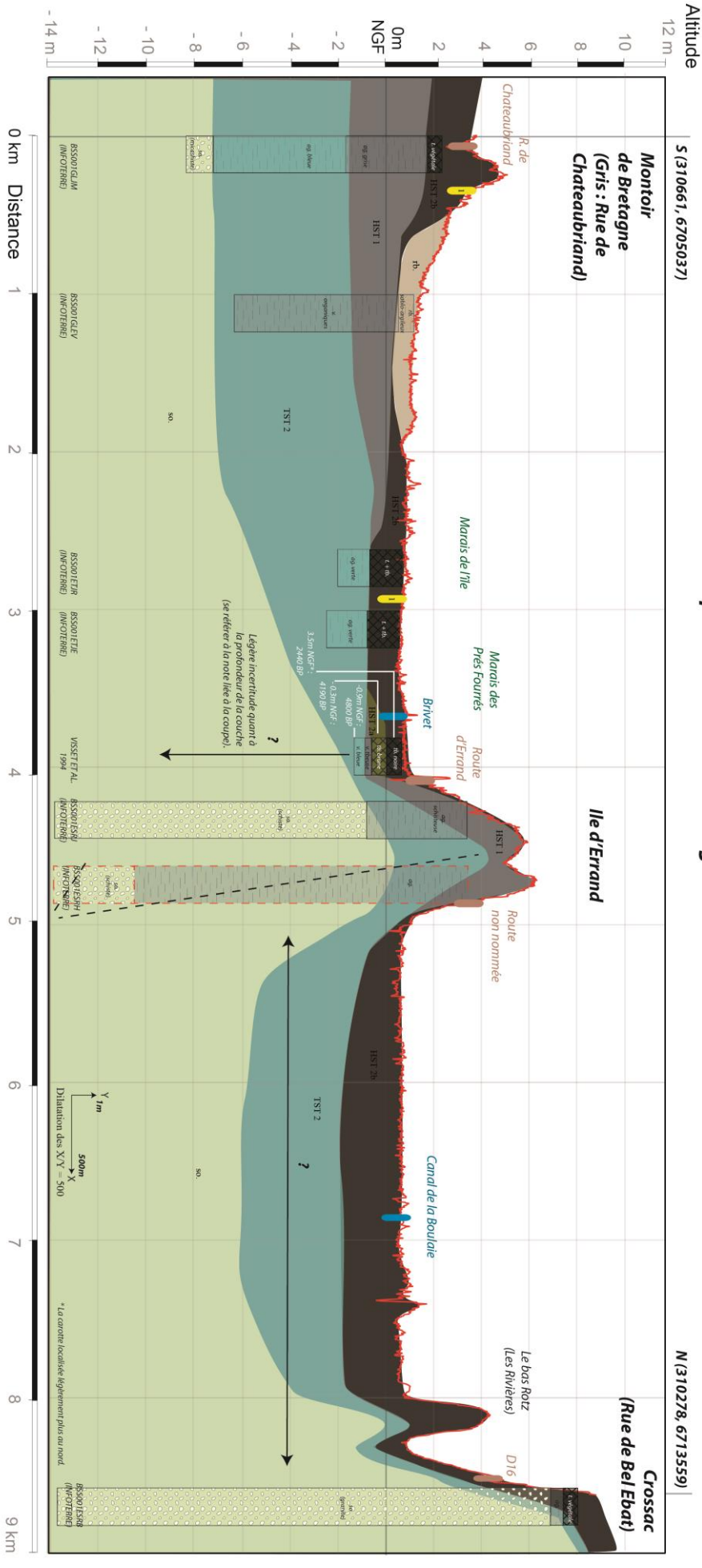


Figure 21 Coupe A : Montoir de Bretagne - Crozac. Réal Pouzet P.

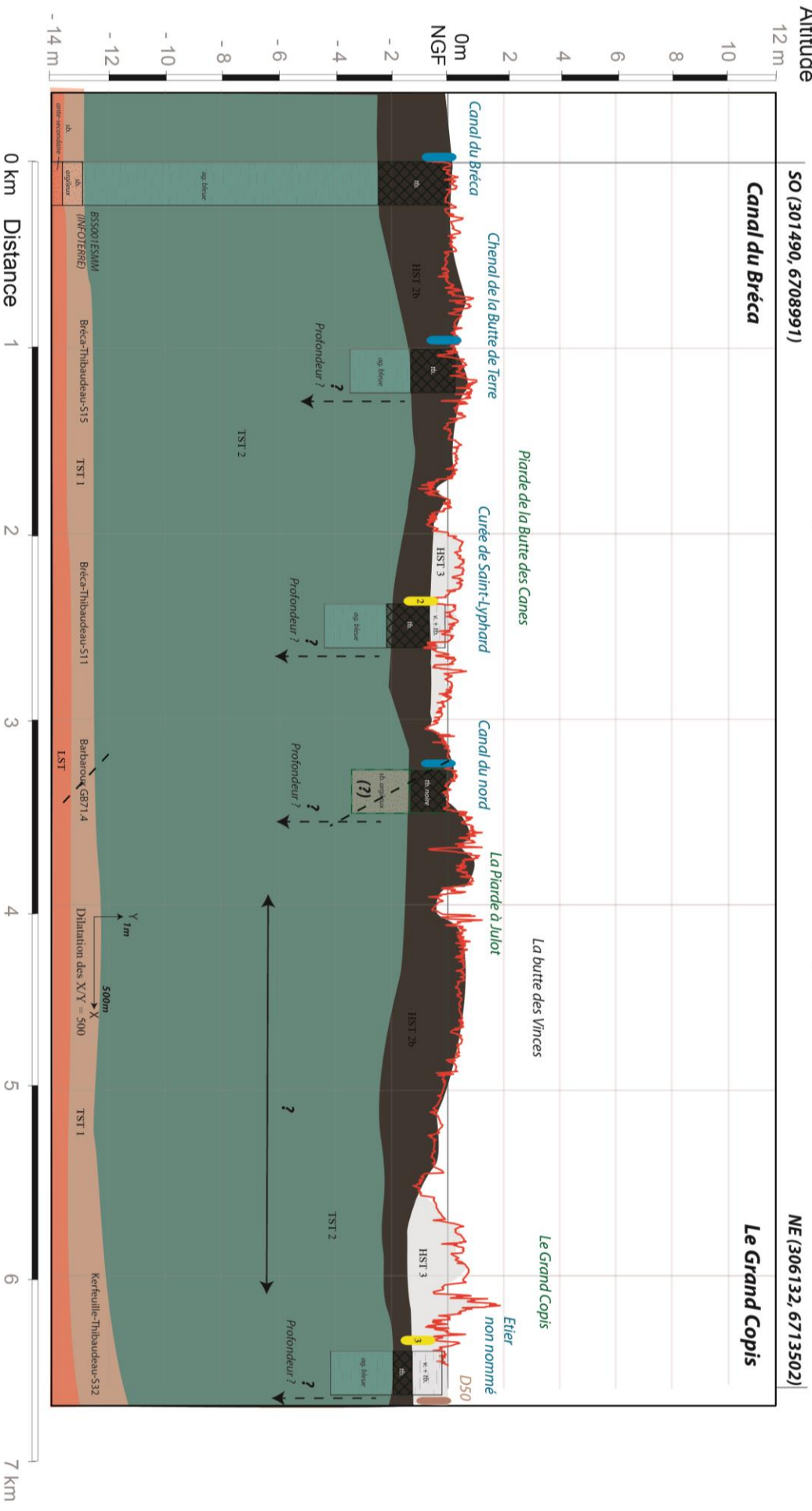


Figure 22 Coupe B : Canal du Bréca - Le Grand Copis. Réal Pouzet P.

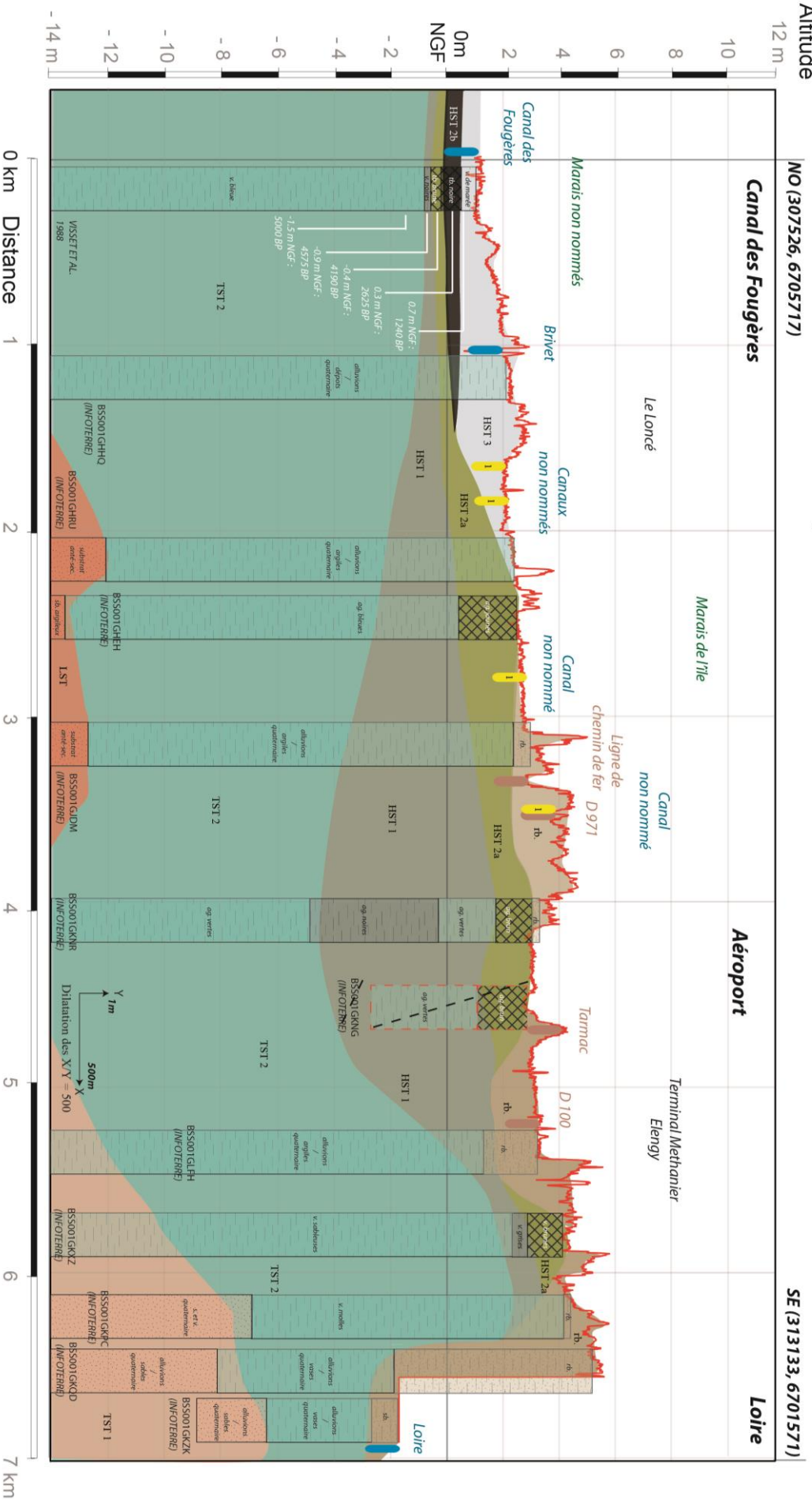


Figure 23 Coupe C : Canal des Fougères - Loire. Réal Pouzet P.

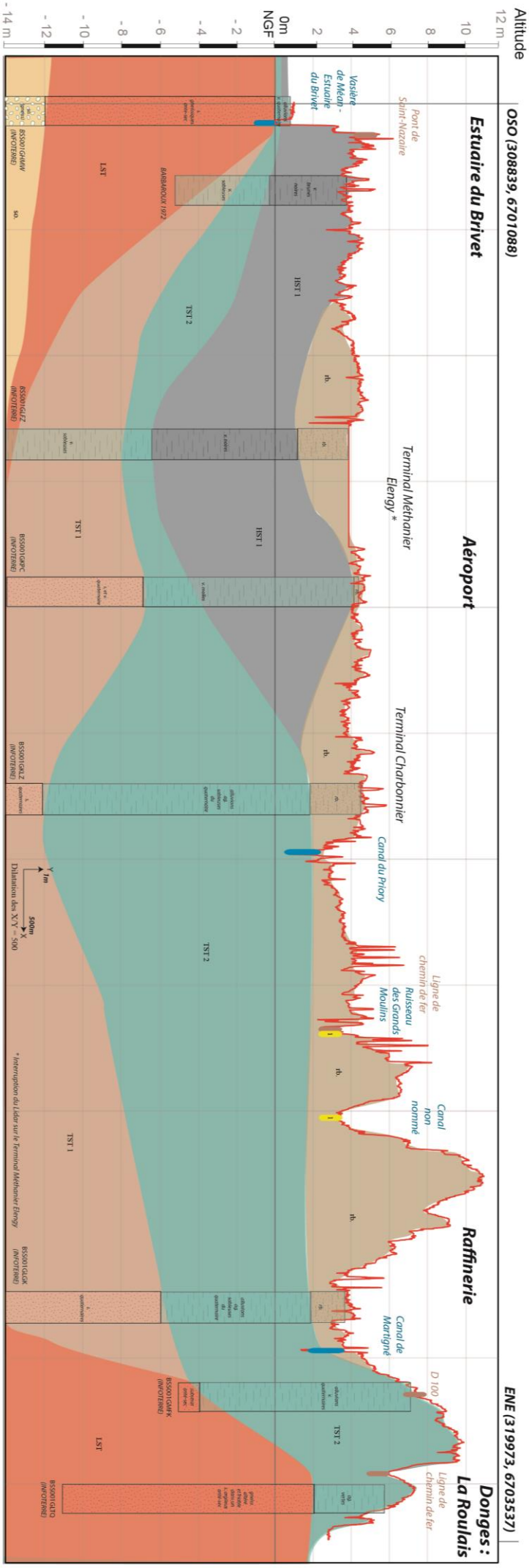


Figure 24 Coupe D : Estuaire du Brivet - Donges. Réal Pouzet P.

Dans l'ensemble, les coupes mettent en lumière une bonne cohérence spatiale entre les sondages étudiés, ce qui permet de lier les niveaux sédimentologiques entre eux. Les sept grandes phases géologiques semblent bien se succéder en cohérence avec les études scientifiques précédemment analysées. Seuls trois sondages du BRGM ont été exclus sur les 32 utilisés pour réaliser les profils, par incohérences face aux données analysées. Certains niveaux sont peu détaillés au sein des sondages, nous avons donc directement estimé les phases de remplissage correspondantes à partir des sondages localisés à proximité. Nous proposons en introduction une lecture générale de ces quatre profils.

Comme mentionné dans les différentes études, les argiles bleues ou vertes issues de la phase transgressives sont largement dominantes (TST2). Elles contribuent à la majeure partie du remplissage alluvial, occupant dans certains espaces près d'une dizaine de mètres de sédimentation (B, C et D). Les argiles grises ou noires (HST1), témoins de l'installation du cordon, sont bien présentes seulement au sud (absence dans la coupe B) dans des proportions très hétérogènes, allant de quelques mètres en arrière du cordon (C) jusqu'à 6 à 8m sur le cordon (D et A). Les niveaux tourbeux (HST2) sont plus fins, témoignant la dynamique de sédimentation beaucoup moins importante évoquée dans l'analyse bibliographique. Il semble également y avoir une progression, allant d'une quasi-absence de tourbes au sud (D et C) jusqu'à 2 à 4m d'épaisseur au nord (A et B). Même si elle a été représentée dans quelques sondages modélisés sur la coupe C, la distinction entre tourbes noir (HST2b) et brunes (HST2a) est quasi-inexistante dans les données du BRGM. Il est donc très complexe de tirer de solides conclusions sur leur évolution liée. Nous conseillons donc au lecteur de lire les informations liées à ces deux niveaux au sein du même ensemble HST2.

Enfin, la partie superficielle est logiquement la plus hétérogène. Si les remblais (rb.) semblent dominer dans le sud (C et D) par la forte anthropisation du marais, quelques niveaux de vases d'inondation/de marée (HST3) sont également identifiés, principalement juste en arrière du cordon (C). Les niveaux HST 3 identifiés dans la tourbière (B) nous posent question, ils sont peut-être dus à une faible qualité de la donnée primaire étudiée. Peut-être ont-ils pu être également impulsés par des dynamiques de remontée de nappes, comme le mentionne le rapport de R. Arthuis. Dans tous les cas, ils ne reflètent pas la dynamique tourbeuse dominante en surface évoquée par dans la synthèse bibliographique. Par ailleurs, le fort remblaiement a induit un important remaniement des sédiments, et une potentielle perte importante de sédiments sur la partie superficielle. Les premiers niveaux peuvent donc ne pas représenter complètement l'histoire de la sédimentation de la Brière. En profondeur, nous remarquons également que les éléments appartenant au socle (So) et à son altération (LST) semblent parfois confondus au sein des différents sondages. Les conclusions liées à ces deux phases sont donc à prendre avec du recul. Certains espaces sont également soumis à une forte incertitude **(?)** due à la mauvaise qualité, ou à l'absence de relevés.

La coupe A (Figure 21) a été réalisée suivant un transect de 9km allant de Montoir-de-Bretagne (au lieu-dit Gris) au sud à Crozac (au niveau de la rue de Bel Ebat) au nord, en

passant par l'île d'Errand. On remarque les plissements géologiques du socle impliquant la formation de l'île, et la limite topographique entre le marais et les plaines limitrophes (Crossac). Le petit relief présent au sud plongeant lentement vers le marais tourbeux témoigne de faibles hauteurs du cordon vaso-silteux par rapport à la Brière tourbeuse. Cette coupe se situant en limite nord du cordon, le niveau de vases d'inondation/de marée (HST3) ne semble pas être détecté. II se peut cependant que la donnée soit lacunaire et qu'un petit niveau soit tout de même réellement présent, car l'altitude différentiée par rapport à la Brière suggère que la rue de Châteaubriand soit bien localisée sur la fin du cordon et donc sur le niveau légèrement plus haut tapissé par ces entrées datées post-2500 BP */ 550 BC* (comme en témoignent les datations de L. Visset en Brière tourbeuse). Sédimentologiquement, les différentes couches se succèdent en cohérence avec la synthèse bibliographique. La vase grise (HST1) laisse petit à petit la place à la tourbe dominante en surface (HST2), alors que les profondeurs sont dominées par un haut niveau de tourbes bleues (TST2), sûrement plus larges au sud qu'au nord. Sur l'île d'Errand, il est complexe de déterminer précisément quelle est la couche affluant, car le seul sondage conservé du BRGM témoigne seulement d'argiles schisteuses en surface. Par cohésion avec les niveaux de L. Visset juste en arrière de l'île, nous avons prolongé le niveau de vases grises, ce qui peut tout à fait être débattu.

La coupe B (Figure 22) relie le canal de Bréca au sud-ouest au Grand Copis au nord-ouest le long d'un transect plat d'environ 7km. Le relief est quasi-inexistant, car le transect se situe en plein cœur du marais tourbeux entre 0 à 2m NGF. La coupe est comparable à celle de la société béarnaise localisée à quelques kilomètres plus au sud, excepté pour le niveau de *« sables argileux »* détecté par les sondages de L. Barbaroux, qui nous a conduit à mettre de côté cette carotte. Ainsi, il paraît peu logique qu'un niveau de sables transgressif remonte jusqu'en limite de tourbes en l'absence de buttes au sein du relief. Les sables étant définis comme argileux, nous nous demandons si la dominance n'est pas plus argileuse que sableuse au sein de ce niveau dans ce sondage. Si c'est le cas, la couche peut être liée au niveau TST2 d'argiles marines (qui est également partiellement composée de sables, d'où la possible confusion). Si les argiles grises (HST1) sont présentes en faible quantité dans la coupe Béarnaise située plus au sud, il semble qu'elles soient moins présentes au nord de la tourbière. Ce niveau témoigne de la fermeture du cordon et semble principalement influencer le sud du marais. À l'image de la coupe de 1955, les tourbes jaunes sont également absentes, témoignant d'un espace peut-être anciennement moins végétalisé que la partie orientale de la tourbière, laissant place directement aux tourbes noires. Cependant, nous rappelons que les distinctions entre ces deux types de tourbes sont généralement peu représentées dans les sondages. Enfin, le niveau superficiel HST3 est présent dans certains sites. Comme nous l'avons mentionné en introduction, nous pensons qu'il puisse s'agir de dépôts liés aux remontées de nappes, car les incursions marines ne semblent pas pouvoir atteindre cette partie septentrionale du marais (d'où la présence de HST3 dans deux espaces liée à l'hydrologie du marais : le Grand Copis et la Curée de Saint-Lyphard).

La coupe C (Figure 23) traverse le cordon vaso-silteux sur 7km en partant du canal des Fougères au nord-ouest jusqu'à la Loire au sud-est, à proximité du terminal Méthanier Elengy. Le relief augmente régulièrement, partant de la grande Brière tourbeuse située à basse altitude (env. 2m NGF dans la partie méridionale), jusqu'au cordon vaso-silteux montant à 4m NGF, puis débouchant sur la Loire ou la topographie n'a pas été relevée (estimée au niveau marin). Sédimentologiquement, la grande densité de carottes étudiées permet d'avoir une précision importante sur les niveaux observés. Cependant, les niveaux ne sont parfois pas décrits avec beaucoup de précision, notamment sur les sondages du BRGM ou la mention *« alluvions / argiles quaternaires »* apparaît régulièrement. Les auteurs de cette coupe ont donc dû interpréter l'évolution stratigraphique en prenant appui sur les carottes les plus précises de ce site. On note une transition très nette entre la tourbe de la Grande Brière très présente au nord, laissant place à une densité plus importante d'argiles transgressives vers le sud. Ici aussi, la couche d'argiles grises HST1 semble plus dense au niveau du cordon que dans les parties plus septentrionales. Le niveau de vases d'inondation/de marées issus des ruptures du cordon est logiquement installé dans sa partie la plus septentrionale, accueillant notamment le lit du Brivet, probablement façonné par ces évolutions les plus récentes. En profondeur, les sables transgressifs remontent au niveau du lit de la Loire, faiblement vaseux. Comme énoncé en introduction, le cordon est majoritairement façonné en surface par des remblais permettant son l'anthropisation. Cette anthropisation, par l'intermédiaire de ce remblaiement, mais aussi par son influence sur le Litto3D, a certainement influencé les relevés topographiques et surtout sédimentologiques présentés sur cette coupe. Nous alertons donc le lecteur sur cette limite importante lors de l'analyse de ces données.

La coupe D (Figure 24) se situe quasi perpendiculairement à la coupe C, allant de l'estuaire du Brivet jusqu'au lieu-dit La Roulais à Donges, et est aussi très fortement impacté par cette limite de l'implantation de remblais. Son linéaire de près de 12km traverse le cordon d'est en ouest pour tenter de comprendre sa composition. La topographie oscille entre 0 et 12m NGF, avec des reliefs bien plus hauts à l'est témoins d'anciennes îles présentes lors de la transgression flandrienne, découpées par le réseau hydrographique. Nous relevons une interruption des mesures topographiques sur le terminal méthanier. L'analyse sédimentologique nous montre une certaine distinction est-ouest entre des vases grises HST1 dominantes face au niveau transgressif bleu/vert, tandis que les niveaux les plus orientaux restent dominés par le cortège transgressif TST2. Une distinction est-ouest dans la composition du cordon peut alors être questionnée, allant de pair avec l'analyse de la coupe C. L'étude spatiale de ces vases grises pourrait donner des éléments de compréhension sur sa formation, et notamment sur les étapes successives du processus de fermeture du marais d'est en ouest. Les éléments du socle (so.) et de son altération (LST) ressortent également, principalement au niveau de l'estuaire du Brivet et près de l'ancienne île de Donges. Le reste du cordon sous l'aéroport et la raffinerie est composé de sables transgressifs TST1 entre -6 et -14m NGF, témoins de l'ancienne cuvette servant d'exutoire à l'ancienne baie durant la phase transgressive.

E. Perspectives

Plusieurs perspectives s'offrent à l'étude géomorphologique du marais de Brière. Tout d'abord, nous soulignons l'importante réutilisation des données, avec comme références principales les études de Vince, de la Société béarnaise, puis de L. Visset pour les travaux plus récents. Les bases de la sédimentologie du marais s'appuient donc majoritairement sur des travaux préliminaires réalisés dans les années 1950 et complétés vers les années 1980. Aucune étude de la Brière globale n'a été réalisée depuis. Avec les nouvelles techniques de sédimentologie (granulométrie, géochimie, radiographie, spectrométrie…), la réalisation de nouveaux sondages paraît donc indispensable. L'utilisation de ces nouvelles techniques permettra de mieux détailler les différentes couches étudiées, et d'avoir des éléments d'informations précis sur les origines des strates étudiées. Par ailleurs, l'ensemble des datations de l'évolution briéronne semble reposer essentiellement sur les études de L. Visset. La réalisation de nouveaux sondages permettra également de mener une nouvelle campagne de datations isotopiques (au radiocarbone compte tenu du recul temporel), pour préciser l'évolution temporelle de l'environnement. En datant les niveaux de tourbes dans plusieurs espaces distincts du marais (transect N/S et E/O possibles), nous avons une possibilité intéressante de comprendre son installation progressive suite à la fermeture du marais par le cordon vaso-silteux. À titre d'exemple, une implantation progressive de tourbes d'est en ouest pourra illustrer l'hypothèse d'une implantation du cordon dans ce sens, isolant petit à petit les différents espaces du marais. Très peu de carottes ont été prélevées dans la partie orientale de la Brière, la connaissance de ces espaces doit être enrichie. Le défi technique principal réside dans la composition tourbeuse et très (voir trop) humide des sols régulièrement submergés. En plus de n'être que parfois seulement accessibles en bateau, ils sont extrêmement aussi difficiles à sonder.

Par ailleurs, des sondages au sein du cordon paraissent totalement indispensables, car ce cordon est la clé de compréhension du fonctionnement de la Brière. Il a été très largement sondé, mais ces relevés sont issus de la banque hétérogène du BRGM. Un transect d'est en ouest le long du cordon offrirait des hypothèses intéressantes sur l'évolution de sa fermeture. Cependant, pour pouvoir étudier l'évolution de l'environnement, un second défi technique se pose. Les espaces sondés doivent avoir été les moins impactés par l'Homme, ce qui s'avère être un véritable défi dans l'espace méridional briéron. L'hypothèse de R. Arthuis sur une évolution de la Brière impulsée par des phases de contraction et de dilatation de l'estuaire de la Loire pourra ainsi être confirmée. Des dépôts successifs entre influences marines et fluviales pourraient en témoigner, si la fermeture s'avère être homogène sur l'ensemble du transect. Par la réalisation de nouveaux sondages précis et le prolongement de l'étude topographique, avec l'apport de nouvelles données Lidar dans les prochaines années, de nouvelles coupes géologiques pourront apporter des éléments d'information essentiels sur l'évolution de la géomorphologie briéronne durant les derniers millénaires. Ils devront alors être liés à l'évolution de la Loire réalisée par R. Arthuis, et donc aller plus loin que l'étude seule du marais comme le fait la (néanmoins excellente) étude de L. Visset.

F. Références bibliographiques

AGNES L., 2001. Réalisation d'un SIG en géo-archéologie dans le marais de Brière, l'exemple du Néolithique. *Mémoire de maîtrise de géographie, IGARUN*, 70p.

ARTHUIS R., 2021. Evolutions environnementales et paysagères de la presqu'île de Guérande, *rapport non publié*, 6p.

BARBAROUX L., 1972. Géologie de la Grande Brière et des régions circumvoisines, *Penn ar Bed*, **68**, fasc. 2, pp. 230-258.

BARBAROUX L., 1980. Évolution des propriétés physiques et chimiques des sédiments dans le passage continent-océan. L'effet estuarien (estuaire de la Loire et ses parages). *Thèse d'état, Sciences, Nantes*, 433p.

BARBAROUX L., DUPILAIX, S. & VISSET, L . (1980). Les dépôts du quaternaire récent (Atlantique-Actuel) et le remaniement flandrien du Weichselien dans la région de Saint-Nazaire (Loire-Atlantique). *Bulletin de l'Institut de Géologie du Bassin d'Aquitaine* **27**, pp. 61 85.

BELLANCOURT G., 1972. La Brière aux temps préhistoriques. *Penn ar bed* **69**, pp. 259-281.

BELLANCOURT G., 1976. Etude géologique de la Brière. *Rapport non publié*, 4p.

BRGM, 2006. Géométrie des formations géologiques de l'estuaire de la Loire Rapport final phase 1 *BRGM/RP-54878-FR*, 83p.

CASSEN S., MENENTEAU L., THOMAS Y.F., VAQUERO L.J., 2001. Approche archéométrique de tertres néolithiques : la butte des pierres, marais de la Grande Brière, Loire-Atlantique . *Revue d'Archéométrie*, **n°25**, pp. 203-215.

KERVILER R., 1893. Le chronomètre préhistorique de Saint-Nazaire, 41p.

MORZADEC-KERFOURN M. T . (1974). Variations de la ligne de rivage armoricaine au Quaternaire. Analyses polliniques de dépôts organiques littoraux. *Mémoire de la Société Géologique et Minéralogique de Bretagne*, **17, vol.1**. Rennes, 208p.

PETER P., 2019. État des connaissances sur le site des Gros Fossés à Saint-Lyphard (Loire-Atlantique) *Rapport de sondage archéologique programmé 2018. EA 44 175 0042, Opération n°186177. Service régional de l'archéologie des Pays de la Loire*, Nantes, 87p.

PORTAL C. 2011. Reliefs et patrimoine géomorphologique. Application aux parcs naturels de la façade atlantique européenne*. Thèse de géographie, Université de Nantes*, 446 p.

PORTAL C. 2005. Le patrimoine géomorphologique du Parc naturel régional de Brière (Loire-Atlantique). *Mémoire de Master 2 Recherche «Terres et mers atlantiques», IGARUN*, 90 p.

PORTAL C., Belier L., Bonnet P., Guiheneuf P., Menanteau L., Sellier D. 2009. De la Brière à l'océan. Guide pédagogique, *Parc naturel régional de Brière - Laboratoire Géolittomer*, 63p.

PORTAL C., 2010. Relief et patrimoine géomorphologique, application aux parcs naturels de la façade atlantique européenne. *Thèse de Géographie, IGARUN*, 410p.

PRIGENT D., 1974. Etude de quelques mégalithes, témoignages de la transgression flandrienne aux abords de l'estuaire de la Loire. *Diplôme d'études approfondies de géologie appliquée, Université de Nantes*, 76p.

PRIGENT D., BIDEAU D. & GALLAIS J.-Y., 1975 - Géologie et préhistoire de la presqu'île guérandaise, *Penn Ar Bed*, **n° 83**, pp. 185-197.

PRIGENT D. & VISSET L., 1977. Etude géologique archéologique et palynologique de deux menhirs situés dans les marais de Brière (Loire-Atlantique). *Bulletin Sociétés Sciences naturelles Ouest de la France*, **tome LXXV**, pp. 144-161.

PRIGENT D., 1978. Contribution à l'étude de la transgression flandrienne en Basse-Loire, apport de l'archéologie, études préhistoriques et protohistoriques des Pays de la Loire, **vol. 5**, 177p.

PRIGENT D., 1979. Briquetages de la Cote méridionale bretonne et niveaux marins. *Oceanis* **5**, pp. 167-173.

SELLIER D. 2007. Relief et patrimoine géomorphologique du Pays de Guérande. *Les Cahiers du Pays de Guérande* **46**, pp. 39-61.

SELLIER D. 2009. La vulgarisation du patrimoine géomorphologique objets, moyens et perspectives. Géographies, *Association de Géographes Français*, **86**, 1, pp. 67-81.

SELLIER D. 2010. L'analyse intégrée du relief et la sélection déductive des géomorphosites : application au relief de la Charente-Maritime (France). *Géomorphologie, reliefs, processus, environnement*, **2**, pp. 199-214.

SELLIER D., 2012. Géomorphologie de l'estuaire de la Loire, éléments de vulgarisation et de patrimonialisation. *Les cahiers Nantais* **2012-1**, pp. 45-64.

SELLIER D., PORTAL C, 2013. Le patrimoine géomorphologique du Parc naturel régional de Brière (Loire-Atlantique) et la sélection de géomorphosites : héritages naturels et héritages culturels. *Collection EDYTEM. Cahiers de géographie*, **numéro 15**, 2013. Gestion des géosites dans les espaces protégés. pp. 163-170.

SOCIETE D'ETUDES TECHNIQUES PRAUD (S.E.T. PRAUD), 1982. Etude hydraulique, pédologique, agro-économique des marais du bassin du Brivet. Définition d'un programme d'aménagement. *Archives du PNR de Brière.*

STEPHAN P. & GOSLIN J. 2014. Évolution du niveau marin relatif à l'Holocène le long des côtes françaises de l'Atlantique et de la Manche : réactualisation des données par la méthode des « sea-level index points. *Quaternaire,* **vol. 25/4**, pp. 295-312.

SYNDICAT MIXTE POUR L'AMENAGEMENT HYDRAULIQUE DU BASSIN DU BRIVET, 1992. Etude d'impact de l'aménagement hydraulique des marais du bassin du Brivet. *Archives du PNR de Brière.*

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

THIBAUDEAU G., 1978. Rapport manuscrit des sondages en Brière *(titre peut être imprécis)*. *Archives du PNR de Brière.*

VERGER F., 1983. Marais et wadden du littoral français, Paradigme, *Terre & Société, Libraire Minard*, 549p.

VERGER F., 2005. Marais et estuaires du littoral français*, Belin*, Paris, 335p.

VIEAU M., 1982. Le chronomètre préhistorique de Saint-Nazaire : Etude du matériel archéologique du bassin de Penhouet. *Association d'études préhistoriques et protohistoriques des Pays-de-la-Loire*. Nantes, 164p.

VINCE A., 1958 - Notre Brière, *Nantes-Commerce*, 88p.

VINCE A., 1961. La Brière : origine des marais; son habitat, témoin d'un genre de vie abandonné. *Norois*, **n°31**, Juillet-Septembre 1961. pp. 332-336.

VISSET L., 1972. La Butte aux Pierres (Grande-Brière, L.A.) Etude pollinique, *Bull. Soc. Sc. De Bretagne*, **T. XLVII**, 3-4, pp. 219-223.

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

VISSET L., 1982 - Nouvelles recherches palynologiques (Boréal-Actuel) dans le marais de Bnère Ile d'Errand en Saint-Malo-de-Guersac (Loire-Atlantique - France). *Bul. AFEQ*, **1**, pp. 29-38.

VISSET L., 1985. Dernières données pollenanalytiques et radiométriques du golfe Brieron (Massif Armoricain, France). *Ecologia mediterranea*, **tome 11 n°1**. Changements hydrologiques dans la zone tempérée au cours des quinze derniers millénaires / Paleohydrological changes in the temperate zone in the last 15000 years. Marseille (France) 3-5/07/1984. pp. 107-116

VISSET L., 1988 - The Brière Marshlands : a palynological survey. *NewPhytol.*, **110**, pp. 409-424.

VISSET L. & WILLKOMM H., 1988. Etude palynologique des marais de la Crole dans le Haut Brivet. *Rapport non publié*, 9p.

VISSET L., 1990 - 8 000 ans en Brière, Rennes, *Éditions Ouest-France,* 63 p.

VISSET L. 1991 – 1995. Etude dendrochronologique des arbres fossiles de l'île d'Errand. *Archives du PNR de Brière.*

VISSET L., GIRARDCLOS O. & LAMBERT G.N., 1994. La forêt de chênes sur tourbe, à l'île d'Errand, dans les marais de Brière (Massif Armoricain - France), Palynologie et premiers résultats dendrochronologiques. *Quaternaire*, **vol. 5, n°2**, 1994. pp. 69-77;

En complément, de nombreuses archives de sondages sédimentologiques et pédologiques ont été consultées au PNR de Brière.

G. Table des figures et illustrations

Table 1 Récapitulatif des principales sources de sondages disponibles. Réal Pouzet P.....22

Figure 1 Présentation du Litto3D de 2011 sur la Brière, symbologie allant de 0m NGF (noir) à 10m NGF (blanc) 2
Figure 2 Présentation d'un transect topographique réalisé avec l'outil "Profil Tool" de Qgis. 2
Figure 3 Localisation et interprétation des accidents topographiques identifiés par analyse de la Litto3D - Réal P. Fernandez 2
Figure 4 Exemple de Type 1 : détection d'un paléochenal. Secteur : Montoir-de-Bretagne, route de St-Malo-de-Guersac. A : BD ORTHO 2018 / B : Litto3D 2011 / C : Raster de Pente. 2
Figure 5 Exemple de Type 2 : détection d'un ancien réseau de canaux anthropisés. Secteur : La Guesne (Crosac), rue des Marais. A : BD ORTHO 2018 / B : Litto3D 2011 / C : Raster de Pente. 2
Figure 6 Exemple de Type 3 : détection de possibles traces de variation du niveau d'eau. Secteur : réserve des Grands Charreaux, près de la Curée de la Chaussée Neuve. A : BD ORTHO 2018 / B : Litto3D 2011 / C : Raster de Pente. 2
Figure 7 Localisation de l'ancien estuaire du Brivet selon M. Vieau (1982) 2
Figure 8 Comparaison de photo aérienne actuelle (A) et récente (2012, B) dans le secteur de la réserve des Grands Charreaux 2
Figure 9 Coupe verticale dans le marais de Rozé par l'abbé A. Vince durant les années 1950, d'après Vince (1959). DAO Fernandez P. 2
Figure 10 Localisation des données géomorphologiques disponibles - Réal. Fernandez P. 2
Figure 11 Coupe transversale de la Grande Brière réalisée en 1955 par la société Béarnaise P.R.E.P.P. DAO Fernandez P. 2
Figure 12 Zonages pédologiques de la Brière et ses abords, d'après la S.E.T. Praud, 1982 - Réal Fernandez P. 2
Figure 13 Localisation des sondages géotechniques issus de la banque du BRGM, d'après la base de données InfoTerre. Réal Fernandez P. 2
Figure 14 Schéma géomorphologique de l'estuaire de la Loire, d'après D. Sellier (2012) et C. Portale et D. Sellier (2013). Réal cartographique Fernandez P, transect issue des travaux d'origine. 2
Figure 15 Évolution ancienne de la cuvette briéronne, d'après C. Portale (2009) DAO Fernandez P. 2
Figure 16 Principales phases de la sédimentation briéronne, d'après C. Portale (2009). DAO Fernandez P. 2
Figure 17 Synthèse de la transgression flandrienne en Bretagne sud, d'après Stéphan et Goslin, 2014. DAO Fernandez P. 2
Figure 18 L'embouchure de la Loire et la Grande Brière lors de la transgression flandrienne, d'après C. Portale (2009). Réal Fernandez P. 2
Figure 19 Localisation des nouvelles coupes géomorphologiques réalisées au cours de l'étude documentaire. Réal Fernandez P. 2
Figure 20 Légende des coupes géologiques réalisées au cours de l'étude documentaire. Réal Pouzet P. 2
Figure 21 Coupe A : Montoir de Bretagne - Crozac. Réal Pouzet P. 2
Figure 22 Coupe B : Canal du Bréca - Le Grand Copis. Réal Pouzet P. 2
Figure 23 Coupe C : Canal des Fougères - Loire. Réal Pouzet P. 2
Figure 24 Coupe D : Estuaire du Brivet - Donges. Réal Pouzet P. 2