

RAPPORT D'ETUDE

Projet de valorisation d'un espace naturel et mégalithique : étude de la relation sol-végétation et des potentialités de restauration d'habitats de landes (Erdeven, 56)



Auteur : Kevin DE LANGENHAGEN

DEPARTEMENT DU MORBIHAN

Hôtel du Département
2, rue Saint Tropez, CS 82400
56009 VANNES Cedex, France
02 97 54 80 00 ; www.morbihan.fr



REMERCIEMENTS

Je souhaite sincèrement rendre hommage et remercier chaleureusement, toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué au bon déroulement de mon stage et à ses réussites. Grâce à eux, ce fût assurément une belle aventure, tant sur le plan personnel que professionnel, ou encore pédagogique.

Je pense tout d'abord à mon trinôme de tuteurs du Département, qui m'a accueilli et intégré aux équipes, puis orienté dans cette grande structure. Leur accompagnement sur tous les plans, leur expérience et leur regard critique, ont été indispensables pour mener à bien le travail demandé. Je veux évidemment parler d'Emmanuelle MORIN, Responsable du Service Espaces Naturels Sensibles et Randonnées, Jean Louis BELLONCLE et Franck DANIEL, Chargés de mission au Service de l'Eau, de l'Aménagement Foncier et des Espaces Littoraux.

Par ailleurs, ces pensées sont adressées aux autres personnes ressources du Département du Morbihan, pour leurs précieux renseignements délivrés, dont font partie :

- Romain CHAUVIERE, Adjoint du Directeur des Routes et de l'Aménagement, pour m'avoir accepté, accueilli et orienté dans ce stage ;
- Thierry COUESPEL et Laurent PERIGNON, respectivement Chargé de mission et gestionnaire d'ENS du Service Espace Naturels Sensible et Randonnées ;
- Déborah SEBAG, Chargée de mission du Service Départemental Archéologie ;
- Benoît DOUILLARD, Chargé de mission du Service d'Information Géographique des Routes et de l'Aménagement.

Ces remerciements sont tout autant destinés aux membres du CSEM qui, par leur suivi et le soutien scientifiques apportés, ont été une vraie boussole dans ces recherches, avec notamment :

- Bernard CLEMENT, grand spécialiste des landes de Bretagne, Phytosociologue et Maître de conférences en écologie végétale, de l'Université de Rennes 1, laboratoire écosystèmes-biodiversité-évolution ;
- Philippe MEROT, Agronome et Directeur de recherche en agronomie et hydrologie, professeur consultant d'Agrocampus Ouest ;
- Evelyne GOUBERT, Géologue et Maître de conférences en géosciences marines et géomorphologie littorale, Enseignante-chercheuse de l'Université de Bretagne Sud, Laboratoire Géoscience Océan.

Ce témoignage de ma reconnaissance va de même et sans conteste, à mes enseignants. Car en plus de me transmettre avec patience et passion leurs savoirs, ils ont su rester disponibles pour m'accompagner dans ce contexte particulier des années scolaires 2020-2021. Leur expertise, leur investissement et leurs conseils, ont sans aucun doute été déterminants. Il est question entre autres de :

- Jacques HAURY, Enseignant-chercheur en écologie végétale, de l'UMR INRAE Ecologie et Santé des Ecosystèmes, Laboratoire Ecologie et Santé des Plantes ;

- L'équipe ACO de l'UMR INRAE Sol Agro et hydrosystème Spatialisation, Département Milieu Physique / Paysage / Territoire, avec surtout :
 - Mes référents pédagogiques Christian WALTER, Directeur de l'unité, et Didier MICHOT, Enseignant-chercheur en science du sol / géophysique / gestion de déchets ;
 - Blandine LEMERCIER, Ingénieure de recherches en science du sol ;
 - Anne JAFFREZIC, Enseignante-chercheuse en Agro-hydrologie, premier contact de cette formation qui a accepté ma candidature.

Il est également important d'adresser ces remerciements, à toutes les personnes rencontrées en chemin. Elles m'ont véritablement épaulé dans ma mission, que ce soit par leurs expériences et connaissances, ou tout simplement leur disponibilité. Je souhaite évoquer par exemple :

- Elise LAURENT, Botaniste-Phytosociologue spécialiste de la relation sol-végétation, du Conservatoire Botanique National de Brest ;
- Delphine AUBIN, Chargée de mission Culture, de l'intercommunalité d'Erdeven (Auray Quiberon Terre Atlantique) ;
- Emilie HEDDEBAUX, Chargée de mission et restauratrice du patrimoine, de l'association Paysages de Mégalithes de Carnac et du Sud du Morbihan ;
- Manon TAUDIN, Agent technique, de l'Office National des Forêts ;
- Erwan DE BONDUWE, Architecte Paysagiste, du bureau d'études TIRIAD ;
- Sébastien GALLET, Maître de conférences, de l'Université de Bretagne Occidentale, Département de Biologie de l'UFR Science, Géoarchitecture-Territoires-Urbanisation-Biodiversité-Environnement ;
- La fine équipe des stagiaires, avec entre autres Elodie et Gaël, partageant mon bureau et m'épaulant aussi dans des opérations de terrain parfois très physiques.

Je terminerai par une pensée particulière et profonde, à ma conjointe Laura DELAUNE et ma famille. Avec leur soutien infaillible et leurs recharges de bonnes énergies, ils ont été d'une aide inestimable dans ce voyage éprouvant, à bien des égards, qu'est la reconversion professionnelle.

Un grand merci à toutes et tous.

AVANT-PROPOS

Ce document et ses annexes sont produits et rendus comme **services technique et scientifique, à destination du Département du Morbihan**. Ils sont également réalisés dans le cadre de mon **stage de fin d'études** supérieures en **master**, dont il est l'aboutissement (**mention** Agro-sciences, environnement, territoires, paysages, forêts ; **parcours** Transition, Environnement, Agriculture, Milieux ; **option de spécialisation** Sol-Eau-Hydrosystèmes). Il s'est étalé **sur un semestre** de mars à août 2021 et a fait l'objet d'une **convention entre** :

- **L'institut Agro – Agrocampus Ouest de Rennes**, lieu d'enseignements et organisme de ma formation continue ;
- **Le Département du Morbihan**, structure professionnelle commanditaire de l'étude exposée ci-après et qui m'a recruté en tant que stagiaire pour la réaliser.

Par ailleurs, ces documents, **délivrés avec une note de synthèse** et destinés au commanditaire de l'étude associée, ont **inspiré la rédaction d'un mémoire** qui valorise l'aspect pédagogique du travail d'étudiant (support d'évaluation finale / validation des 2 ans de formation continue).

Enfin, ces livrables professionnels et pédagogiques ont **été accompagnés de présentations orales**, respectivement organisées les 20 et 21 septembre 2021.

Modifications du document :

Indice	Date	Description	Rédacteur
0	20/06/2021	Création de la trame et rédaction des pages liminaires	KDL
1	12/07/2021	Modification de la trame, rédaction du rapport	KDL
2	16/08/2021	Modifications pour prise en compte des remarques de l'équipe encadrante	KDL
3	16/09/2021	Version provisoire	KDL
4	26/11/2021	Version finale	KDL

Crédit photos : Kevin DE LANGENHAGEN, sauf mention contraire.

SOMMAIRE

Les principaux paragraphes du présent document, sont structurés comme suit :

INTRODUCTION	1
1. ELEMENTS DE CADRAGE : CONTEXTE GENERAL, ENJEUX ET OBJECTIFS	2
1.1 CONTEXTE GENERAL	2
1.2 ENJEUX DU PROJET DE VALORISATION DE L'ENS	4
1.3 PROBLEMATIQUE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE DES SOLS ET DE LA VEGETATION	5
2. DEMARCHE METHODOLOGIQUE DE L'ETUDE	7
2.1 STRATEGIE SUIVIE.....	7
2.2 IDENTIFICATION DE LA ZONE D'ETUDE AU SEIN DE L'ENS ER VARQUEZ.....	7
2.3 ELABORATION DU PLAN D'ECHANTILLONNAGE.....	8
2.4 COLLECTE DES DONNEES TERRAIN POUR LA PHYTOSOCIOLOGIE ET LA PEDOLOGIE	12
2.5 RESSOURCES ET MOYENS MOBILISES	16
2.6 CADRE CONCEPTUEL RETENU	18
2.7 LIMITES DE L'ETUDE, DIFFICULTES ET SOLUTIONS ENVISAGEES.....	18
3. ETAT DES CONNAISSANCES DISPONIBLES	19
3.1 CADRE JURIDIQUE ET REGLEMENTAIRE	19
3.2 ELEMENTS D'INFORMATION CONCERNANT LES VOILETS ENVIRONNEMENTAUX.....	20
3.3 EVOLUTION DU PAYSAGE	29
3.4 RETOURS D'EXPERIENCES D'AUTRES PROJETS MORBIHANNAIS SIMILAIRES	38
4. ANALYSE, DESCRIPTION ET SYNTHESE DES DONNEES REUNIES	45
4.1 VEGETATION	45
4.2 SOLS	58
4.3 ANALYSES CROISEES ET MISE EN EVIDENCE DES RELATIONS SOL / VEGETATION	78
4.4 SYNTHESE SUR LES POTENTIALITES DE RESTAURATION DE LANDES	83
5. ORIENTATIONS ET DISCUSSIONS SUR LES POTENTIALITES ECOLOGIQUES	85
5.1 SCENARIOS ENVISAGEABLES SUR LA RESTAURATION DES LANDES	85
5.2 PRECONISATIONS SUR LES MODALITES ET LEVIERS DE RESTAURATION / GESTION	93
5.3 PERSPECTIVES ET POINTS DE VIGILANCE	95
CONCLUSION	99
BIBLIOGRAPHIE	100
WEBOGRAPHIE	103

INTRODUCTION

Les sols ou couvertures pédologiques, sont des objets naturels hétérogènes complexes, mais majoritairement continus (*Baize et Girard, 2009*). En effet, ces systèmes sont constitués d'éléments minéraux et organiques, qui s'organisent de façon pluridimensionnelle et dynamique. Ils sont résultants et à l'interface de tous les compartiments environnementaux : lithosphère, hydrosphère, cryosphère, atmosphère, biosphère. Cette dernière comprend entre autres le règne végétal, qui ne peut se développer sans l'existence de la pédosphère, car sa position est essentielle aux cycles et équilibres terrestres. Leur formation et évolution sont donc liées (altération biogéochimique et nutrition / diversité), bien que ces sphères soient fréquemment et variablement modifiées, par des activités humaines ou événements ponctuels. Ces influences mutuelles sont principalement fonction de la topographie et du climat, ou encore des types de sols et de roches mères.

Ainsi, une couverture pédologique n'est pas obligatoirement propre à une couverture végétale, mais elle conditionne les communautés suivant leur capacités à s'y installer. Les relations entre les limites cartographiques de sols et celles de groupements végétaux, sont en ce sens bien observables (*Laurent & Douard, 2017a*).

De surcroît, nombre de gestionnaires d'espaces naturels / porteurs de projets d'aménagement, souhaitent définir dans leur territoire d'action, les meilleurs orientations de gestion / restauration. C'est pourquoi, la mise évidence de ces liens pédologie-phytosociologie, des dynamiques et trajectoires potentielles de la végétation, a pour but d'accompagner la restauration et la préservation des milieux naturels / semi-naturels.

Dans le cas présent, les sols et la végétation ont donc été caractérisés pour analyser les enjeux relatifs à une éventuelle opération de défrichement / déboisement sur un ENS. Les trajectoires potentielles d'évolution de la végétation ont aussi été étudiés, pour apprécier les possibilités de restauration de la lande.

Nous commencerons ici par donner les éléments de cadrage permettant de s'approprier le projet et l'étude, pour ensuite développer la méthodologie mise en œuvre au cours de celle-ci. Une synthèse des connaissances disponibles sera déclinée en suivant, avant de laisser place à une description exhaustive des résultats. A la fin de ce document, une interprétation de ces derniers est faite quant aux orientations et potentialités, auxquelles la restauration ouvre la voie.

1. Eléments de cadrage : contexte général, enjeux et objectifs

1.1 Contexte général

Au sein de la région Bretagne, les paysages mégalithiques du sud du Morbihan bénéficient d'une politique culturelle bien définie. Cela les a amenés à faire actuellement l'objet d'une démarche d'inscription au patrimoine mondial UNESCO, portée par l'association Paysages de mégalithes (figure 2, cf. annexe I : Fiche « Erdeven » du projet de candidature UNESCO et précisions archéologiques) (DRAC Bretagne, 2010 ; Leblé et al, 2020).

Dans le cadre de cette démarche, un projet est en réflexion à propos de l'aménagement des alignements de mégalithes sur la commune d'Erdeven (De Bonduwe et Luzu, 2017). Ils correspondent dans les faits à des ensembles de divers types, sur une bande d'environ 2,7km de long, s'étendant des lieux dits de Kerzerho à Varquez (plus de 1000 mégalithes).

S'inscrivant dans ce projet d'aménagement et en préfiguration de la candidature UNESCO, le Département du Morbihan a souhaité réaliser la présente étude, afin de mettre en place des actions associées à sa compétence « Espaces Naturels Sensibles » (Conseil General du Morbihan, 2012 ; Heddeboux, 2013). En effet, il porte la volonté de valoriser un site ENS concerné par cet aménagement et ce classement, car situé sur la commune littorale d'Erdeven : Er Varquez (figures 1 et 2) (Ferrand, 2016). Il s'agit là d'un boisement composé essentiellement de pins maritimes, qui borde un étang et abrite un groupement remarquable de mégalithes. Cependant, ces vestiges sont en réalité majoritairement dissimulés par la végétation de sous-bois (dressés ou couchés).

En conséquence, une ouverture de la végétation est envisagée sur une partie de cet espace naturel (figure 3), sachant que des opérations similaires ont déjà été réalisées, au niveau de certains de ses monuments mégalithiques (cf. §2.2).



*Figure 1 : photographie aérienne de l'ENS Er Varquez, avec sa forêt et son étang
(Crédit : J-P Ferrand)*

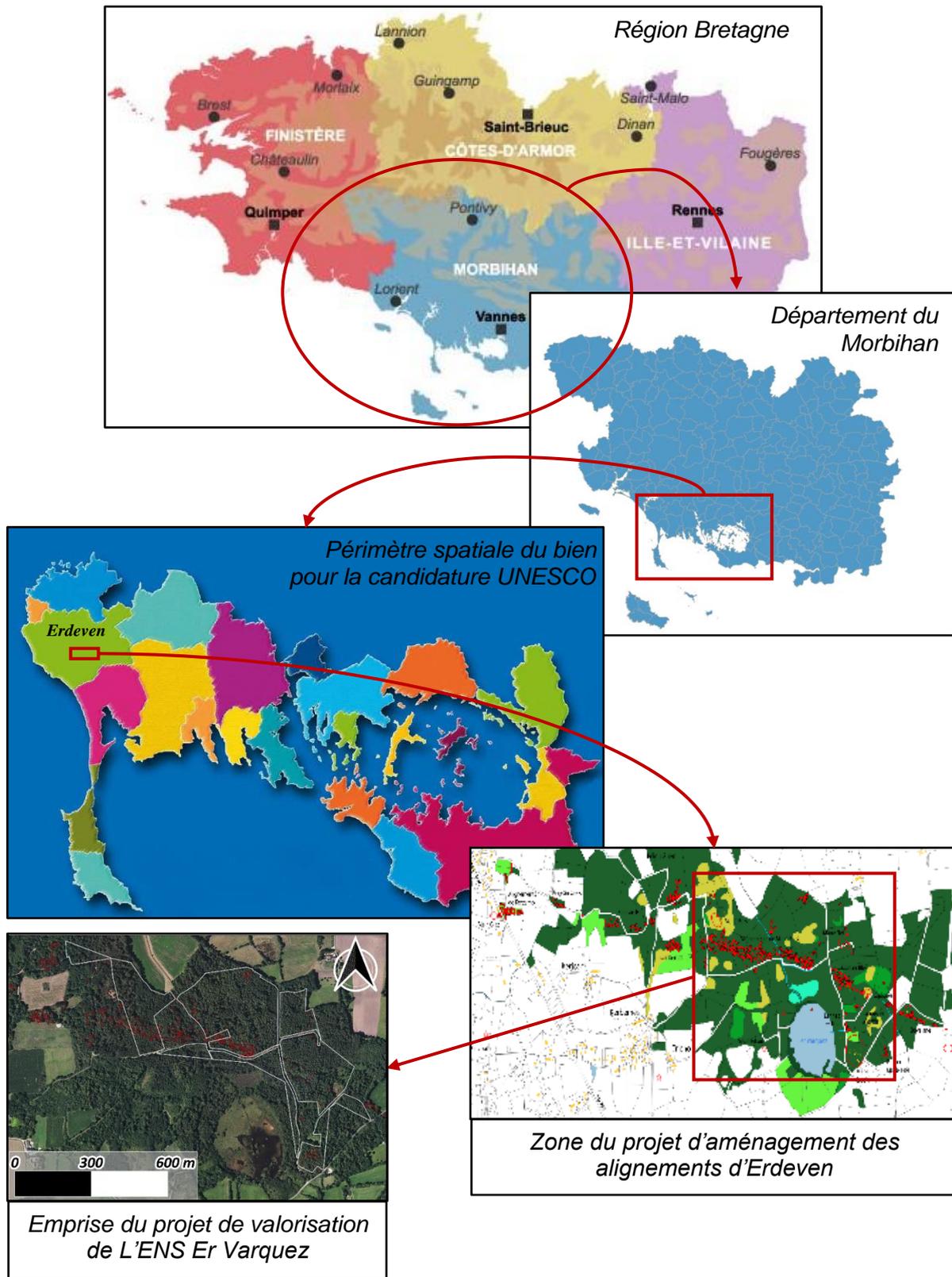


Figure 2 : délimitations des périmètres géographiques de l'étude
(Source : DRAC Bretagne, 2010 ; De Bonduwe et Luzu, 2017)

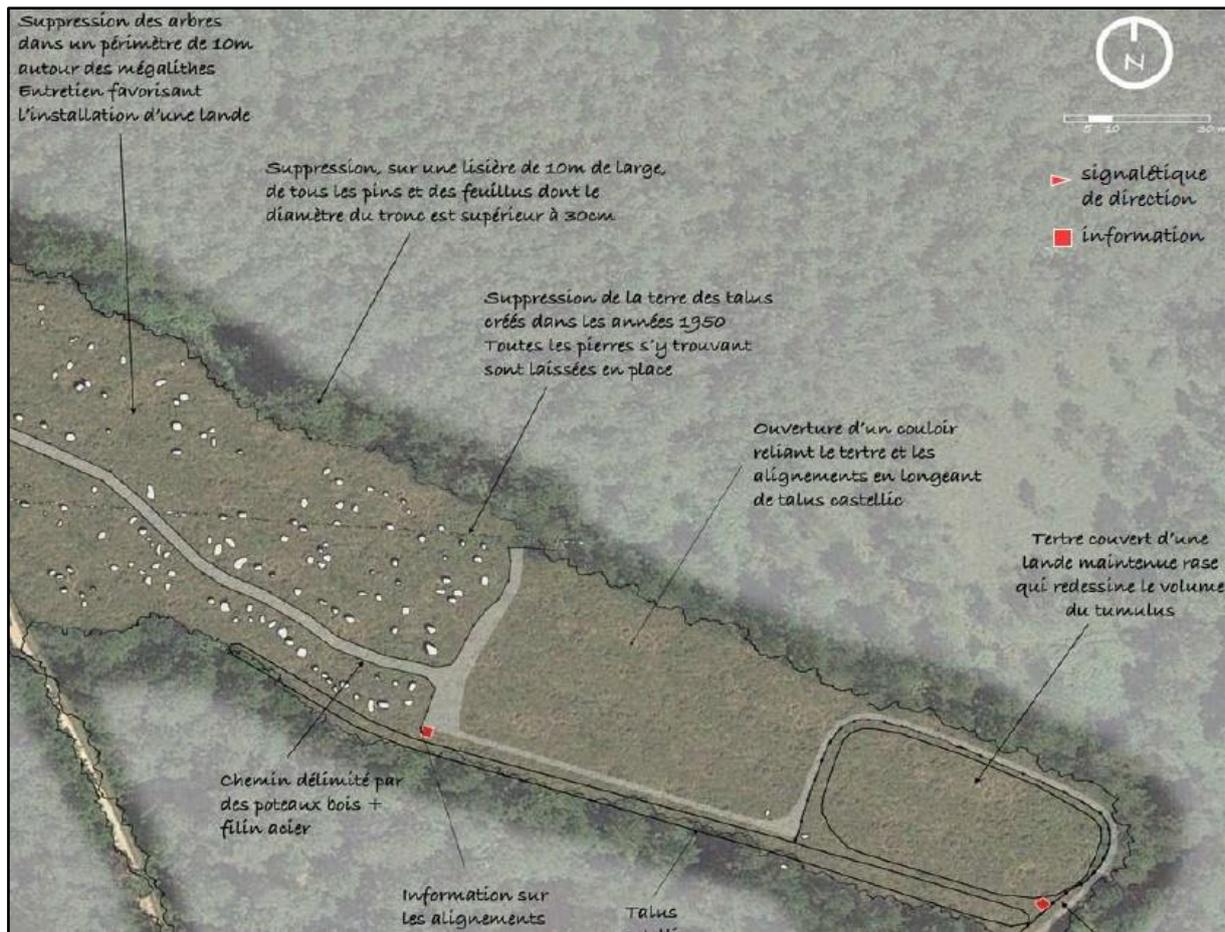


Figure 3 : extrait de la proposition du bureau d'études paysagères TIRIAD, pour le projet d'aménagement des alignements mégalithiques d'Erdeven ► ouvertures de la végétation autour des mégalithes Lannec Er Gadouer et Coët Er Blei, par la réalisation d'un couloir déboisé faisant ressortir la lande et délimité par une lisière de feuillus (objectif paysagé proche de celui de Carnac) (Source : De Bonduwe et Luzu, 2017)

1.2 Enjeux du projet de valorisation de l'ENS

Les enjeux liés à ce projet de valorisation du site, par son aménagement et sa gestion a posteriori, sont par ailleurs multiples. Il est question d'abord de mettre en valeur son patrimoine naturel (figure 4). En effet, l'ambition est relative à l'écologie par la restauration et le maintien de landes à partir de systèmes landicoles et forestiers, actuellement en place (Blond, 2016 ; ONF, 2016). Cet espace naturel alors réouvert et d'intérêt écologique, améliorerait la biodiversité du site, mais il convient de vérifier qu'un tel développement est possible, au regard des conditions biotiques et abiotiques des milieux. C'est d'ailleurs en ce sens que le caractère scientifique de l'étude présentée ici, impliquerait une plus-value sur le plan pédologique, par l'amélioration de la connaissance des sols du site et leur capacité à répondre à ce premier enjeu.

De la même manière, la volonté ici est relative à l'archéologie, par la sublimation et la conservation des alignements de mégalithes d'Erdeven (figure 4) (Leblé et al, 2020). La mise en valeur de ce patrimoine, renforcerait ainsi l'appréciation universelle exceptionnelle de l'ensemble du bien à inscrire. La sélection des candidats au patrimoine UNESCO étant en réalité, conditionnée par la satisfaction de critères exigeants sur la totalité du périmètre inscrit (UNESCO, 2021).

De plus, il est également à considérer des enjeux liés au tourisme, avec jusqu'à 65 000 visiteurs en 2018 (éco-compteurs du Dpt56) (figure 4). En effet, Le Varquez offrant un spectacle à part et tout autant éblouissant que son voisin de Carnac, ce projet est sensé se faire dans l'optique de réguler la fréquentation de ce dernier. Cependant, cette affluence de nouveaux visiteurs, de Carnac ou d'ailleurs, devra être compatible avec les autres enjeux (ENS, alignements d'Erdeven, UNESCO) (Ferrand, 2016). Puis en plus de favoriser la biodiversité, l'ouverture de la végétation faciliterait l'aménagement et la gestion des alignements, en termes de sécurité des biens et des personnes. Force est de constater qu'il serait bénéfique de supprimer des arbres dangereux et en mauvais état, du fait de leur densité ou de leur vieillesse. Ils pourraient tout à fait chuter à proximité de lieux de passage / contemplation du patrimoine, ou encore propager d'éventuels incendies.

Enfin, la réussite d'un tel projet de double valorisation qui se veut expérimental, afficherait une exemplarité et appellerait à sa répétition au-delà du site ENS en question (figure 4).

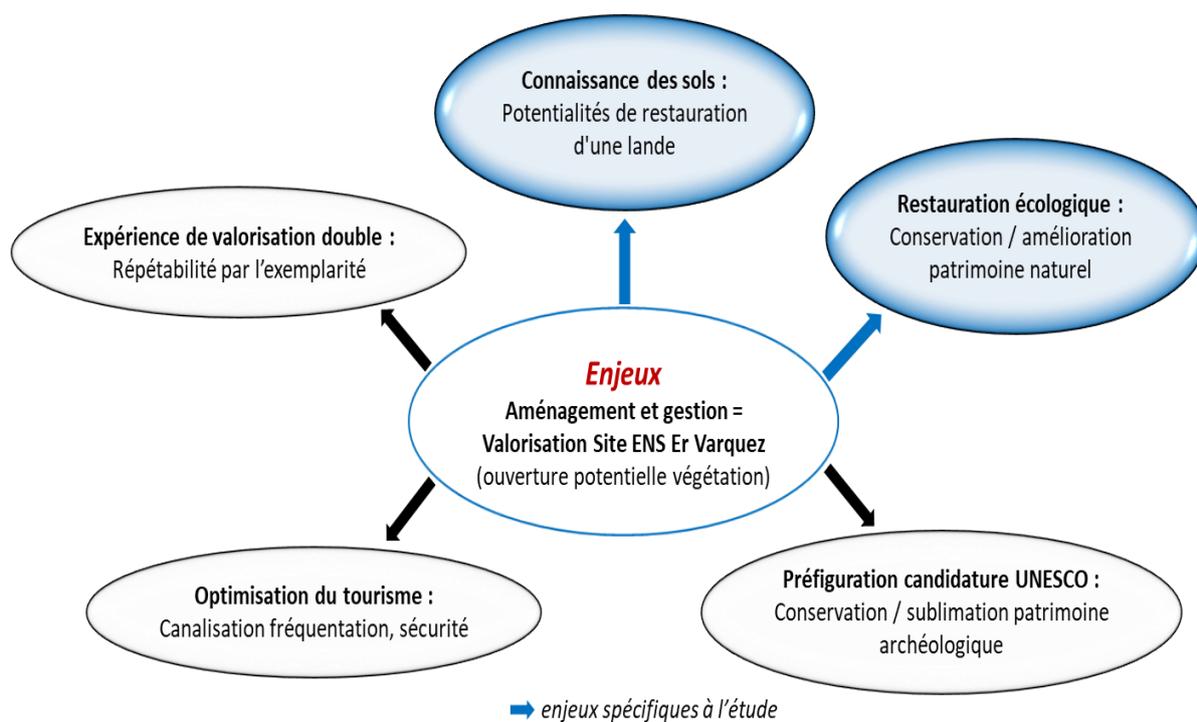


Figure 4 : représentation schématique des enjeux du projet de valorisation de l'ENS Er Varquez

1.3 Problématique et objectifs de l'étude des sols et de la végétation

1.3.1 Problématique

Au regard des éléments précités, le Dpt56 s'est donc interrogé en tant que commanditaire, propriétaire et gestionnaire de l'ENS Er Varquez. Il l'a fait, d'une part, à propos des caractéristiques pédologiques locales actuelles et, d'autre part, concernant les trajectoires de végétation probables après son ouverture, qui ensemble déterminent la capacité du milieu à retourner vers un écosystème de lande (Laurent & Douard, 2017).

En outre, il a souhaité mettre en lumière les potentialités de restauration, ainsi que les meilleures modalités de gestion, d'habitats landicoles aujourd'hui déséquilibrés et boisés. Il s'agit là d'évaluer le gain écologique et paysager de la valorisation du patrimoine mégalithique.

1.3.2 Objectifs

Premièrement et suite au cadrage de cette étude, la construction des réponses à cette problématique est passée par une caractérisation des contextes spécifiques à L'ENS : aspects juridiques et environnementaux (figure 5).

De plus et afin de répondre concrètement, il a été nécessaire de réaliser l'inventaire des sols et de la végétation. En effet, certaines propriétés de sols et leurs structures ont été déterminées, tout en conduisant une identification de marqueurs de podzolisation. Il en a été de même quant à la végétation, avec un approfondissement de la question relative à la présence de la Ronce et de la Fougères aigle, parfois envahissantes et nécessitant d'être régulées.

De surcroît, cette mission a exigé de mener des recherches vis-à-vis des déterminants écologiques et sociologiques du site, en explorant son évolution dans le passé à des échelles temporelles multiples (historique du paléo-environnement aux dernières décennies).

Deuxièmement, ce travail a requis de se nourrir d'expériences similaires, mais aussi de connaissances issues de la littérature scientifique relative aux disciplines abordées (figure 5).

En supplément, il a été réalisé une analyse approfondie et croisée des données disponibles / collectées, tout en mobilisant l'expertise de plusieurs acteurs et partenaires.

Troisièmement et au regard des étapes précédentes, il a fallu évaluer les trajectoires probables de certaines espèces végétales, pour enfin proposer un gradient de potentialités de restauration (figure 5).

Finalement, les meilleures modalités de restauration et de conservation des milieux, ont été préconisées (figure 5). Toutefois, ces avis ont pour unique but d'aider à la décision, dans le pilotage et l'évaluation d'actions d'aménagement et de gestion du site, afin de mieux comprendre ce qui y est impliqué. Il s'agit dans le cas présent d'orientations possibles, voire de conseils, mais non directement de propositions concrètes garanties de résultats, les choix étant faits a posteriori par le commanditaire et les acteurs des différents projets.

<i>Caractérisation :</i> +	<i>Evaluation :</i> +	<i>Définition :</i> +	<i>Préconisations :</i>
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Contextes ➤ Sols / Végétation ➤ Historique 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Connaissances / Retours d'expériences ➤ Données 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Trajectoires probables végétation ➤ Potentialités restauration 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Aménagement ➤ Gestion

Figure 5 : représentation schématique des objectifs de l'étude

2. Démarche méthodologique de l'étude

2.1 Stratégie suivie

Afin de répondre au mieux à la problématique énoncée précédemment, en atteignant les objectifs associés, la stratégie s'est traduite par la mise en place d'une méthodologie d'étude (figure 6). Cette approche de la relation sol / végétation, mise à profit pour l'écologie de la restauration, a donc donné lieu à la formulation d'axes de travail déclinés en différents sous-objectifs comme suit :

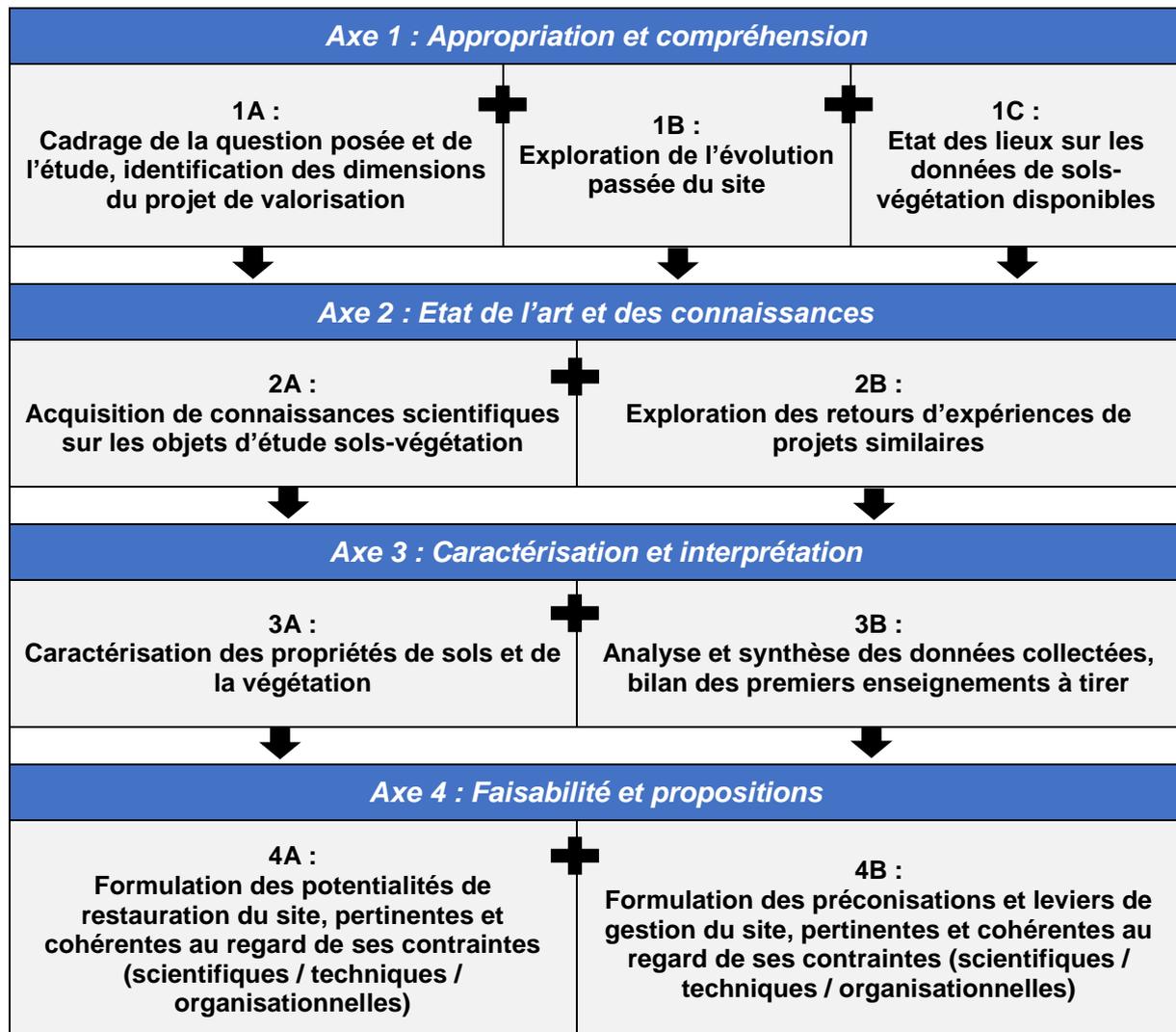


Figure 6 : représentation schématique des axes méthodologiques de l'étude

2.2 Identification de la zone d'étude au sein de l'ENS Er Varquez

L'ENS concerné ici possède une superficie de 52ha, étant par ailleurs intégré aux 150ha d'espaces boisés de la commune d'Erdeven et bordant son étang communal du Varquez (ONF, 2016). Toutefois, après corrélation entre propriété départementale et alignements mégalithiques, la démarche méthodologique ci-dessus s'est appliquée sur un périmètre de 27ha (parcelles privées non comprises) (figure 7).

En tous les cas, la superficie d'intervention potentielle sur la végétation, sera probablement à ajuster : d'une part, car le projet d'aménagement des alignements de mégalithes d'Erdeven n'est pas validé définitivement et, d'autre part, car des objets non géolocalisés (mégalithes / murets / talus / fossés), mais pouvant être d'intérêt archéologique, ont été aperçus pendant les opérations de terrain. La délimitation a donc été faite en sachant que le dernier recensement de

2.3 Elaboration du plan d'échantillonnage

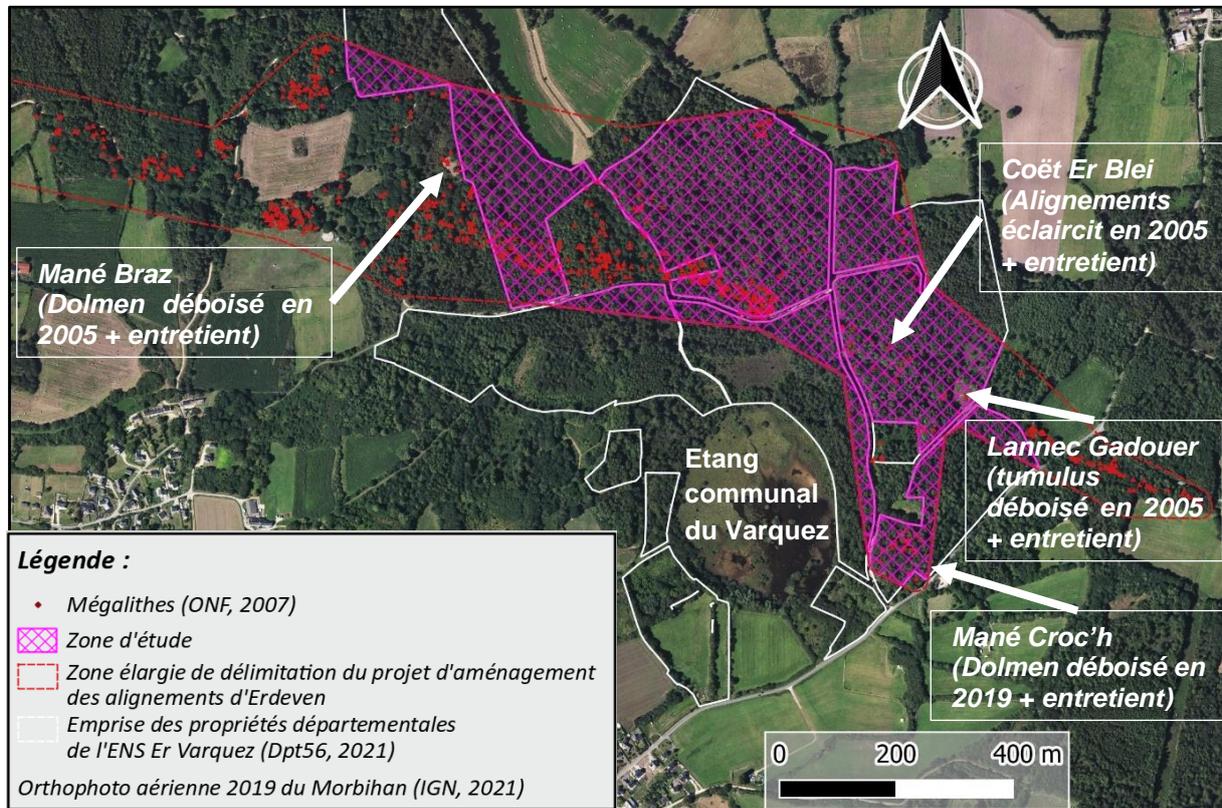


Figure 7 : emprise de la zone d'étude sur l'ENS Er Varquez

La stratégie et la démarche de construction du plan d'échantillonnage au sein de la zone d'étude, se sont inspirées d'un travail sur la relation sol-végétation du CBNB (Laurent & Douard, 2017). Néanmoins, il a fallu s'adapter à l'échelle de la zone d'étude et ses contraintes archéologiques, ou encore aux impératifs temporels et économiques de cette mission. Cette stratégie a donc été établie au regard de couches de données cartographiques :

- Existantes et agrégées dans un premier temps, telles que :
 - La géolocalisation par l'ONF des mégalithes / murets (Dardignac & Leroux, 2007) ;
 - Les matériaux parentaux du sol (données issues de la BdD CHARM-50, cf. annexe II : Carte géologique de la zone d'étude) (BRGM, 2019) ;
 - Les types de sols prédéterminés en 1980 (données issues de minutes de terrain, cf. annexe III : Carte des sols de la zone d'étude en 1980 + nomenclature figure 67) (Rivière, 1980) ;
 - L'occupation historique des sols estimée (données issues de la BdD ORTHO HISTORIQUE, cf. figure 17 : Carte de l'occupation des sols de 1950-1965 de la zone d'étude) (IGN, 2018) ;

- Les altitudes (données issues de la BdD RGE ALTI 1m, cf. annexe IV : Modèle numérique de terrain de la zone d'étude) (*IGN, 2017*) ;
- Les grands types de la végétation spontanée naturelle à semi-naturelle, par la cartographie numérique du CBNB (*CBNB, 2020 ; Sellin, 2020*) ;
- Les habitats Natura2000 (données issues de la BdD BIG HABITATS, cf. annexe V : Carte des habitats Natura2000 de la zone d'étude) (*CBNB, 2016*) ;
- Les types d'habitats en 2016 (données issues d'une cartographie numérique effectuée lors d'un inventaire flore, cf. annexe VI : Carte des habitats de la zone d'étude) (*Blond, 2016*) ;
- Cartographiée en mai dans un second temps, pour cette mission et pour identifier les différences en sous-bois potentiellement liées aux conditions souterraines. Il a donc été nécessaire de construire :
 - La carte des unités homogènes de végétation (cf. §4.1.1) (*BdD auto-construite, 2021*).

Ce dernier point correspond à une cartographie plus précise des milieux de la zone d'étude, le choix de la méthode ayant été fait grâce au document d'aide à la décision du CBNB (*Laurent et al, 2017a*). En effet, les unités homogènes de végétation, ou groupements végétaux, ont été délimitées en sous-bois, car les différentes bases de données consultées ne permettaient pas ce niveau de détail. Si l'habitat majoritaire identifié est une plantation de conifères, il apparaît sur le terrain des différences d'expression au sein des strates végétales (*Blond, 2016*). L'idée était donc de délimiter des aires homogènes, en termes de strates herbacée et arborée / arbustive, pour mieux identifier les différences pédologiques de ce boisement à priori uniforme.

Par ailleurs, cette initiative est un élément fondamental des diagnostics, préalablement à la définition d'une gestion conservatoire de sites comme les ENS, car elle contribue à l'amélioration des connaissances sur la végétation d'un territoire. Il était aussi question dans notre cas d'observations directes de terrain, adressées entre autres à des spécialistes de la biodiversité, donnant la vision précise d'une zone assez réduite (échelle 1/5 000^{ème}).

Par suite, la mise en œuvre de cette cartographie a découlé d'une autre méthode du CBNB, pour les groupements végétaux (*Laurent et al, 2017b*). Elle implique entre autres, une connaissance exhaustive des groupements végétaux présents sur la zone d'étude, plutôt qu'une interprétation directe des syntaxons. Une recherche a ainsi été menée sur les inventaires existants, afin de pré-identifier la flore spontanée (*Blond, 2016 ; Sellin et al, 2020 ; CBNB, 2021*).

En outre, étant donné que la nomenclature de restitution du présent travail est celle de la classification EUNIS, il a fallu transposer les données disponibles depuis la classification CORINE Biotope (*Louvel-Glaser & Gaudillat, 2015*). Puis la détermination in-situ des espèces a été réalisée avec une flore forestière française (*Rameau et al, 2003*). Ces classifications, les référentiels HIC et le Prodrome de végétation de France, ont ensuite été mobilisés dans l'identification et la détermination des habitats (*INPN, 2021a*).

Considérant tout ceci, ces polygones ont été cartographiés avec un téléphone portable géolocalisable (SAMSUNG Galaxy A3 + application Locus GIS pour Android).

Dans un troisième temps, ces informations spatialisées ont toutes été superposées, afin de former les strates d'un plan d'échantillonnage stratifié. L'intérêt de ce procédé de construction était de surcroît multiple ici, car il a été possible de :

- Respecter la règle de triple homogénéité floristique / physiologique / écologique, recommandée pour cette façon de procéder (*Delassus, 2015*) ;

- Prévisualiser la typologie / spatialisation probable des sols, tout en ayant une source de comparaison avec la caractérisation opérée dans cette mission ;
- Pré-identifier les différentes associations végétales potentiellement présentes ;
- Mesurer l'ampleur de la variabilité des milieux décrits ;
- Pressentir l'influence de l'occupation des sols historique ;
- Prédéterminer d'éventuelles corrélations sol-végétation.

Enfin, il a été positionné 48 points de façon déterministe, dans les situations les plus caractéristiques au sein de ces strates définies (figure 8). Cela s'est fait également en évitant les ensembles flous, comme préconisé dans la littérature scientifique, soit des zones intermédiaires / de transition / de contact avec d'autres individus d'association végétales. Puis sachant que certains espaces de la zone de travail avaient déjà été ouverts au niveau de la végétation (Lannec Er Gadouer, Mané Croch, cf. figure 7), il était important d'y placer des points de références (points 1 / 26 / 32).

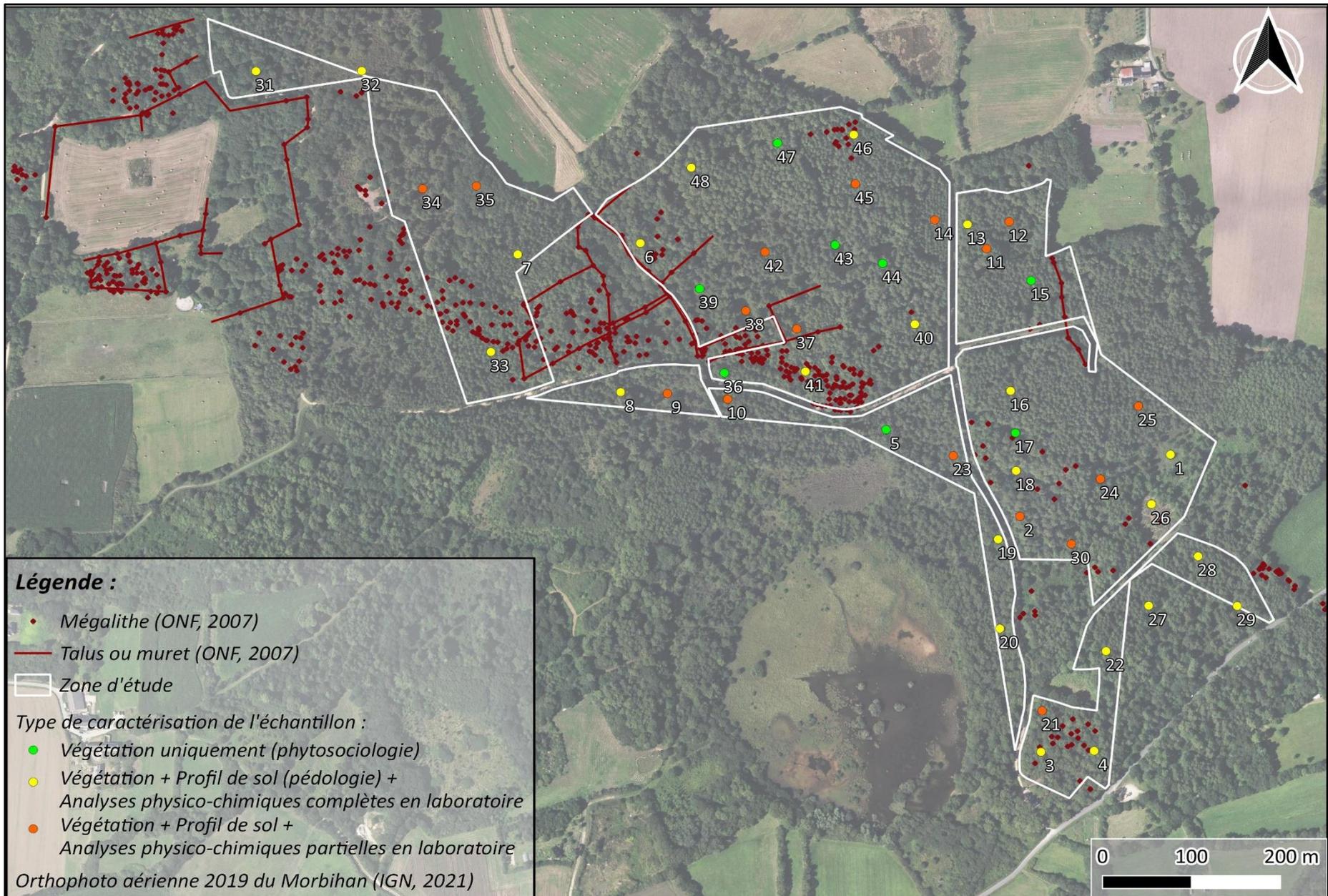


Figure 8 : plan d'échantillonnage de la zone d'étude et types de caractérisations à réalisées

2.4 Collecte des données terrain pour la phytosociologie et la pédologie

La caractérisation pratiquée sur le terrain étant double, la mobilisation de connaissances existantes et méthodes éprouvées l'a été également. Celles consultées pour la cartographie des unités de végétation, ont ainsi de nouveau été utilisées dans cette étape, avec apport de la pédologie (Colombet, 2006 ; Baize et Girard, 2009 ; Jabiol et al, 2009 ; ACO, 2015a ; Delassus, 2015 ; Laurent & Douard, 2017). Toutefois, ces méthodes globalement appliquées en France (homogénéisation des pratiques), ont encore une fois été adaptées aux ressources / contraintes / objectifs / cadres de l'étude. Ces caractérisations ont par ailleurs bénéficié d'une mise au point préalable des encadrants ACO (C. Walter / D. Michot / J. Haury) et du CBNB (E. Laurent) : méthodes, analyses, équipements.

2.4.1 Cadrats pour relevés de végétation

Afin de collecter des données concernant le couvert végétal, des relevés phytosociologiques ont été entrepris au sein des 48 cadrats mis en place. S'inspirant d'un modèle proposé par le CBNB, une fiche descriptive a d'ailleurs été redimensionnée (par relevé, cf. annexe VII : Précisions et documents pour la campagne de collecte des données terrain, figures 69 et 70 + §Précisions relatives aux informations annotées). En effet, elle s'est voulue simplifiée par la suppression d'informations redondantes avec la pédologie, ou non primordiales dans le cas présent, et ce afin de correspondre aux besoins (exemple : algues, salinité car substrat acide et espèces potentielles considérées comme toutes glycophytes).

Par ailleurs, il est à noter que la superficie de 300 à 800m², recommandée pour des relevés phytosociologiques en forêt, était trop importante et pouvait laisser la place à des confusions. En effet, plusieurs polygones homogènes de végétation du sous-bois, auraient pu se retrouver dans la même zone relevée, sachant que le site est une mosaïque dense d'habitats (Blond, 2016). Cette surface minimale a donc été revue à la baisse, pour se rapprocher de celle des habitats de landes et fourrés (50m² minimum) (Delassus, 2015).

2.4.2 Sondages pour la caractérisation in-situ des propriétés de sols

Dans le but d'identifier et décrire les différents horizons composant le sol, il a été réalisé des sondages à la tarière (sur sol non piétiné). Ils consistaient essentiellement à extraire des échantillons de la totalité du profil vertical du sol (ou le maximum), par sections successives apposées ensuite sur une gouttière graduée. Puis une photo d'identification du profil était faite, avec délimitation visuelle des différents horizons (figure 9).

Dans le même temps, le type d'humus, ou « matière organique humifiée », était déterminé après extraction d'une portion de celui-ci, selon un référentiel pour la description de ces horizons holorganiques de surface (Jabiol et al, 2009). Cependant, cela s'est opéré en indiquant seulement le nom de la forme d'humus de premier niveau (mor / moder / mull / amphimus, figure 10). En effet, la capacité à identifier avec certitude une séquence d'horizons de référence, ainsi que la maîtrise des clés de détermination apportées par le document, étaient insuffisantes à cet instant. Notons également que cet humus se reconstitue mal dans le cas de landes anciennement étrépiées, ce qui peut impliquer un biais d'interprétation sur leur fonctionnement (Colombet, 2006).



Figure 9 : photo du profil pédologique au point 3

En supplément, des indices de podzolisation, identifiés comme les plus pertinents, ont été recherchés en lien avec les éléments de la littérature scientifique (exemple : horizons E / Bh, humus).

Par ailleurs, bien que tout ait été mis en œuvre pour optimiser cette campagne, seulement 40 points sur 48 ont été sondés à la tarière. En effet, afin de respecter le planning et en fonction des limites de sol pré-établies par J-M. Rivière en 1980, des secteurs d'étude ont été considérés comme moins prioritaires (représentativité optimale de la variabilité des conditions environnementales respectée malgré tout).

Enfin, des précautions particulières ont été observées vis-à-vis de la conservation du patrimoine archéologique. Elles se sont traduites par la génération et l'application de règles, en relation avec le Service Régional d'Archéologie (cf. annexe VII : §Précautions particulières relatives aux mégalithes présents sur la zone d'étude).

A la fin de cette étape, les renseignements liés à la caractérisation du profil pédologique, étaient inscrits sur une fiche descriptive (cf. annexe VII : figure 71 et 72).

Formes d'humus forestières		
Cas 1	<ul style="list-style-type: none"> • absence d'horizon OH • et horizon A biomacrostructuré ou mésostructuré • discontinuité entre horizons O et horizon A 	mull
Cas 2	<ul style="list-style-type: none"> • succession d'horizons OL, OFzo, OHzo, A ou, parfois, OL, OFzo, A • et horizon A non grumeleux, massif, particulière ou, parfois, soufflé • passage progressif entre les horizons O et A 	moder
Cas 3	<ul style="list-style-type: none"> • horizons OL et OFnoz présents, parfois en plus OHnoz, OFzo, OHzo • passage très brutal entre un horizon OH et un horizon organo-minéral parfois humifère (matières organiques de diffusion) 	mor
Cas 4	<ul style="list-style-type: none"> • succession d'horizons OL, OFzo, OHzo • et horizon A nettement biomacro- ou mésostructuré 	amphimus
Formes d'humus des sols agricoles, landes et pelouses		
Cas 1	Horizon A biomacro- ou mésostructuré, absence de mat racinaire	mull de pelouse ou agri-mull
Cas 2	Horizon A non grumeleux (de juxtaposition), mat racinaire ou horizon OHzo possible	moder de pelouse ou agri-moder
Cas 3	Horizon A massif, mat racinaire ou horizon OHnoz possible	mor de pelouse ou agri-mor
Cas 4	Horizon A biomacrostructuré et horizon OHzo	amphimus de pelouse

Figure 10 : extrait de la clé de détermination des principales formes d'humus forestières de milieux ouverts, climats tempérés (Source : Jabiol et al, 2009)

2.4.3 Prélèvements pour analyses en laboratoire des paramètres physico-chimiques des sols

Définition des paramètres à mesurer et du quantitatif

Premièrement et à des fins de comparaison d'éléments analogues, tout en sachant que la profondeur de prélèvement influence fortement les résultats, il a été décidé de fixer des couches de sol cibles (*Laurent & Douard, 2017*). Ces prélèvements ont donc été faits sur une hauteur de 10cm sous les horizons organiques de surface (humus), puis la profondeur 20-40cm a été retenue pour l'horizon organo-minéral sous-jacent. Ces 2 mesures différenciées permettaient théoriquement de prélever tous les sols de la zone d'étude (même les moins épais) et ce pour :

- Exploiter la spatialisation des paramètres physico-chimiques ;
- Exploiter les grandeurs physico-chimiques des échantillons, afin d'appuyer la caractérisation des types de sols ;
- Maîtriser l'impact économique dû au quantitatif, sachant qu'il y avait peu d'intérêt à analyser systématiquement certaines variables, sauf si l'hétérogénéité était connue.

Par ailleurs, mesurer des grandeurs en laboratoire donne des valeurs certifiées et fiables, dans le cadre d'un traitement statistique. Il a aussi été possible de comparer ces résultats avec certaines caractéristiques appréciées subjectivement sur place (pH, texture).

De surcroît, établir des scénarios de trajectoires de la végétation, donc de potentialités de restauration, nécessite de connaître des paramètres de sol essentiels au développement végétal (*Colombet, 2006*). Il a été défini dans notre cas, les paramètres de niveau trophique et de potentiels hydrogène (pH), de la teneur en matière organique (MO) et du rapport carbone / azote (C/N), ou encore de la CEC et du taux de saturation.

Par conséquent et considérant que pour les mêmes raisons énoncées auparavant, seulement 40 points sur 48 ont pu être prélevés, correspondant alors au quantitatif suivant (cf. figure 8 : « analyses physico-chimiques complètes / partielles en laboratoire ») :

- sur 10 points et les 2 profondeurs = Phosphore échangeable (P)_{DYER} + pH_{eau} + pH_{KCl} + rapport C / N + granulométrie + CEC + taux de saturation (cations échangeables) + Aluminium échangeable (Al)_{KCl} ;
- sur 30 points et les 2 profondeurs = P_{DYER} + pH_{eau} + pH_{KCl} + rapport C / N ;

Définition des méthodes

Deuxièmement, les normes mise en œuvre et référentiels utilisés dans ces analyses, étaient indiqués sur les fiches échantillons pour éviter les erreurs de manipulation et de traitement (cf. annexe VII : figure 5). En effet, bien que sur le plan international, la référence pour mesurer le P échangeable soit la méthode OLSEN, il a été mesuré avec la méthode DYER (*Fardeau et al, 1988*). Cette méthode a paru plus adéquate ici pour un pH pressenti acide à très acide, résultant d'une couverture de résineux et d'un substrat géologique majoritairement acide (cf. §3.2) (*Clément, 2017 ; ASUP, 2012*). Le test d'effervescence vérifiant la présence de calcaire (solution d'acide chlorhydrique), n'a d'ailleurs pas été effectué sur ces sols siliceux.

En ce sens, la CEC et les cations échangeables ont été déterminées après extraction dans une solution de chlorure de cobaltihexamine. Cela permettait d'exploiter correctement les taux de saturation et de préserver le caractère acide des sols (*UNIFA, 2021*), sachant que la CEC varie en fonction du pH et que la méthode METSON s'effectue en remontant le sol à pH_{eau} = 7.

De plus, une détermination par combustion a été privilégiée pour la teneur en CO, car l'attaque acide peut la sous-estimer dans ces sols étudiés (*Christian Walter par mail, 18/05/2021*).

Enfin, l'aluminium échangeable et le pH, ont été mesurés avec du chlorure de potassium, afin de comparer et interpréter les propriétés de sols en termes d'acidité d'échange (*Ollat & Combeau, 1988*).

Par ailleurs, ces mesures ont également servi à la recherche d'indices de podzolisation (lessivage et lixiviation, taux d'aluminium, etc.), dans la continuité de l'identification en §2.4.2.



Figure 11 : mise en œuvre d'une gouge graduée pour les prélèvements de sol

Pour finir, il a donc été prélevé 2 composites par point échantillonné, via l'utilisation d'une gouge graduée (figure 11) d'où étaient extrait verticalement les volumes de terre correspondants. Ces prélèvements se sont faits aléatoirement autour du sondage, dans l'optique d'obtenir un poids de 300-400g de terre par couche de sol. Les composites 0-10cm et 20-40cm, mélangés séparément, ont ensuite été conditionnés en sachets plastiques transparents hermétiques, identifiés et doublés pour y inclure leur fiche de renseignements (cf. annexe VII : figure 73).

Puis l'ensemble des sachets a été envoyé au laboratoire d'analyses sous-traitant (cf. §2.5.2).

La localisation et répartition de ces opérations, réalisées sur chaque point échantillonné dans cette campagne terrain, sont représentées schématiquement ci-après (figure 12). Il s'agit d'une approche standardisée qui a été adaptée en fonction des situations rencontrées (aléas et contre-temps), tout en gardant en vue l'objectif d'homogénéité des relevés.

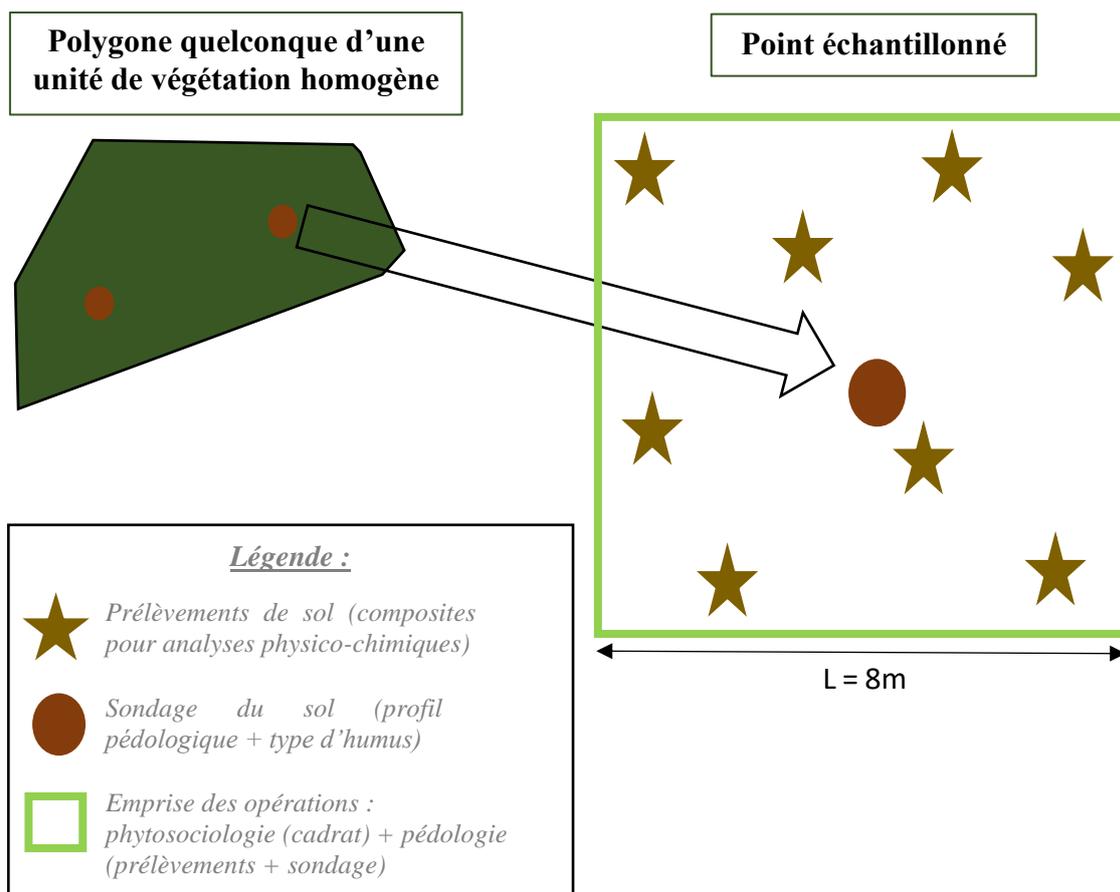


Figure 12 : schéma opérationnel sur un point échantillonné de la zone d'étude

2.5 Ressources et moyens mobilisés

2.5.1 Acteurs

La présente étude étant pluridisciplinaire et transversale, elle a requis la consultation et la collaboration de nombreux acteurs. Il s'agissait là de s'assurer de la prise en compte de l'ensemble des composantes du projet de valorisation. En effet, ces derniers œuvrant pour la connaissance / préservation du site, ou sa mise en valeur / gestion, ils représentent une diversité d'intérêts (Ferrand, 2016). Il était donc important de les impliquer ici, en les faisant participer en tant qu'acteurs du territoire et personnes ressources. Cela a permis de replacer l'action de chacun dans un contexte global cohérent, mais aussi de prendre connaissance des différents points de vue, en analysant leurs concordances et différences. Notons également, que ces différentes personnes enquêtées sont actuellement réunies dans un comité de pilotage, concernant l'aménagement des alignements d'Erdeven.

Ainsi, outre le soutien de l'équipe encadrante (CSEM / Dpt56 / ACO), des acteurs ont été rencontrés dans le cadre spécifique de cette mission (cf. annexe VIII : Informations complémentaires sur le cadrage de l'étude, §Acteurs consultés). Le recueil d'informations auprès d'une vingtaine de professionnels, de différents domaines et niveaux d'organisation, s'est fait notamment via des échanges avec : l'intercommunalité AQTA, la DDTM du Morbihan, la DRAC de Bretagne, le bureau d'études TIRIAD, l'Association Paysages de Mégalithes de Carnac et du Sud du Morbihan, l'UBO, l'UBS, le CBNB, l'ONF, le CMN.

2.5.2 Matériel et documentation

La présente étude était à la croisée du travail de terrain et de celui analytique. Elle a donc requis l'emploi de diverses ressources, en supplément des moyens logistiques / matériels / documentaires du Dpt56. Ces outils mobilisés ici sont les suivants :

- Applications numériques, en interne avec GEOMAP, ou sur le web avec CARMEN (CARTographie du Ministère de l'Environnement, informations environnementales) ;
- Logiciel QGIS et application Locus GIS (SIG et cartographie) ;
- Logiciels R et RSTUDIO (démarche statistique et analyse de données, package Factoshiny), MICROSOFT EXCEL.

En outre, le matériel de terrain pour la pédologie et la phytosociologie, a gracieusement été préparé et prêté par l'organisme de formation ACO (cf. annexe VIII : §Matériel).

Par ailleurs, les analyses physico-chimiques de sols ont été sous-traitées à un laboratoire prestataire. Ce professionnel a été prospecté et sélectionné en fonction de plusieurs critères afin de pouvoir répondre aux contraintes de l'étude et ses exigences de qualité, à savoir :

- Être spécialisé et agréé pour les analyses de terre par l'arrêté daté du 18 décembre 2020, émanant du ministère de l'agriculture (25 établissements agréés) ;
- Être accrédité par le COmité FRançais d'ACcréditation (COFRAC) et / ou opérer les analyses selon des référentiels NF / EN / ISO ;
- Assurer des délais de traitement maximums de 15 jours ouvrés à réception des échantillons de sol ;
- Être en capacité de conserver les échantillons de sol pendant plusieurs mois, afin de réaliser au besoin des analyses supplémentaires ;
- Être localisé le plus près possible du site étudié et de l'hôtel du Département (Vannes).

D'après ces critères, 3 sociétés ont été répertoriées et contactées : CAPINOV / LABOCEA / LDA53. A réception des offres commerciales, celles-ci ont été analysées conformément aux règles des marchés publics (répartition égale de la note attribuée aux volets qualitatifs et tarifaires). C'est au final le laboratoire CAPINOV, qui a été le prestataire choisi pour prendre en charge la prestation (Z.I. de Lanrinou, CS 20100, 29206 Landerneau Cedex, www.capinov.fr).

2.5.3 Planification

Ce projet de valorisation se déroulant en plusieurs étapes, cette première phase d'étude s'est étalée sur la durée du stage qui y était dédié (6 mois). Le déroulé chronologique général structurant cette période, régulièrement mis à jour en fonction des ajustements à faire en cours, est ainsi représenté en annexe VIII (§Diagramme de Gantt simplifié). Il y est représenté entre autres les échelons suivants :

- Le temps de lancement, donnant lieu à la production d'une note de cadrage et l'élaboration de la feuille de route (1 mois) ;
- Le temps de préparation et d'opérations terrain, avec des impondérables qui sont venus modifier la programmation (retards de cartographie, disponibilités des personnes ressources / encadrantes) (figure 13).

Cette partie de terrain s'est de plus révélée très substantielle et était contrainte par les délais de sous-traitance au laboratoire ;

- Le temps de traitement et d'interprétation des résultats (2 mois) ;
- La rédaction du rapport d'étude et de la note de synthèse, suivis des présentations orales.

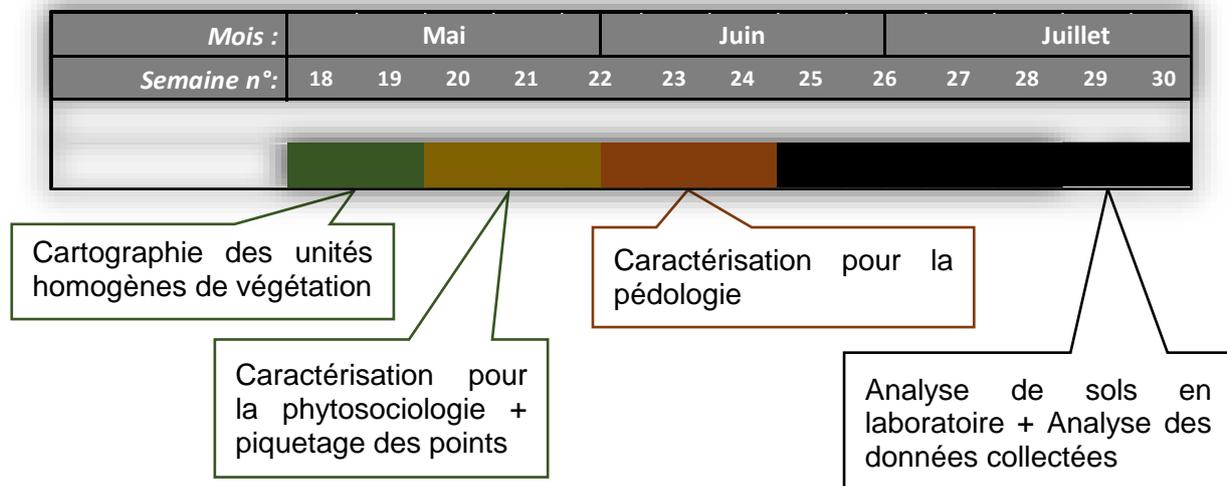


Figure 13 : planning spécifique à la période de terrain, axe 3 de la méthodologie d'étude

2.6 Cadre conceptuel retenu

Le champ lexical du présent document pouvant être source de confusions, un cadrage sémantique était nécessaire pour les prévenir. Il est donné en annexe VIII (§Précisions sur le champ lexical), étant issu de la bibliographie disponible en fin de ce document. En revanche, il ne s'agit pas de redéfinir précisément des termes qui le sont déjà dans la littérature, mais plutôt d'en donner des éléments de synthèse et de différenciations.

2.7 Limites de l'étude, difficultés et solutions envisagées

Cette mission comportant des limites inhérentes à ses caractéristiques, son contexte ou encore au facteur humain (cf. avant-propos et §2.5), elles pouvaient amener à rencontrer un certain nombre de difficultés. En effet, l'évolution et l'aboutissement de l'étude auraient pu être remis en cause notamment vis-à-vis du temps imparti, mais aussi du contexte sanitaire associé à la pandémie de COVID-19. Il fallait donc faire preuve de prévention et d'adaptation face à ces vulnérabilités, des plus courantes aux plus exceptionnelles. En parallèle de la construction de la note de cadrage, il a donc été conduit une pré-identification des risques et dispositifs pour les diminuer, qui est résumée en annexe VIII (§Anticipation des risques).

3. Etat des connaissances disponibles

3.1 Cadre juridique et réglementaire

3.1.1 Patrimoine écologique

La zone d'étude s'inscrit dans le périmètre de plusieurs protections, figurant en annexe IX : Carte des périmètres de protections environnementales de la zone d'étude.

Premièrement, il s'agit du classement au titre du régime forestier, puisque tout l'ENS est inclus dans la forêt départementale du bois d'Erdeven. On se retrouve donc ici au sein d'un espace boisé soumis au code forestier, faisant l'objet d'un plan d'aménagement forestier, qui sert de référentiel pour le déboisement (*ONF, 2016*). Cependant, il est à remarquer que le défrichement est envisageable en justifiant d'une volonté de mettre fin à sa vocation forestière, avec mise en place d'une gestion active de l'espace (ou autorisation du propriétaire) (*Yolaine Bouteiller et Nathalie Morvan lors d'un entretien à la DDTM Morbihan, 07/07/2021*). Dans tous les cas, la loi Biodiversité (n°2016-1087 du 8 août 2016) impose le principe de compensation, bien qu'un décret modificatif du code forestier soit en attente à ce sujet.

Deuxièmement, la loi Littoral (n°86-2 du 3 janvier 1986) implique le classement de grands boisements significatifs, comme celui d'Erdeven, en Espace Boisé Classé (EBC), entraînant la conservation du caractère boisé de ces espaces. L'enjeu additionnel pour l'avancée de ce projet est alors le déclassement d'une partie de cet EBC (au moins toute la zone d'étude), au titre du Plan Local d'Urbanisme (PLU) de la commune d'Erdeven (lors d'une éventuelle révision). Quant aux travaux à venir, ils devront être compatibles et enregistrés (comme au PLU), au Schéma de COhérence Territoriale (SCOT) du Pays d'Auray.

Troisièmement, cet ENS du Varquez est situé dans l'emprise d'une zone Natura2000, au titre de la Directive européenne Habitats (n°92/43/CEE du 21 mai 1992) (*Ferrand, 2016 ; BRGM, 2021a*) : Zone Spéciale de Conservation (ZSC) « FR5300027 - Massif dunaire Gâvres-Quiberon et zones humides associées ». Le projet de valorisation devra en conséquence faire l'objet d'une étude d'incidence (DDTM), bien que celle-ci porterait plus sur le dérangement résultant de l'augmentation de la fréquentation du site, ainsi mis en valeur (*Yolaine Bouteiller et Nathalie Morvan lors d'un entretien à la DDTM Morbihan, 07/07/2021*).

Enfin, le site est concerné par l'emprise des zones marines protégées : Convention pour la protection du milieu marin de l'Atlantique du Nord-Est (OSPAR). L'ensemble des interventions liées au projet de valorisation, devront alors respecter les engagements de ce conventionnement.

3.1.2 Patrimoine archéologique

La présence des mégalithes, objets propriétés de l'Etat Français, requièrent également d'être en accord avec la réglementation, dans les futurs travaux relatifs aux projets sur l'ENS. Il s'agit en l'occurrence de la législation en lien avec la préservation du patrimoine historique français, de la politique culturelle du Dpt56, ou encore de la candidature UNESCO (*DRAC Bretagne, 2010 ; Leblé et al, 2020*). En effet, bien que les activités menées à titre archéologique doivent respecter les intérêts protégés par le Code de l'environnement, l'inverse est aussi valable (consultations et autorisations préalables, engagements) (*Ferrand, 2016*). Sans compter que certains ensembles mégalithiques sont protégés dans un rayon de 500m (Mané Croc'h et peut-être Mané Braz, en cours pour Coët Er Blei), étant classés Monuments historiques (art. L 621-32 du Code du Patrimoine) (*Ferrand, 2016 ; ONF, 2016*).

3.2 Eléments d'information concernant les volets environnementaux

L'état de l'art mené ici a conduit à réunir un certain nombre d'informations relatives à la zone d'étude et ses alentours, quant à ses compartiments environnementaux. En lien avec les disciplines abordées, cela a ensuite participé à la constitution d'une base de données, tout en précisant les besoins complémentaires de données à récolter. Qui plus est, il était nécessaire de prévenir certains biais, notamment vis-à-vis de la surestimation de la variabilité des composantes et propriétés de ces compartiments.

De plus, la typologie de milieux potentiels a été identifiée et les facteurs abiotiques associés au biotope du site ont été déterminés à l'échelle macroscopique. Il en a été de même pour la végétation et les paramètres estimés des sols. Il a aussi pu être prévisualisé la variabilité et les facteurs d'influence des sols et de la végétation, afin d'alimenter la construction des hypothèses de la présente étude.

3.2.1 Volet Paysager

Les paysages du Morbihan sont diversifiés mais comportent des milieux emblématiques qui ressortent nettement, avec la présence de patches de forêts et prairies (respectivement environ 18% et 16%, cf. annexe X : figure 75) (CBNB, 2020). Les landes quant à elles, majoritaires au XIII^{ème} siècle, ne représentent plus qu'environ 3% du territoire, dont certaines sont à fort enjeux aux échelles locale / européenne.

Petit détour en forêt

L'écosystème forestier est en réalité bien plus qu'un ensemble de groupements arborés, bien que ceux-ci soient très structurants, créant ses propres conditions écologiques (ombrage, stabilité thermique et hydrique atmosphérique, etc.) (Delassus, 2015). Il s'agit avant tout d'une mosaïque de différentes communautés végétales, récurrentes et correspondantes, associées justement par leurs exigences écologiques (forestières et non forestières, ourlets internes / externes, manteaux internes / externes). Elles forment donc de multiples stations comme dans le Vannetais et qui pourraient entre autres comprendre sur le Varquez des (Colombet, 2006) :

- Stations temporairement engorgées à végétation forestière dominante, avec des ronces émergeant sur d'anciennes parcelles agricoles, mais se trouvant sur plateau, cuvette légère sur granite, ou encore replat de versant, avec de fortes variations d'humidité saisonnière, une nappe superficielle stagnante appauvrie en oxygène et sensible aux remontées après coupes, une acidité marquée ;
- Stations sèches à végétation forestière dominante, plutôt localisées sur des sommets arrondis ou des replats de versants, avec des sols pauvres et acides, comportant en quantité des éléments grossiers ;
- Stations pauvres bien drainées à végétation pré-forestière dominante, sur plateau ou replat de versant, avec des sols bruns ocreux limoneux et hydromorphes, une acidité élevée et pas de richesse chimique, une Fougère aigle qui devient envahissante (prolifération forte) sous couvert clair. Ce sont des systèmes en cours de reconstitution naturelle vers des forêts de feuillus avec une flore banale ;
- Stations très pauvres bien drainées à végétation de lande dominante, sur plateau ou replat de versant, avec des sols acides et très pauvres, de type bruns ocreux hydromorphes, issus de l'abandon de l'étrépage, régressant et colonisées par la *Pteridium aquilinum*, menant à évoluer vers la station précédente ;

- Stations temporairement engorgées à végétation de lande dominante, sur plateau ou cuvette légère, avec de fortes variations d'humidité saisonnière, une nappe superficielle stagnante appauvrie en oxygène, une acidité marquée, une pauvreté en acide phosphorique liée à l'étrépage historique des landes ;
- Stations humides à végétation de lande dominante, plus en zones basses d'accumulation d'eau, milieu rare mais impliquant de l'asphyxie, une faible teneur en élément nutritifs et un enracinement superficiel ;
- Stations sèches à végétation de lande dominante, en haut de versant ou forte pente, avec des sols peu épais et sans feuillus dominant ;

Par ailleurs, la palette de conditions écologiques assez variables sur le site du Varquez, semblent correspondre en majorité aux groupes phyto-écologiques du Vannetais ci-dessous :

- Espèces des milieux de landes (Pin maritime, Ajonc d'Europe, Saule rampant, Ajonc nain, Bruyère à 4 angles / ciliée, Callune vulgaire, Molinie bleue, Potentille tormentille, Scorsonère des près, etc.) ;
- Espèces des milieux secs à très secs (Bruyère cendrée, Polypode vulgaire, etc.) ;
- Espèces des milieux humides (Saule roux, Fougère femelle / des chartreux, Laîche paniculé / lisse, Gaillet des marais, Renoncule flammette, Oenanthe safranée, Osmonde royale, Violette des marais, joncs, etc.) ;
- Espèce des milieux peu à moyennement acide (Aubépine, Prunelier, Fougère mâle, Houlque molle, Fragon, Lamier jaune, etc.) ;
- Espèces des milieux acides (Poirier sauvage, Houx, Chèvrefeuille, Fougère aigle, Germandrée scorodoine, Laîche à pilules, etc.) ;

Retour à la lande

Les landes sont très répandues à travers le monde et façonnent aujourd'hui de multiples paysages, sur des terres ingrates, des dunes ou falaises du littoral (*Clément, 2003*). Elles présentent cependant souvent des panoramas exceptionnels et sauvages, étant même devenues des entités paysagères emblématiques dans certaines régions. Considérées comme climaciques si l'humain n'y est pas encore intervenu, elles sont de toute façon en relatif équilibre avec leurs conditions naturelles. Leur particularité et donc leur richesse en termes de biodiversité spécifique et génétique, provient de l'environnement défavorable et changeant dans lequel des plantes typiques se développent (*Glemarec et al, 2015*). Malgré une faible diversité floristique qui émerge d'un sol pauvre en cations, cette diversité spécialisée et rare (une partie est classée), augmente en fonction du degré d'ouverture. Les variations de conditions édaphiques et climatiques, de situations géographiques et topographiques, ou encore de l'action anthropique, ont d'ailleurs permis de les classer sur 2 niveaux :

- Les landes primaires (climaciques), sur sols peu profonds, aux pH et niveaux nutritionnels les plus bas, subissant des conditions climatiques défavorables à l'établissement des arbres (vent et salinité du littoral) ;
- Les landes secondaires de substitution ou anthropiques (défrichements de forêts primaires acidiphiles, pratiques agropastorales, incendies, etc.), comme celles présentes sur l'ENS du Varquez, plus fréquentes et embarquées dans des dynamiques régressives de fermeture. Ces dernières sont donc très dépendantes de l'action de l'homme, dans leur maintien comme dans leur restauration, mais n'en sont pas moins valorisables en tant que patrimoine (*Clément, 2003*).

Parallèlement, l'humidité est un déterminant pris en compte par les scientifiques pour distinguer les landes en 3 catégories, chacune dominée par un type de bruyère (*Glemarec et al, 2015*) :

- Landes intérieures sèches (xérophiles), avec la Bruyère cendrée, voire du Pin maritime, un sol acide mince à moyen, de granite ou de schiste. Dans ce cas, ou pour celles anciennement hydromorphes asséchées, cela peut s'orienter vers ce qui préfigure le stade terminal des milieux par l'implantation d'espèces pré-forestières ;
- Landes mésohygrophiles intérieures ou littorales, en altitude ou plaine, avec la Bruyère ciliée, des ajoncs et de la myrtille, un sol acide minces à moyennement profond, sur granite ou schiste ;
- Landes hygrophiles intérieures ou littorales, avec la Bruyère à quatre angles, des ajoncs et de la Myrtille, un sol acide moyennement profond, sur granite ou grès. Cette dernière n'ayant pas été relevée ni en 2016 (inventaire), ni en 2021 dans notre cas.

Par ailleurs, leurs sols essentiellement oligotrophes, acides et sableux, varient selon le type de roche mère et les conditions climatiques. Il peut y apparaître des phénomènes de lessivages et lixiviations, réduisant l'accessibilité alimentaire des végétaux, dans un contexte où l'horizon superficiel peut aggraver le phénomène. Ce dernier est alors mal protégé ou trop pentu, mais lieu de ruissellements / écoulements de subsurface, dans des sols où la profondeur devient un autre facteur limitant (*Glemarec et al, 2015*).

3.2.2 Volet végétal

Diversité sur l'ENS du Varquez

De son côté, cet ENS est une mosaïque variée de 22 habitats (à l'échelle du site dans la totalité de ses 51 ha), dont 7 sont d'intérêt communautaire / prioritaire (*C. Blond, 2016 ; Ferrand, 2016*). On y retrouve entre autres des prairies embroussaillées ou landes mal conservées. Il n'est d'ailleurs plus possible d'attribuer des dénominations de landes à nombre de ces habitats, bien qu'elles pourraient réapparaître à la faveur de mesures de gestion spécifiques comme proposé en fin du présent rapport. En effet, les principales causes d'évolution de la végétation sont multiples, au sein de ces stations écologiques issues de landes secondaires xérophiles à mésohygrophiles. Par exemple, des indices d'occupation des sols sont encore présents (reliquats de canaux drainants / talus / murs de délimitation parcellaire), laissant penser que des traces de fertilisation / amendement, seraient encore détectables / influents. Il est tout de même à remarquer que cette sensibilité des milieux, est aujourd'hui surtout liée à la fréquentation humaine (piétinements, comportements, divagation des chiens), à certaines pratiques (fauche précoce sur chemins communaux) ou encore au boisement croissant.

Par ailleurs, ce solum, globalement oligotrophe est en majorité occupé par le Pin maritime à l'étage supérieur de la canopée, dont la surface terrière est très importante. En effet, elle serait idéale à 16 m²/ha, pour plus de 30m²/ha aujourd'hui à certains endroits, induisant un ombrage localement très important (*ONF, 2016*). Ces pins dissimulent aussi des restes de landes, encore subsistant par places (*Erica* et *Ulex*), avec des feuillus éparses qui se développent plus bas, ainsi que les espèces suivantes qui prospèrent en sous-bois (*Blond, 2016 ; Ferrand, 2016*) :

- Prunelliers et bourdaines, saules, etc ;
- Fourrés de Fougère aigle qui peut devenir envahissante, d'ajoncs et de ronces ;
- Tapis de molinies et agrostis, bruyères et callunes.

En supplément, il y est confirmé plusieurs espèces disparues, comme *Eryngium viviparum* ou *Gentiana pneumonanthe*, suite à la fermeture de la lande. Il en est de même pour celles répertoriées sur listes rouges, car rares / menacées et d'intérêt patrimonial ou protégées. Cependant, les études naturalistes de 2016 font état de milieux ayant une richesse et une diversité écologique d'espaces ouverts. La flore est en fait assez diversifiée, avec une coexistence originale de 229 espèces (inventaire 2016 sur tout l'ENS), liée à la cohabitation de milieux acides / neutres / alcalins (espèces littorales). Le plan d'aménagement forestier mise d'ailleurs notamment sur la diversité des essences et d'âges, de milieux et de strates, afin de tendre vers une futaie irrégulière (sauvegarde du Chêne et autres feuillus) (ONF, 2016).

Ainsi, en cohérence avec les informations précédentes (§3.2.1), les principaux habitats et végétations pouvant être rencontrés sur la zone d'étude (nomenclature CORINE Biotope), représentent 6 grands types (Blond, 2016) :

- Lande anglo-normande à *Ulex minor* (Ajonc nain) et *Erica ciliaris* (Bruyère cilllée), moyennement humide avec aussi *Molinia caerulea* (Molinie bleue) ;
- Lande anglo-armoricaine occidentale à *Ulex europaeus* (Ajonc d'Europe) et *Erica cinerea* (Bruyère cendrée), plutôt sèches avec aussi *Agrostis curtisii* (Agrostide de Curtis), sachant que l'Ajonc d'Europe domine par l'âge avancé du milieu et héberge une plante protégée, *Asphodelus arrondeaui* (Asphodèle d'Arrondeau, visible sur Mané Braz et quelques bordures) ;
- Lande à *Pteridium* (Fougères), qui est une ancienne lande envahie notamment par *Pteridium aquilinum* (Fougère aigle) ;
- Landes à *Ulex* (Ajoncs), qui sont majoritairement des fourrés d'Ajonc d'Europe ;
- Chênaie acidiphile (*Quercus*, boisement naturel), mésophiles avec aussi *Ilex aquifolium* (Houx) ;
- Autres boisements comme des pinèdes mixtes avec feuillus sur d'anciennes landes moyennement humides ;

Productivité primaire et biomasse

La productivité primaire est la vitesse de production primaire des organes photosynthétiques et chimiosynthétiques, qui fabriquent la substance organique devenant matière alimentaire (Forgeard, 1977). Elle est le point de départ à la chaîne trophique et le premier maillon pour comprendre le fonctionnement d'un écosystème. Etant notamment caractérisable par la biomasse aérienne, elle est dépendante de nombreux facteurs écologiques, celui le plus primordial est lié à l'utilisation de l'eau, avec par exemple :

- *Erica cinerea* qui est xérophile et plutôt rase ;
- *Calluna vulgaris* qui est mésoxérophile ;
- *Erica ciliaris* et *Molinia caerulea* qui sont mésohygrophiles et de taille moyenne ;
- *Erica tetralix* qui est hygrophile mais avec une physionomie hétérogène.

Par ailleurs, sa variabilité en va également de la composition floristique, avec notamment :

- l'Ajonc d'Europe, parfois très dense, qui détient une des plus fortes productivités primaires parmi les espèces landicoles, allant jusqu'à limiter la strate inférieure ;

- La lande mésophile qui fait globalement preuve d'une production intermédiaire, sachant tout de même que sa phytomasse dépend majoritairement de sa structure et de la profondeur du sol.

En ce sens, la production primaire est plus importante sur sol brun que sur rankers ou sols bruns acides / peu évolués. En effet, les espèces plus à l'aise dans ces conditions s'expriment davantage que les bruyères et ajoncs.

Enfin, cette variation dépend de l'âge de la lande : litière plus importante chez les plus âgées et production supérieure dans celles en pleine jeunesse.

Matière organique et éléments biogènes

La connaissance de la nature et des sensibilités des cycles biogéochimiques, permet d'anticiper l'évolution et la répartition de la matière (*Clément & Touffet, 1980*). Le bilan énergétique, la synthèse et les différentes phases des éléments chimiques (immobilisation, stockage, circulation), sont dans ce cas autant de paramètres à prendre en compte.

En ce sens, les landes possèdent relativement une faible productivité primaire et décomposent lentement la matière organique, le tout pour un équilibre parfois très précaire (cf. §3.2.1). Cependant, bien que considérés comme ayant des sols pauvres en nutriments, ces écosystèmes ont des teneurs moyennes en minéraux et de fortes réserves de MO. Sachant que le sol renferme la majorité de la matière organique, elle est en réalité importante puisqu'elle représente avec l'eau, un support et agent de circulation des éléments biogènes. Les stocks d'azote ne sont d'ailleurs pas non plus à négliger, mais sont minoritaires dans les végétaux, le reste se situant dans le substrat avec une très petite part minéralisée. Toutefois, leur perte dans la litière suit inévitablement une perte de biomasse, car une disparition, même partielle, de cet élément dans la terre, diminue le potentielle de production primaire de la lande. Le phosphore quant à lui, autre facteur limitant pour les plantes, est caractérisé par des stocks et flux minimes, sachant que la moitié est contenue dans la biomasse végétale (peu dans la litière). Le potassium, cette fois-ci échangeable et en quantité comme dans les sols forestiers, est faiblement immobilisé dans la biomasse aérienne et la litière, mais sa mobilité reste grande. Le calcium est lui aussi mobile, ce qui compense sa fragile disponibilité, mais sa circulation est bien plus basse que le potassium dans l'écosystème. Sa part échangeable représente une moitié de la teneur totale, mais elle est fortement absorbée par les molécules organiques et la litière. Fort heureusement, une partie de l'apport est issue des précipitations et les espèces végétales vivant dans les landes sont calcifuges, puisant alors efficacement la quantité nécessaire à leur croissance et développement.

Ronce (Rubus)

Repéré en de maints endroits, le genre *Rubus* possède des capacités remarquables lui permettant de coloniser l'espace et rentrer aisément en compétition avec la végétation voisine (*Amor, 1974 ; Wehrle, 1985*). Indésirable dans certaines régions du monde, il conquiert en réalité très bien les milieux anthropisés, les haies et lisières forestières, ou encore les bords de chemins et friches rudérales. En effet, originaire de l'Eurasie et endémique des régions tempérées, sa répartition cosmopolite peut s'observer jusqu'à 2 000 m d'altitude et en conditions abiotiques très variables (y compris littoral). Puis, peu exigeant au niveau de son régime hydrique, il modifiera sa physiologie en cas de sécheresse par une réduction des besoins en eau. Malgré tout, la plupart des espèces comprises dans ce genre sont nitrophiles, avec une tendance héliophile mésophile et acidophile.

Par ailleurs, bien que pouvant être victime d'agents parasitaires (bactérie, virus, champignons), ces plantes possèdent d'autres capacités d'adaptation impressionnantes. Elles sont polyploïdes sexuels et bénéficient de processus de mutation conduisant à former de nombreux hybrides et taxons se multipliant de façon asexuée.

C'est pourquoi il s'agit d'un genre polymorphe, avec une dynamique adaptative et un contrôle de sa plasticité phénotypique efficace, qui comporte plusieurs milliers d'espèces et biotypes (discernement difficile). Sa phénophase est bi-annuelle (enracinement par marcottage puis floraison / fructification), pour des racines et turions (rejets feuillés) de longueurs plurimétriques. La concentration de graines qui en découle peut atteindre plusieurs milliers par m², avec toutefois une forte variation multifactorielle. Sa réaction vigoureuse au stress (taillage / brûlage), est de plus catalysée via son hormone de croissance avec l'apparition de multiples tiges, dans une croissance où les rôles sont répartis.

Fougère aigle (Pteridium aquilinum)

La Fougère aigle a longtemps été économiquement intéressante, car utilisée comme litière dans les élevages et même pour l'alimentation humaine, ou encore comme source de potasse (Gallet & Roze, 2002). Depuis les années 1900, son utilisation a régressé avant de disparaître, la voyant même comme indésirable sur l'ENS comme autre part.

Aujourd'hui, *Pteridium aquilinum* fait également partie des espèces végétales les plus répandues sur la planète, du fait de son ubiquité et de facteurs anthropiques. Elle est cependant exclue des milieux aux climats les plus rigoureux comme en Antarctique, ou absente des zones les plus sèches occupées notamment par *Erica cinerea*. Les milieux privilégiés sont en fait relativement humides mais où les sols semblent bien drainés, avec une position topographique essentiellement basse. Ces conditions associées à une acidité du sol constituent des conditions favorables à cette espèce, qui n'est d'ailleurs pas strictement endémique des landes, mais plutôt le signe d'une perturbation voire d'un abandon des terres (Glemarec et al, 2015). En réalité, sa tige et parties foliaires disparaissent complètement pendant la saison hivernale, sa survie se faisant grâce à ses rhizomes qui sont caractérisés par une croissance rapide (Gallet & Roze, 2002). Sa biologie quant à elle, lui confère des propriétés phytotoxiques qui la renforcent face à la concurrence. A cela s'ajoute l'accumulation d'une couche importante de ses frondes mortes, qui modifie les caractéristiques chimiques des sols (pH), pouvant dégrader le stock de graines du sol. Elle peut donc comme dans notre cas (cf. §4), entraîner une exclusion des espèces caractéristiques des landes et par conséquent une dégradation de l'écosystème. Il est tout de même à noter que sur Carnac, la surface de fougères a progressé de 1 à 2% par an sur 10 ans.

En tous les cas, les landes perdent souvent leur valeur écologique après invasion des fougères, qui se développent en groupes très denses et compétitifs (Gallet & Roze, 2002). Puis d'un point de vue esthétique et culturel, les fougères arrivent parfois à occulter la perspective sur des monuments mégalithiques, dissimulés par des peuplements de plus de 2m, comme pour les alignements au sein de l'ENS.

Pin maritime (Pinus pinaster)

Il est à remarquer que *Pinus pinaster*, possédant une durée de survie limitée à 50-70 ans, est capable de modifier sa croissance racinaire (Saint Cast, 2019). En effet, sa structure racinaire forme une cage rigide, emprisonnant une grande quantité de sol, qui peut être modifiée pour avoir un ancrage adapté au chargement du vent. Elle est composée en réalité d'un pivot central et d'une partie proximale de racines traçantes, qui produisent de multiples pivots secondaires.

Il s'agit donc d'une réponse à des caractéristiques pédologiques particulières qui limiterait la croissance en profondeur de ses racines et remettrait en question sa survie : texture plutôt sableuse, pauvreté des éléments minéraux, horizon organique assez mince ou horizon induré, nappe phréatique très fluctuante, etc. Des conditions pédologiques diminuant la profondeur d'enracinement du Pin maritime, sont alors compensées par une architecture de racines plus traçantes, ainsi qu'une réduction de la dimension du pivot principal à leur profit. Tout ceci corrobore avec son développement aisé et spontané sur les sols du bois du Varquez.

3.2.3 Volet pédologique

Indicateurs fonctionnels et valeurs dominantes

L'entité physiographique concernée ici est l'Unité Cartographique de Sols (UCS) n°1047, qui représente les grands types de sols potentiellement présents sur la région d'Erdeven (ACO, 2015). Cette UCS comprend 7 Unités Typologiques de Sol (UTS), qui peuvent avoir des caractéristiques voisines à ce qui a été caractérisé dans notre cas (synthèse en annexe X : Complément d'informations sur les volets environnementaux de la zone d'étude, figure 74). En revanche, il faut garder à l'esprit que ces informations, issues du programme « Sols de Bretagne », sont données à titre indicatives : elles sont un bon premier niveau d'informations, mais issues globalement de contextes agricoles, avec des échelles trop grandes pour avoir une précision satisfaisante dans la cadre du présent travail. Il y est notamment mentionné des sols comme sur la zone d'étude, sous landes humides et souvent plantées de pins, formant une mosaïque de paysages très particulière avec les prairies humides, étant des sols en majorité :

- De type Rankosol / Brunisol / Brunisol rédoxisol / Planosol typique / Fluviosol, les sols calcaires sableux étant exclus ici, étant donné la géologie et position géographique ;
- Avec une forte différenciation texturale (texture dominante = LSa, codification GEPPA) ;
- Une érosion très faible (sensibilité, susceptibilité, aléas), mais dans une zone déprimée sur altérites avec en général des profondeurs > 100cm, une pente moyenne de 1,5% ;
- Avec des stocks de carbone moyens, estimés de 60 à 80t/ha entre 0 et 30cm de profondeur (*Ministère de la transition écologique et solidaire, 2017*) ;
- Hydromorphes, souvent mal drainés, avec des argiles résiduelles de profondeur dont l'origine pourrait être anté-miocène (23 à 5Ma, après le Pliocène, surtout pour les planosols comme expliqué par JM Rivière).

Podzolisation

Cette pédogénèse pouvant donner des podzosols, apparaît dans des régions géographiques humides et froides à tempérées, en terrains plats à collinaires (Baize et Girard, 2009). Les processus de podzolisation nécessitent en outre une abondance d'acides organiques comme l'acide fulvique, solubles et percolant, impliquant une faible activité biologique et de moindres surfaces adsorbantes. En effet, l'altération biogéochimique attaque les minéraux altérables (primaires, argileux), avec ces composés complexant. Ces complexes organo-métalliques formés et accompagnants des minéraux secondaires, vont ensuite migrer par les eaux gravitaires, éluant ainsi l'aluminium / le fer / autres cations, des horizons supérieurs. Puis s'en suit un processus d'immobilisation / accumulation, des constituants organiques et complexes organo-minéraux d'aluminium / fer. Cette pédogénèse est d'autant plus forte (solums différenciés), que l'altitude est élevée et la roche riche en quartz mais pauvre en argile / fer.

Par ailleurs, il est à noter que les podzosols peuvent se trouver en zone tempérée, avec des landes à éricacées d'origine anthropique, qui auraient amplifié les processus de podzolisation. En réalité, ils sont compatibles avec certains types de landes, car accueillants pour peu de végétaux (bruyères / fougères / conifères / certains feuillus, etc.). En effet, théâtres de lessivages d'argiles et de lixiviations de nutriments, ils sont acides ($\text{pH} < 5,5$) et oligotrophes. Ils possèdent par là-même une faible capacité d'échange cationique, avec des argiles altérées et des complexes organo-minéraux immobilisés en couches sous-jacentes. Il est également question d'une tendance à la toxicité qui est due à de fortes concentrations en éléments comme l'aluminium, dans des horizons bien différenciés. Ces sols sont en outre dotés d'une capacité assez basse de rétention en eau, car possédant majoritairement des textures sableuses. Puis lorsqu'une nappe phréatique est permanente, des conditions d'hydromorphie favorisent la formation d'horizons podzolisés réductiques / rédoxiques, et parfois noirâtre.

En ce sens les horizons sont discriminés en fonction de leur nature, les plus reconnaissables du podzosol étant les suivants :

- Horizons olorganiques (obligatoire), donnant une forme d'humus de type moder ou mor ;
- Horizons organo-minéraux A (possible), riches en MO et appauvris en fer / aluminium, avec structures massives ou particulières, couleur sombre à noire ;
- Horizons supérieurs éluviaux albiques E (très probable), concentrés en minéraux quartzitiques résistants et appauvris en matière organique / aluminium / fer, épais et de couleur cendrée à beige décoloré ;
- Horizons sous-jacents illuviaux et spodiques BP (podzoliques, obligatoire), avec des taux d'aluminium / fer supérieurs aux horizons sus-jacents et une accumulation de produits amorphes (MO non décomposée + oxydes de fer / aluminium / + silicium), souvent cimentés et de couleur brune à noirâtre en passant par des nuances rougeâtres (teinte de 7,5 YR dans la charte de MUNSELL).

3.2.4 Volet géomorphologique et topographique

Tout d'abord, la carte de localisation des différents types de roches en France, mentionne pour la zone d'étude une roche mère très ancienne et dure, avec la présence d'orthogneiss (roches métamorphiques dérivées de roches magmatiques) (*Colombet, 2006 ; BRGM, 2021b*). Le territoire d'Erdeven surmonte en réalité les granites anatectiques de Carnac (fusion puis refroidissement brutal de roches produisant un magma granitique) (*Leblé et al, 2020 ; Evelyne Goubert par mail, 21/06/2021 ; BRGM, 2019*). Le Référentiel Géologique Français (RGF) et la base de données CHARM-50 quant à eux, classent le secteur de la zone d'étude en YS, ce qui correspond à une roche mère :

- Composée de leucogranites du Carbonifère (-355 à -305Ma, entre Dévonien et Permien) ;
- Issue d'une collision de l'orogénèse hercynienne au sud du cisaillement sud du Massif Armoricaïn (processus géodynamique de plaques lithosphériques continentales) ;
- Donnant un matériau plutonique (structure orientée non stratifiée sans fossiles, entièrement cristallisée), composé de quartz, feldspaths alcalins, muscovite (micas blancs), plagioclases et biotite ;
- Granitique pauvre en fer et magnésium (s'enrichit en fonction de la teneur en micas), concentré en silice (SiO_2) et plutôt acide.

De plus, la couche des surcharges de cette base de données fait état à proximité de la zone d'étude, d'altérites en place ou colluvionnées. En effet, en plus du substrat granitique, il existe une zone alluviale récentes où on retrouvera des sédiments continentaux, ainsi qu'une zone lacustre (cf. annexe II).

Par ailleurs, au niveau du paléo environnement, il est à noter que des traces de sédiments ont été retrouvées par places sur ce socle granitique. Elles sont liées à une connexion ancienne avec l'océan datant du pliocène / plioquaternaire, qui s'est traduite par des transgressions marines apportant des matériaux marins (*Ferrand, 2016*).

Enfin, le relief général du plateau côté Erdeven est doux, bas et linéaire, dans un bas-plateau de l'arrière-littoral où émergent quelques buttes granitiques (comme ici sur Er Varquez, cf. annexe IV) (*Ferrand, 2016*).

3.2.5 Volet hydrographique

Le réseau hydrographique de la région d'Erdeven, comprend des cours et étendues d'eau de petites tailles qui prennent source dans les hauteurs et coulent sur un axe nord-est / sud-ouest (*Ferrand, 2016*). Cependant, l'étendue d'eau du Varquez n'est alimentée par aucun d'entre eux, mais probablement par une source centrale et des ruissellements transportés sur les terres argileuses environnantes. Il possède par ailleurs un émissaire dont l'écoulement n'est pas visible pendant presque un semestre, se dirigeant vers le nord avant de poursuivre vers le sud-ouest et l'océan.

De plus, le nom « Varquez » étant issu d'un toponyme qui se rapporte à un lieu marécageux, il existe par endroit un engorgement général des sols plats en hiver, ce jusqu'au printemps et accentué par un faible drainage naturel. Néanmoins, ces mêmes sols s'assèchent rapidement durant l'été, pouvant d'ailleurs être victimes d'un assèchement presque total, durant des sécheresses estivales prolongées.

Enfin, aucun horizon réductique n'a été caractérisé dans les sols sondés (réduction du fer ferrique), avec des tests colorimétriques de détection du fer ferreux n'étant pas systématique lors des manipulations (phénantroline).

3.2.6 Volet climatique

Le Varquez est situé dans le territoire climatique de Guidel à Quiberon, s'insérant dans la façade maritime ouest des paysages intégrant la candidature UNESCO (*Leblé et al, 2020 ; CD56, 2021*). La proximité du littoral est d'ailleurs telle, avec son étang se situant à environ 3,5 km du front océanique, que son influence est perceptible au niveau de la végétation (*Ferrand, 2016*). C'est donc une région dominée par le climat tempéré océanique, atténuant les extrêmes thermiques mais infligeant des vents réguliers limitant, dont les principales grandeurs sont les suivantes (*Colombet, 2006 ; CD56, 2021 ; Météo France, 2021*) :

- Température moyenne annuelle observée de 12°C (extremum de 33°C à -1°C) ;
- Durée d'ensoleillement moyenne du Morbihan de 1900h pour une intensité de 3,7 kwh/m (légèrement plus qu'au Pays basque) ;
- Pluviométrie moyenne de 800mm par an, répartis sur 110 à 150 jours de précipitations, avec possibilité de déficit hydrique estival.

3.3 Evolution du paysage

Dans le but d'identifier les facteurs influençant autrefois les paysages, liés à des déterminants sociologiques / écologiques, il était primordial d'explorer l'historique du site et sa région. Une recherche a ainsi été menée, pour prendre en compte ces éléments de considérations naturalistes, culturels et culturels, dans l'interprétation des résultats de la présente étude. Il s'agit là de récits qui explicitent des dynamiques naturelles, mais influencées par la pression anthropique et induisant des modifications des sols / de la végétation.

3.3.1 Retour vers le paléo-environnement

En fonction de cycles variables, le paysage et sa végétation évoluent autant que le climat au cours des temps géologiques (*Belloncle et al, 2010*). En 18 millénaires, la végétation d'Europe, du Morbihan et donc d'Erdeven, fût entièrement modifiée. Ces espaces ont accueilli des steppes, des forêts puis de la toundra, pour finalement être forestiers il y a 9000 ans.

De la même manière, le niveau de l'océan atlantique n'a pas toujours été comme aujourd'hui, évoluant au grès de sa dilatation et de ses changements d'états. A presque 120m plus bas il y a 18000 ans, ce dernier oscillera entre -10m et +2m en 7000 ans, faisant parfois entrer cette masse d'eau plus loin dans les terres.

3.3.2 Passage préhistorique vers l'antiquité

C'est au néolithique que l'humain passa d'un mode de subsistance type chasseur-cueilleur à l'agriculture, influençant par la même son environnement proche (*Mahaud, 2000 ; Belloncle et al, 2010*). Les défrichements alors entrepris dans ces prémices de l'agriculture, sur des forêts de feuillus recouvrant en majorité le Morbihan, transformèrent progressivement les paysages. C'est aussi le début de l'élevage sur ces paysages forestiers, qui s'ouvrirent et virent se développer des biotopes plus rares comme les landes et les prairies (*De Bonduwe et Luzu, 2017*).

En ce sens, la présence d'ouvrages mégalithiques nombreux et diversifiés, témoigne de l'occupation des terres par des humains sédentaires en Bretagne, durant cette période. On y retrouve par exemple des gravures, dolmens (superposition), menhirs (redressement), tumulus (tertre ou cairn), qui bénéficient tous d'une interrelation et d'une corrélation avec le territoire.

Par conséquent et considérant ces éléments, on peut penser que les alignements de Varquez-Kerzerho ont vécu une alternance de paysages, landes pâturées et forêts de feuillus, du néolithique au Moyen-âge, en passant par l'antiquité (*Colombet, 2006 ; Mahaud, 1998*).

3.3.3 Arrêt moyenâgeux direction renaissance

Le Morbihan n'étant pas tellement un département forestier de nos jours, il aurait été en grande partie recouvert de chênaies / hêtraies, il y a encore presque un millénaire (*Mahaud, 1998 ; Colombet, 2006*). Vinrent alors s'y installer des moines attirés par ces forêts du XI^{ème} siècle, immenses étendues sylvestres reculées de la civilisation, mais synonymes de lieux de quiétude propices à la méditation. Ces communautés monastiques, quand bien même protectrices de ces espaces, participèrent fortement par la suite au déboisement et défrichement progressif du couvert forestier. En effet, elles exploitèrent ses ressources énergétiques et matérielles, cultivèrent et recouvrèrent des terres d'infrastructures, mais attirèrent surtout rapidement d'autres populations humaines non religieuses accentuant cette dynamique.

S'ajouta ensuite la croissance démographique du Moyen-âge, qui fit régresser de plus belle cette biomasse boisée.

En outre, sachant que ces sols étaient difficiles à cultiver pour l'époque, ils l'étaient temporairement et pouvaient finir en pâturage, fourrage et litière, comme les landes primitives. Cette exportation de végétaux, accompagnée de pratiques agricoles / sylvicoles comme l'étrépage, accentuèrent la pauvreté des sols ainsi que l'instabilité des milieux (Clément, 2003).

Dans une autre logique, le régime du domaine congéable entré en vigueur à cette époque féodale, encouragea les propriétaires fermiers à valoriser toute terre exploitable (Mahaud, 1998). En anticipation d'une expropriation, ces derniers souhaitaient optimiser l'indemnité alors versée pour partie en fonction de l'amélioration productive apportée au sol. Puis la pression fiscale s'accrut et accéléra le retrait de la forêt et la culture des landes, faisant suite à l'annexion du duché de Bretagne en 1532 par le royaume de France.

Enfin, la destruction forestière continuera jusqu'à la fin du XVIII^{ème} siècle, satisfaisant les demandes alimentaires, énergétiques, militaires et commerciales grandissantes. La Bretagne, bien que rurale, était par exemple l'une des régions les plus peuplées de France au 17^{ème} (Colombet, 2006). Des pénuries eurent d'ailleurs lieu, malgré 2 réformes destinées à provoquer un reboisement massif à des fins de ressources stratégiques et militaires (ordonnance de Colbert en 1669 et rapport du Comte Essuille en 1785) (Mahaud, 1998).

3.3.4 Pause post-révolution pour injection de modernisme

Cette régression conduisit à une apogée en 1841, quand les forêts représentaient 5% de la superficie départementale, tandis que celle des landes était de 43% (Mahaud, 1998). C'est à partir de cette moitié 19^{ème} que sont pris en compte une multitude d'intérêts dans la gestion des forêts (surtout agronomique et économique). Le Pin maritime apparaît à ce moment-là, car il est considéré comme une solution acceptable pour valoriser des terrains souvent argileux / hydromorphes (comme ceux du bois du Varquez), lui donnant un intérêt forestier. D'autres arguments sont en plus avancés en faveur de ces projets : régulation hydrologique des rivières, fixation des cordons dunaires, création de bassins d'emplois pour la foresterie (Mahaud, 1998). Il y a donc l'aménagement du territoire et les ressources pour l'industrie (mines de charbon), mais également les concepts d'esthétisme du paysage et sa symbolique qui s'invitent également dans le rapport société-territoire. En effet, survient une volonté de changer le visage de la Bretagne, pour notamment faire disparaître des paysages de landes alors répandus, mais synonymes de misère. Il résulte de ces nouvelles considérations, une variation de 30 000 à 65 000ha de la superficie des communaux morbihannais, soit une des 10 plus fortes en France pendant la période 1846-1877 (Ferrand, 2016).

Par ailleurs, les cartes de Cassini (1750-1815) et de l'Etat-Major de France (1820-1866), représentant grossièrement la géométrie et les reliefs, ne font apparaître aucun couvert arboré sur la zone d'étude (Ferrand, 2016 ; IGN, 2021). Elles sont difficilement lisibles mais cela signifie sûrement que *Pinus pinaster* y est encore absent (Ferrand, 2016). Ceci peut également laisser penser que *Quercus robur* (Chêne pédonculé), qui en est l'espèce endémique, a laissé place à la lande après coupe. Cette deuxième cartographie de l'Etat-Major, dessine d'ailleurs un étang du Varquez avec une faible profondeur, probablement due à un comblement naturel progressif. Il y apparaît un milieu tourbeux sans aucune route alentours, évoluant sûrement spontanément vers une lande humide, mais avec cette dynamique qui semble contrecarrée par l'activité humaine et le pâturage. Le cadastre napoléonien quant à lui (1811-1852), donne à voir un parcellaire hétérogène typique du littoral, du bocage intérieur et des anciens communaux.

Ce maillage de parcelles carrées, terres de vaine pâture, est entouré de murets en pierres ou de talus, comme ceux géolocalisés en 2007 par l'ONF (recensement mégalithique).

Finalement, cela renforce l'idée d'un paysage très peu boisé et dominé par la lande aux 18-19^{ème}, avec des prés et cultures sur buttes autour des hameaux. Les photos ci-après illustrent d'ailleurs ces propos (figures 14 et 15), avec une lande et ses plus de 1 000 mégalithes recensés en ce temps, mais tout de même bordée par une lisière de résineux visiblement encore juvéniles.



Figure 15 : photographie des alignements d'Erdeven (Mané Braz), prise de l'est-sud-est (Crédit photo : Gaillard, 1881. Source : Médiathèque de l'Architecture et du Patrimoine)



Figure 14 : photographie du dolmen de Mané Croc'h au début du XX^{ème} siècle (Crédit photo : Z. Le Rouzic, 1901. Source : De Bonduwe et Luzu, 2017)

Le XX^{ème} siècle voit arriver des mutations du tissu économique et social, ainsi que de l'agriculture française qui se modernise et cherche la rentabilité (De Bonduwe et Luzu, 2017). La déprise agricole qui succède, permet aux massifs boisés plantés autrefois de se déployer spontanément, avec un chêne plus lent que son voisin à aiguilles dans la reconquête. Puis les usages de lande déclinent, au profit de réaffectations forestières, agricoles et urbaines, morcelant ces terres de jouissance commune en parcelles multiples (Clément, 2003).

En ce sens, des photos aériennes de 1948 laissent apparaître un Pin maritime qui a gagné du terrain sur les landes, mais il est encore question de taches très localisées autour d'une dépression marécageuse (*Ferrand, 2016*). D'autres tirages de 1965 donnent à voir en figures 16 et 17, une lande qui a régressé par endroits et progressé ailleurs, tout en gardant une proportion équilibrée avec le boisement. On aperçoit dans ces deux cas, l'étang du Varquez asséchée par endroits à proximité d'un point sombre, pouvant être la naissance d'un écoulement issu d'une source d'eau (*Ferrand, 2016*).

A ce titre et malgré l'introduction du Pin maritime dans le Morbihan, la plupart des boisements périphériques aux alignements d'Erdeven sont sûrement spontanés. Cette espèce étant capable de coloniser landes sèches et humides, avec une bonne rapidité de reforestation d'environ 30 ans, elle s'y serait implantée au siècle dernier (*De Bonduwe et Luzu, 2017*).



*Figure 16 : comparaison d'orthophotos aériennes de l'ENS Er Varquez
(Source : extrait d'ortho-photographies aériennes, IGN, 2021)*

Photo de gauche : 2019, soit l'état décrit ici.

Photo de droite : 1950-1965, avec un couvert forestier bien moindre qu'aujourd'hui.



Figure 17 : Carte de l'occupation des sols de 1950-1965 de la zone d'étude (Source : extrait photo-interprété et numérisé d'une photographie aérienne issue de la BdD ORTHO HISTORIQUE de 1950-1965, IGN, 2018)

3.3.5 Arrivée à nos jours

Aujourd'hui, le Pin maritime continue de se répandre, mais la surface globale n'augmente plus pour plusieurs raisons : événements climatiques, changements d'essences, boisements privés abandonnés, subventions agricoles européennes, etc. L'identité paysagère du Morbihan, dont ces pins font partie pour encore nombre d'habitants / voyageurs, s'oriente d'ailleurs vers de multiples scénarios d'aménagements (mosaïque de milieux) (*Conseil General du Morbihan, 2012*). Le Département acquiert en ce sens l'ENS Er Varquez en 1995, pour ses qualités environnementales et ses landes en recul (*ONF, 2016*). En revanche, viennent s'y ajouter les problématiques et la refonte d'un réseau de sentiers, pour correspondre aux besoins et usages nouveaux (aménagement foncier de 1985-1992 : exploitation / randonnée / cyclisme / équitation) (*Ferrand, 2016*).

Enfin, il est à noter que des travaux d'ouverture et d'entretien, ont été mis en place sur quelques ensembles mégalithiques depuis 2007 (Mané Croc'h, Coët Er Blei, Lannec Er Gadouer, cf. §2.2). Cela fait l'objet d'un partenariat avec des chantiers d'insertion de la commune d'Erdeven, pour conserver ces milieux ouverts autour du patrimoine archéologique (*Delphine Aubin par mail, 26/04/2021*). Il est ici question de l'entretien semestriel (essentiellement gyrobroyage), provoquant pour certains l'arrivée de beaucoup d'autres végétaux (figures 18 à 21).



*Figure 19 : photographie des environs du dolmen de Mané Braz en 2005
(Crédit : AQTA, Chantier des Mégalithes)*



*Figure 18 : photographie des environs du dolmen de Mané Braz en 2013
(Crédit : AQTA, Chantier des Mégalithes)*

Photo de gauche : Dolmen de Mané Braz avant ouverture de la végétation en 2005, avec mélange épais d'arbres et arbustes mais surtout beaucoup d'ajoncs d'Europe.

Photo de droite : Dolmen de Mané Braz en 2013, quelques années après ouverture de la végétation, avec la strate herbacée qui se développe en supplément des autres strates arbustive et arborée alentours. On y aperçoit notamment de la végétation de lande xérophile.



*Figure 20 : photographie des alignements de Cöet Et Bleï en 2005
(Crédit : AQTA, Chantier des Mégalithes)*



*Figure 21 : photographie des alignements de Cöet Et Bleï en 2012
(Crédit : AQTA, Chantier des Mégalithes)*

Photo de gauche : Alignement de Cöet Et Bleï avant ouverture de la végétation en 2005, avec broussailles épaisses d'arbres et arbustes, fougères et ajoncs d'Europe.

Photo de droite : Alignement de Cöet Et Bleï en 2012, quelques années après débroussaillage, avec Molinie Bleue / l'Agrostis de curtiss / Bruyère cendrée entre autres, qui ont succédés à la Fougère Aigle.

3.4 Retours d'expériences d'autres projets Morbihannais similaires

L'idée pour cette étape de l'étude, était de comparer quelques expériences ayant une problématique proche, d'en utiliser les retours capitalisés, pour ensuite s'inspirer des solutions mises en œuvre. En l'occurrence, bien que réalisés en contextes légèrement différents, 3 projets ont été repérés et essentiellement couronnés de succès. En effet, la végétation de lande anciennement bien implantée sur ces sites, mais par la suite dégradée, est réapparue en poursuivant aujourd'hui sa reconquête et sa croissance.

3.4.1 Carnac

Les monuments mégalithiques de Carnac (540 menhirs), partagent aujourd'hui l'espace avec essentiellement des landes sèches et mésophiles, des prairies acides et des fourrés de genêts (peu de boisements). (*Gallet & Rozé, 2002*). Toutefois, le site étant complètement libre de circulation jusqu'en 1993, il subissait la sur-fréquentation et des dégradations, amenant à des sols nus exposés à l'érosion sur le quart de sa surface. Depuis lors et menant à une restauration rapide des écosystèmes (sans déboisement), il a été défini des outils de gestion adaptés aux caractéristiques écologiques, archéologiques et touristiques du site (y compris mise en défense). Ce sont ainsi 17ha de landes rases et riches en bruyères, qui sont gérées avec un mode de gestion conservatoire bien défini (agropastorale et mécanique). De cette façon, parmi les 28 types de végétation répertoriés, s'organisant autour des gradients dynamique et hydrique, toutes les espèces de lande ont gagné du terrain tandis que les fougères ont régressées.

Par ailleurs, concernant la démarche de restauration du site, plusieurs questions résonnantes avec la présente étude ont été abordées (potentialités et modalités de gestion), soit à propos :

- Des mécanismes qui ont conduit à la dégradation de la végétation (sur-piétinement) ;
- De la dynamique de la végétation, depuis la restauration et ses évolutions prévisibles ;
- De la gestion du site et sa végétation, afin d'en préserver les caractéristiques écologiques et physiologiques souhaitées, avec notamment l'intégration de la fréquentation ;
- Des outils de gestion des landes et leurs caractéristiques, tels que le piétinement, le pâturage et fauchage.

Ainsi, après 10 ans d'études de la restauration, donnant lieu à la formulation de propositions de gestion, il est apparu là-bas une coexistence de plusieurs trajectoires de végétation. Elles étaient notamment liées :

- Aux conditions stationnelles (humidité, profondeur et richesse des sols) ;
- Aux dynamiques, avec par exemple une évolution plus lente des stades développés. Ces dynamiques étaient à leur tour influencées par :
 - Les types de végétation présents initialement ;
 - La banque de graines contenue dans les sols ;
 - La topographie et la nature du sol.

En conséquence, il n'y a pas eu de dynamique unique de la végétation, mais des dynamiques parallèles, faisant de la recolonisation un ensemble de processus également variables. En effet, ces différentes dynamiques et trajectoires, ont eu pour conséquences d'entraîner la modification des caractéristiques du sol (pH, teneur en azote et phosphore échangeable). Par exemple, les zones prairiales ont présenté deux types de dynamiques :

- Une plus lente dans des secteurs plus secs (maintien) ;

- Une plus rapide par les genêts dans les secteurs moins oligotrophes et humides (eutrophisation des sols notamment par leur mise en culture).

Notons également que les landes mésophiles ont progressées, malgré une méthode de restauration passive et lente, mais peu coûteuse et efficace à long terme. Quant aux potentialités de restauration, elles varient de même en fonction des conditions initiales du milieu, renforçant la nécessité d'une approche locale comme dans notre cas.

L'utilisation réfléchie, conjointe et complémentaire, de divers outils de gestion de la végétation du site de Carnac, s'est donc révélée concluante. Il s'agissait principalement de combiner et d'intégrer à cette gestion : le pâturage, la fauche et le piétinement anthropique.

Premièrement, le pâturage étant traditionnel et efficace dans la gestion de landes :

- Il a été moins contraignant que des méthodes mécaniques, avec une pression plus uniforme des ovidés ;
- L'équilibre initial du milieu a ainsi été sauvegardé et aucune plante invasive ou expansion d'espèces indésirables n'est survenue, conservant les espèces caractéristiques dominantes.

Cependant, bien qu'ayant pu rétablir l'équilibre entre les espèces de lande, cela dépendait :

- De la végétation en question, influençant d'ailleurs la flore des enclos en retour.
- Du choix du type d'animal, notamment en termes de rusticité. Sur Carnac, la race « Lande de Bretagne » à l'avantage de sélectionner ajonc et graminées, mais avec des comportements alimentaires et impacts variés sur le milieu, fonctions principalement :
 - Du stade de développement de la plante (jeunes pousses de *Pteridium aquilinum* largement consommées) ;
 - De la périodes de gestation et de lactation des brebis ;
 - Du stade de développement de l'animal, etc.

De surcroît, la densité de chargement est aussi importante et étroitement liée à celui du calendrier de pâturage (période d'application), tous deux également déterminants. Ainsi, de très forts chargements peuvent être supportés par la végétation, s'ils sont de courtes durées (par exemple pour ouverture du milieu et contrôle des ligneux).

En supplément, il est apparu que le pâturage estival, avec un chargement considéré alors comme fort, était la modalité impliquant de plus importantes modifications de la végétation :

- Développement des ajoncs et dégradation de la végétation sur la lande mésophile ;
- *Erica ciliaris* plus sensible à la défoliation en fin d'été, mais écarts importants entre les différentes espèces de bruyères.

A l'inverse, la modalité hivernale a conduit au maintien et même au développement du couvert des bruyères, au détriment des autres espèces (*Ulex europaeus*). Ce facteur de saisonnalité est donc une caractéristique forte de certaines espèces de landes, notamment mésophiles ou humides (*Pteridium aquilinum* ou *Molinia caerulea* particulièrement concernées).

Enfin, il est à noter que les landes sèches apparaissent plus aisément gérables, de par la bonne résistance d'*Erica cinerea* aux modalités de pâturage et de végétaux ligneux ayant une croissance moindre.

Deuxièmement, la fauche a présenté des intérêts pour :

- Les surfaces réduites / très hétérogènes, étant un appoint privilégié si le pâturage était impossible / inefficace (Fougère aigle, zones fréquentées, rajeunissement, etc.) ;
- L'exportation des minéraux contenus dans les rémanents, conduisant à l'appauvrissement des sols qui est un phénomène propice au retour de landes.

Néanmoins, il existe des inconvénients quant à son coût et son risque de banaliser la végétation, faisant progressivement place aux graminées au détriment des bruyères. Il est d'ailleurs possible que la végétation obtenue après le contrôle d'ajoncs, soit en partie de type prairial. La période de fauche est quant à elle un élément important à considérer, avec une fauche hivernale qui a induit de faibles richesses et diversité floristiques (*Ulex europaeus* en fin de printemps).

Troisièmement, le piétinement utilisé seul comme moyen de gestion n'était pas adéquat, surtout pour les landes menacées davantage par le surpâturage ou l'enfrichement. Toutefois, la saisonnalité et les conditions climatiques étaient tolérées différemment par les espèces, avec par exemple *Ulex europaeus* et *Erica ciliaris* plutôt fragiles (*Agrostis curtisii* se distingue lui très nettement par sa tolérance). C'est en réalité une question d'optimum écologique et de réponse variable au piétinement, avec des landes sèches plus résistantes au piétinement d'été que les landes mésophiles. Puis une diminution de la surface couverte par *Pteridium aquilinum*, a été observée suite à la fréquentation de ses zones prairiales.

A ce propos, les méthodes de lutte envisagées à Carnac contre les populations de Fougère aigle, (25% de la surface du site en 2000), étaient de 2 catégories : mécanique et chimique (dés herbant spécifique). Cette dernière étant de toute façon inadaptée au contexte du site et inefficace à moyen et long terme, ce sont les traitements mécaniques qui y ont été appliqués et ont été les plus efficaces avec deux fauches planifiées fin juin et fin juillet.

3.4.2 Monteneuf

Le site mégalithique de Monteneuf, sur schistes pourprés à l'aspect singulier, est intégré à la Réserve Naturelle Régionale des landes de Monteneuf, qui est créée en 2013 et gérée par une association (éducation à l'environnement, valorisation du patrimoine naturel / culturel / historique) (*Association Les Landes, 2021a*). Cette réserve implique 22 propriétaires publics et privés sur 125ha, sachant que son périmètre bénéficie depuis 2015, d'une zone de préemption des ENS. Des conventions ont en outre été établies avec d'autres associations (pêche), ou pour mettre en place l'entretien, du pâturage et de l'apiculture. On y retrouve comme sur Er Varquez, des milieux oligotrophes formant une mosaïque d'habitats (presque une vingtaine différents), ainsi que des mégalithes majoritairement couchés (plus de 500 répartis sur 10-15ha).

Ainsi, les 4 grands enjeux et 8 objectifs à long terme (30-40 ans), du plan de gestion de la RNR, concernent aussi bien le patrimoine naturel qu'archéologique, se traduisant par 91 actions en cours ou à entreprendre. Elles passent notamment par la conduite de travaux tels que :

- Le débroussaillage et la fauche tardive avec exportation ;
- Le déboisement, le rognage de souches, le débitage d'arbres avec export ou brûlage du bois mort ;
- Le roulage de la Fougère aigle ;
- Le pâturage extensif ;
- L'étrépage ou le comblement de fossés drainants, la création de mares ou de seuils.

Ainsi depuis 2014, ce sont plus de 1000 m³ de rémanents (déboisement), qui ont été évacués et dont 2/3 ont pu être valorisés. Ce sont aussi 15 ha de landes qui ont été restaurées, sachant que le version mésophile représente 81% de cette surface (*Association Les Landes, 2021b*).

Par ailleurs, un suivi photographique des paysages a été établi sur 28 points (repères permanents), permettant de caractériser l'évolution des landes restaurées et entretenues. Une analyse des données de suivis botaniques, suite à ces interventions de restauration et d'ouverture de la végétation, montre d'ailleurs une progression de la richesse floristique (*Association Les Landes, 2021a*). On y constate par exemple que des espèces de landes émergent, mais aussi que des irrégularités surviennent, probablement dues à un abroutissement fort sur : *Erica tetralix/ciliaris*, *Betula pendula* (Bouleau verruqueux), *Salix cinerea* (Saule cendré), *Quercus robur*. En effet, les brebis sur ce site ont un fort appétit pour les arbrisseaux et elles se reportent sur les bruyères si le pâturage est trop tardif. Pour autant, l'expansion des espèces jadis proliférantes est contrôlée (Fougère aigle, Ronces), quand les recouvrements d'espèces structurantes de landes humides sont constants (Molinie bleue, Ajonc nain, Callune vulgaire).

Finalement, la part d'habitats en état favorable est passée de 18 à 36%, à l'échelle de la réserve entre 2014 et 2020. Les états de conservation des landes sèches sont globalement restés dans des proportions identiques à 2014, quand les surfaces de landes fraîches à humides en état favorable ont très sensiblement augmentées.

Des photos témoins sont visibles à la page ci-après (figure 22).



Figure 22 : photographie de différents milieux au sein du site mégalithique de Monteneuf

Photo de gauche : lande mésophile en mauvais état et refermée, où cohabitent *Pteridium aquilinum* qui est aussi envahissante, *Erica* et *Ulex*, *Molinae*, sous une canopée de *Pinus* et *Quercus*, RNR de Monteneuf (56, Monteneuf).

Photo de droite : lande hygrophile juste après coupe à blanc de la végétation qui la surplombait, laissant repousser des espèces de lande, RNR de Monteneuf (56, Monteneuf).

3.4.3 La Vraie Croix

Une partie de la lande de ce site (70ha), sur butte granitique mais dépourvu de mégalithes, a été restaurée en 2018, avec mise en place d'un partenariat entre les acteurs locaux (projet de territoire avec mairie, école, ferme ovine, CD56, artistes, etc.). Cela a essentiellement consisté à couper des peuplements de pins maritimes et sylvestres, élaguer les autres essences d'arbres (Bouleau), puis broyer une partie de la lande sous-jacente (surtout Ajonc d'Europe). Cette biomasse fraîchement coupée fût ensuite exportée pour ne pas réenrichir les sols, qui furent d'ailleurs étrépis pour la restauration.

Par ailleurs, notons que ces opérations ont été rendues possibles entre autres, par le déclassement EBC des parcelles concernées lors de la révision PLU.

Dans le cadre du présent travail, une visite du lieu a permis de constater un résultat plutôt saisissant quelques années après, notamment au regard des environs restés sans interventions. En effet, la repousse d'espèces végétales caractéristiques des landes, semblait vigoureuse (sèches principalement), sans compter une faune également de retour (Engoulevent d'Europe).

Des photos témoins sont visibles ci-après (figure 23).



Figure 23 : photographie de différents milieux au sein des landes de la Vraie Croix

Photo de gauche : lande mésophile en mauvais état et refermée, où cohabitent *Pteridium aquilinum* qui est envahissante, *Erica* et *Ulex*, *Molinae*, sous une canopée de *Pinus* et *Quercus*, Lande de la Vraie Croix (56, La Vraie Croix).

Photo de droite : lande mésophile quelques années après coupe à blanc de la végétation qui la surplombait, puis décapage du sol laissant repousser largement *Erica* et *Ulex*, *Agrostis*, mais également quelques *Rubus* et *Pteridium*, Lande de la Vraie Croix (56, La Vraie Croix).

4. Analyse, description et synthèse des données réunies

4.1 Végétation

4.1.1 Unités homogènes de végétation

Dans un premier temps, la cartographie des unités homogènes de végétation, effectuée début mai dans le cadre du présent travail (cf. §2.3), a permis d'identifier 8 habitats principaux. Ils correspondent aux sous strates arbustives et herbacées, avec une typologie de ces aires floristiquement homogènes comme ci-dessous :

- Fourré mésophile = exemple en figure 24, représentant 2,8% de la surface cartographiée, correspondant au code « F3.1-Fourrés tempérés » de la classification EUNIS. Il est d'affinité atlantique / subatlantique / subcontinentale, de succession et principalement caducifolié, caractéristique de la zone némorale mais colonisant aussi des stations perturbée ou fraîches et humides (forêts sempervirentes méditerranéennes). On y retrouve entre autres *Rubus fruticosus* (Ronce commune) et *Lonicera periclymenum* (Chèvrefeuille des bois), ou encore *Ulex europaeus* et *Hedera helix* (Lierre) souvent relevés ici. La version envahie par la Fougère Aigle est plus importante (20,5%) ;



Figure 24 : photographies d'un habitat de type fourré mésophile

- Lande mésohygrophile méridionale (figure 25 ; 3,1% cartographie ; code EUNIS « F4.12-Lande humide méridionale ») = humide à méso-hygrophile des domaines atlantique et subatlantique, se développant sur sols tourbeux ou paratourbeux et acides à très acides mais pauvres (gleypodzols et sols semi-tourbeux), pouvant notamment former une ceinture de transition entre les landes sèche et tourbeuse (avec sphaignes et plantes carnivores non relevées dans notre cas). Elle est principalement hôte d'arbustes éricoïdes tels que *Erica ciliaris*, mais également d'*Ulex minor*. Toutefois, la collecte de données terrain à faire ressortir l'absence de sols très acides ou gleyifiés, d'*Erica tetralix*, mais aussi l'abondance de la Molinie bleue (caractéristique humide d'un sol dégradé), en parallèle de la déficience en *Erica / Ulex*. Tout ceci a très souvent mené à classer cet habitat dans ses variantes dégradées (17,8%) et avec Fougère aigle envahissante (2,4%) ;



Figure 25 : photographies d'un habitat de type lande mésohygrophile méridionale

Il est par ailleurs à remarquer que certaines unités caractérisées dans cette catégorie, l'étaient en HIC « 4030-8-Landes atlantiques fraîches méridionales » ou « 6410-9-Moliniaies hygrophiles acidiphiles atlantiques », par les différentes cartes mobilisées pour l'échantillonnage (cf. annexes V et VI). Ces habitats sont dits prioritaires en Europe de par leur richesse et raréfaction, mais aussi de par leurs faunes et flores très spécialisées (directive Habitat Faune Flore de l'Union Européenne). Cependant, la présence d'espèces typiques de cette lande, comme *Erica ciliaris* et *Ulex minor*, a permis de les classer en lande mésohygrophile dégradée. A contrario, la dominance de *Molinia caerulea* dans certains de ces polygones dépourvus de bruyères et ajoncs, pouvait orienter la caractérisation vers la moliniaie ;

- Lande mésohygrophile dégradée (figure 26 ; 17,8% cartographie ; code EUNIS « F4.13-Landes humides à *Molinia caerulea* ») = Faciès dégradé de l'habitat précédant, dominé par *Molinia caerulea* (comprend les landes sur tourbières ouvertes drainées) ;



Figure 26 : photographies d'un habitat de type lande mésohygrophile dégradée

- Lande sèche atlantique (figure 27 ; 0,2% cartographie ; code EUNIS « F4.238-Landes naines franco-britanniques à Ajoncs ») = de la France subatlantique, se développant sur un sol peu épais et rarement ou jamais gorgé d'eau, siliceux et potentiellement podzolique. La végétation dont *Erica cinerea*, *Ulex minor / europaeus*, *Calluna vulgaris* (Callune vulgaire), est à l'aise dans ces conditions difficiles. Cet habitat est également classé HIC (« 4030-6-Landes atlantiques sèches méridionales »). Toutefois, la présence d'herbacées comme *Agrostis curtisii*, pourrait mener à classer l'habitat comme « F4.235-Landes anglo-armoricaines à *Erica cinerea* et *Ulex gallii* » (semblable à l'inventaire 2016). La version envahie par la Fougère Aigle y était plus importante (2,3%) ;



Figure 27 : photographies d'un habitat de type lande sèche atlantique

- Moliniaie (figure 28 ; 2,7% cartographie ; code HIC « 6410-9-Moliniaies hygrophiles acidiphiles atlantiques ») = Élément majeur des paysages des landes et forêts temporairement humides, en plaines françaises au climat eu à thermo-atlantique, relief à humidité temporaire hivernale, sur des sols de pseudo-gley para-tourbeux à tourbeux, avec roches mères acides (granite, gneiss, grès, schistes, sables...). Celles résultantes de landes dégradées ne sont pas à considérer d'intérêt communautaire mais comme F4.13 ;



Figure 28 : photographie d'un habitat de type moliniaie

- Ptéridaie (figure 29 ; 45,6% cartographie ; code EUNIS « E5.31-Formations à *Pteridium aquilinum* subatlantiques ») = Système potentiellement landicole à *Pteridium aquilinum* apparaissant comme une étape de recolonisation du Quercion. La communauté végétale est dominée par la grande Fougère aigle, étendue et souvent fermée, où aucune espèce indicatrice de lande n'a été relevée (habitat différencié des landes dégradées avec fougères envahissantes) ;



Figure 29 : photographie d'un habitat de type ptéridaie

- Prairie basale (figure 30 ; 0,4% cartographie ; code EUNIS « E1.7-Pelouses sèches, acides et neutres fermées non-méditerranéennes » voir « E1.72 ») = sèche à mésophile, de zone némorale, pérenne et fermée occupant un sol acide. Il y est entre autres présent *Agrostis capillaris* (Agrostis capillaire), *Danthonia decumbens* (Danthonie retombante), *Deschampsia flexuosa* (Canche flexueuse), *Potentilla erecta* (Potentille érigée). Bien qu'étant non échantillonnée (zone non prioritaire, correspondant au dolmen de Mané Croc'h), elle s'est révélée intéressante par sa diversité végétale plus riche et des espèces de lande visibles en bordure. En effet, il s'agit d'un monument auparavant enfermé dans la végétation, mais qui a bénéficié en 2019 d'une ouverture et d'une gestion de celle-ci ;



Figure 30 : photographie d'un habitat de type prairie basale

- Prairie de fauche (figure 31 ; 0,8% cartographie ; code EUNIS E2.22-Prairies de fauche planitiales subatlantiques) = mésophiles et mésotrophes à eutrophes, avec notamment *Arrhenatherum elatius* (Fromental élevé), *Dactylis glomerata* (Dactyle agglomérée), *Geranium pratense* (Géranium des prés), *Campanula patula* (Campanule étalée), *Galium album* (Gaillet blanc). Comme précédemment non échantillonnée (cf. §2.2), cette zone s'est aussi montrée intéressante en termes de diversité et de dynamique végétale. En effet, même si *Pteridium aquilinum* y était envahissante, elle comportait entre autres du Prunelier, du Pommier sauvage (*Malus sylvestris*), ou encore Molinie / Ronce / Lierre.



Figure 31 : photographie d'un habitat de type prairie de fauche

Dans un second temps, cette étape d'identification / délimitation a fait ressortir les différents couverts arborés, avec :

- Chênaie (5,1% de la surface cartographiée ; code EUNIS G1.8-Boisement acidophile dominé par *Quercus*) = Forêt de *Quercus robur* ou *Quercus petraea* (Chêne rouvre), recouvrant des sols acides. La strate herbacée est souvent constituée de groupes écologiques tels que *Deschampsia flexuosa*, *Vaccinium myrtillus* (Myrtille), *Pteridium aquilinum*, *Lonicera periclymenum*, *Holcus mollis* (Houlque molle), *Luzula pilosa*, mais aussi de mousses telles que *Polytrichum formosum* et *Leucobryum glaucum* ;
- Pinède à Pin maritime (29,3% cartographie ; code EUNIS G3.71-Pinèdes à *Pinus pinaster* ssp. *atlantica* maritimes) = Forêt / plantation de *Pinus pinaster* ssp. *atlantica* (hors formation dunaire) ;
- Futaie mixte (62,5% cartographie ; G3.712-Pinèdes de *Pinus pinaster* ssp. *atlantica* et à *Quercus suber* aquitaniennes) = Forêt de *Pinus pinaster* ssp. *atlantica* avec une sous-strate arborescente entre autres composée de *Quercus robur*. Le sous-bois peut contenir parmi d'autres, *Erica cinerea*, *Pteridium aquilinum*, *Frangula alnus* (Bourdaïne), ou *Cistus salvifolius* (Ciste à feuilles de sauge) et *Calluna vulgaris* dans les stations les plus ouvertes, *Hedera helix* et *Ilex aquifolium* (Houx) dans celles les plus fermées, ou encore *Ulex europeus* dans les plus acides.

Il est bien entendu que ce dernier code est donné à titre indicatif pour les besoins de la présente étude, car il est normalement valable pour les milieux dunaires et non forestiers ou landicoles. Il s'agit là de différencier des zones où le Chêne pédonculé est fortement présent par rapport à la pinède homogène, cohabitant avec le Pin maritime en strate arbustive ou arborée. Ce sont potentiellement des espaces où la lande dominait autrefois et où la fermeture naturelle aurait plutôt été le résultat de la croissance spontanée de chênes. Cette mixité est d'ailleurs encouragée, via l'application du plan d'aménagement forestier qui transcrit une volonté de transformation du couvert (cf. §3.2.2).

En outre, notons que la surface cartographiée dans cette étape est plus importante que la zone d'étude (respectivement 41ha et 27ha). Néanmoins, elle possède des proportions similaires à cette dernière, dans la répartition des habitats (figures 32, 33 et 34).

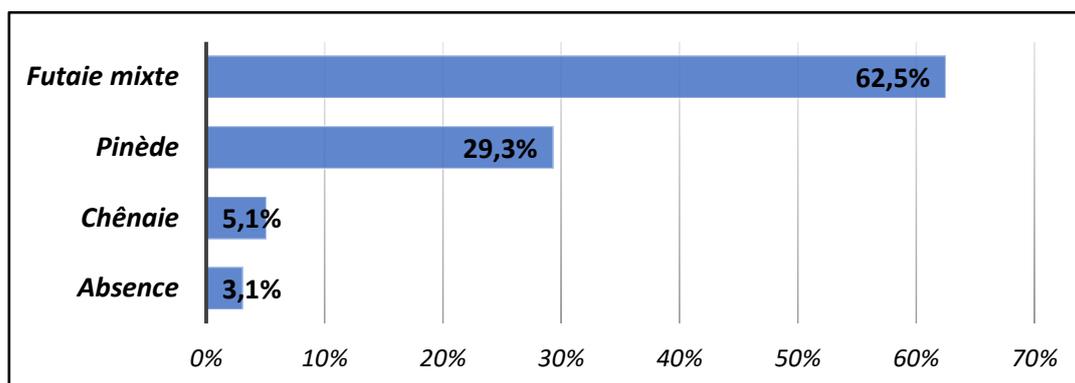


Figure 32 : répartition surfacique de la strate arborée actuelle dans l'emprise des unités homogène de végétation cartographiées (G1.8 = chênaie ; G3.71 = pinède ; G3.712 = Futaie mixte)

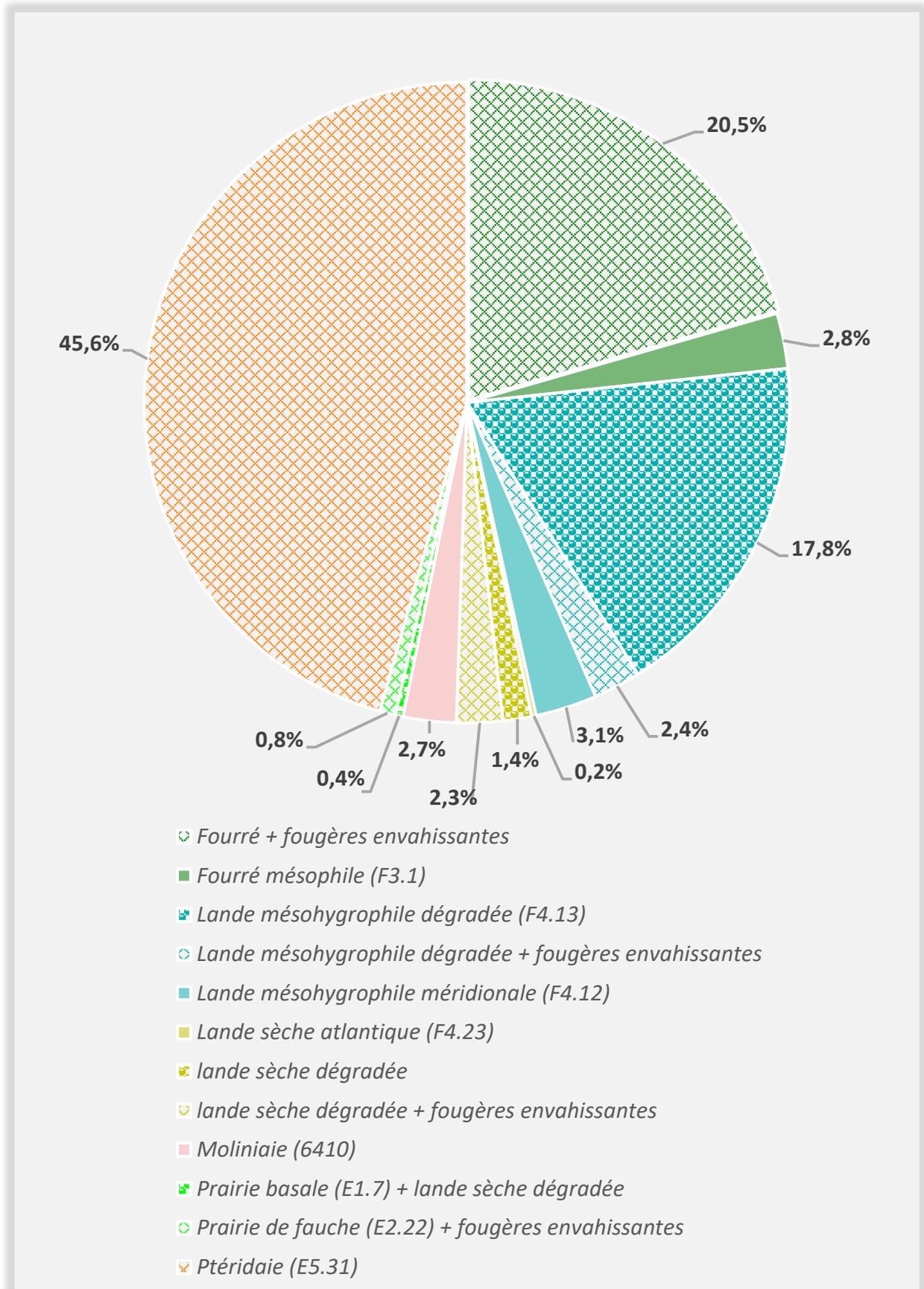


Figure 33 : répartition surfacique des unités homogènes de végétation (sous-bois)

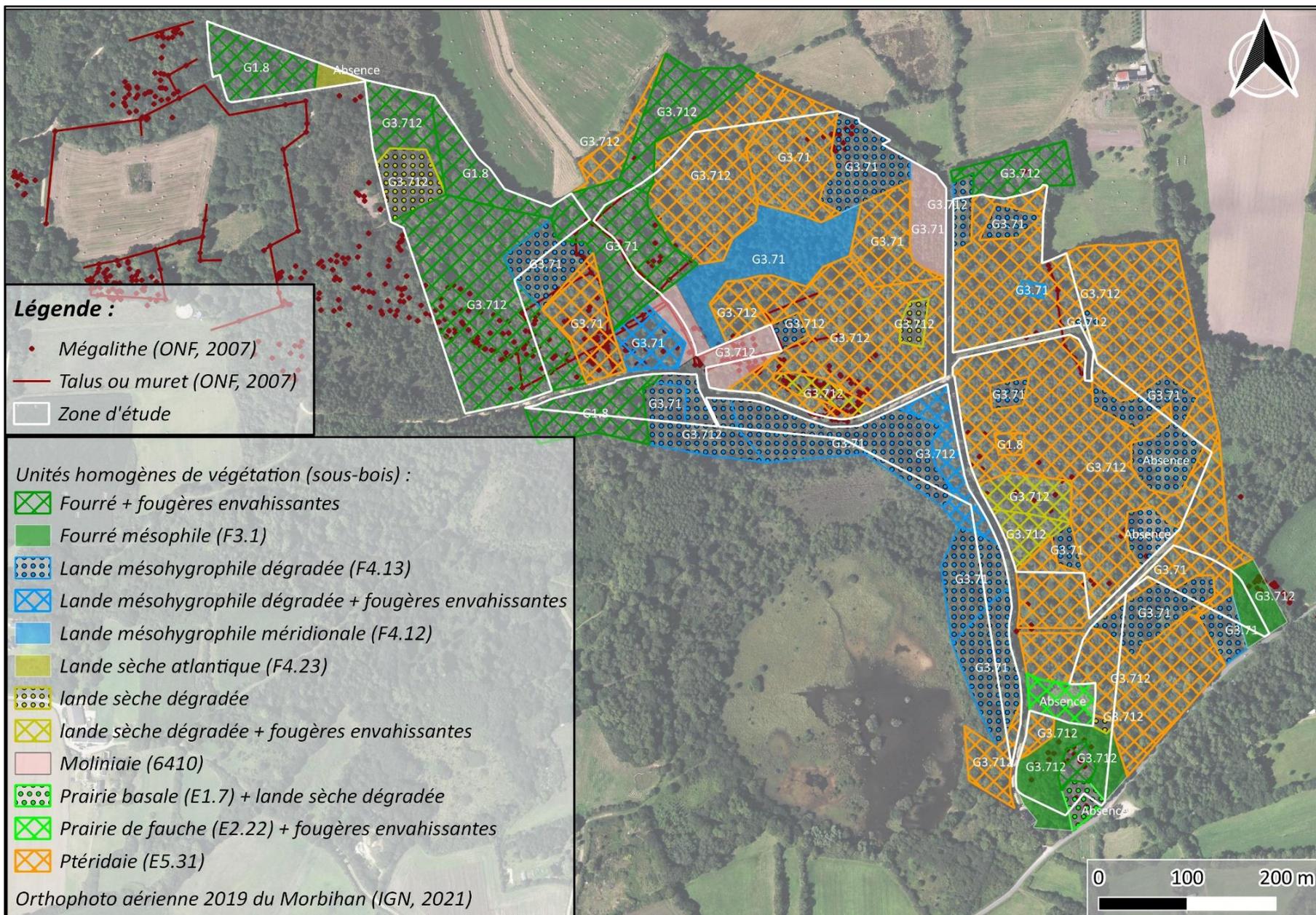


Figure 34 : carte des unités homogènes de végétation

Cette représentation des communautés végétales et leur structure, pour partie correspondant à ce qui a été décrit dans la littérature concernant ce site (cf. §3.2.2), ont fait apparaître :

- Les entités fonctionnelles et leur physionomie ;
- Leur distribution spécifique et leur hétérogénéité ;
- Le niveau et la dynamique de fermeture des différents milieux.

En ce sens, sur les diagrammes de répartition surfacique représentés ci-avant, on constate que :

- La Fougère aigle est prédominante et qu'elle a colonisé, proliféré et envahi une grande partie de cette zone, soit 71% avec landes et fourrés envahis ;
- La lande mésohygrophile est davantage présente dans sa forme dégradée, soit 90% de cet habitat (F4.12 + F4.13) ;
- Ce mauvais état concerne aussi la lande sèche, même si la lande humide, majoritaire ici, semble mieux conservée (respectivement 5% contre 14%).

De plus, considérant ces proportions, la figure 35 et l'annexe III, les habitats se répartissent inégalement par rapport à l'occupation des sols estimée pour la période 1950-1965, avec :

- Les ptéridaies, fourrés et landes sèches (peu présentes) envahis par la fougère, qui le sont indifféremment sur les 3 types ;
- Celui de type « Moliniaie », qui semble correspondre davantage à d'anciens paysages de landes, mais aussi de cultures / pâtures, que de boisement.
- Celui de type « fourré mésophile » et « lande mésohygrophile dégradée », qui sont eux plus en lien avec d'anciens sols apparemment cultivés ou pâturés ;
- La « lande mésohygrophile méridionale » et sa version dégradée colonisée par *Pteridium aquilinum*, qui apparaissent plus corrélées avec un paysage de lande à la période 1950-1965.

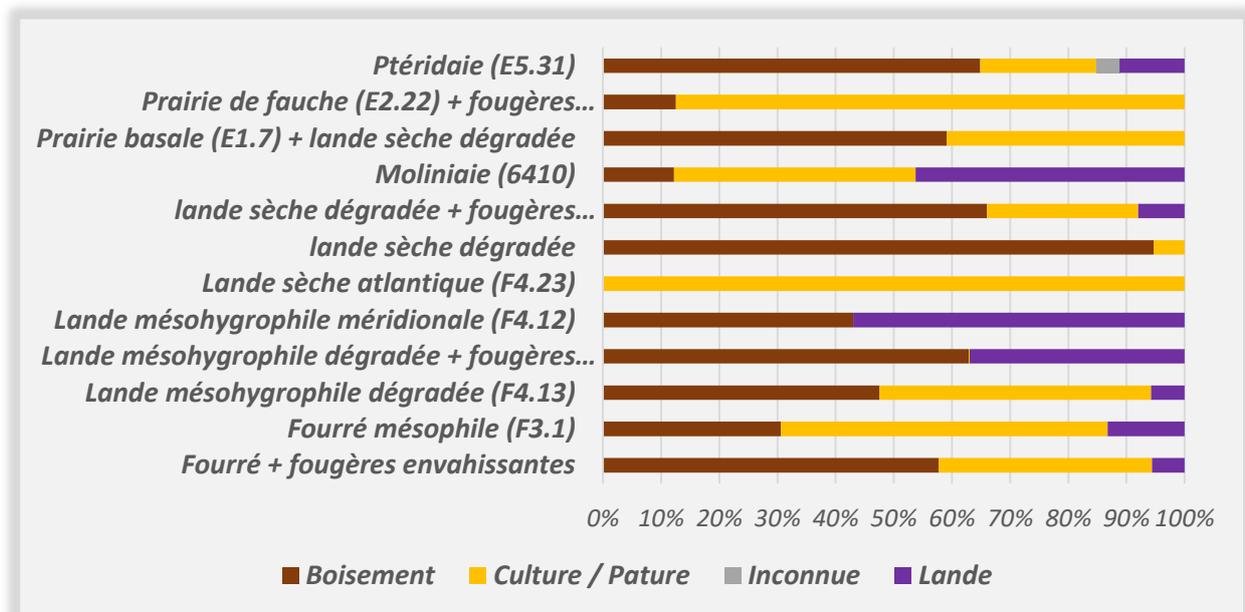


Figure 35 : répartition surfacique des unités homogènes de végétation, en fonction de l'occupation des sols estimée de la période 1950-1965

Dans tous les cas, ces unités homogènes de végétation révèlent une faible diversité d'habitats, au regard de ceux caractérisés en 2016 (cf. §3.2.2, bien que la zone d'étude ne borde pas l'étang qui accentuerait cette diversité). Globalement, cela vient appuyer les conclusions de l'inventaire de 2016, qui parle d'une biodiversité appauvrie sous une strate majoritairement résineuse. Il a été défini à l'époque dans l'emprise de notre zone d'étude, seulement 4 types de strates herbacées et 2 de strates arborées (8 et 3 ici), avec une spatialisation assez proche d'aujourd'hui. Néanmoins, l'effet de bordure qui n'a pas été considéré dans cette mission (talus / murets / fossés), amène quand même à s'interroger sur le potentiel landicole de ces milieux. En effet, outre les 2 prairies évoquées ci-avant, des espèces indicatrices de landes bordaient ponctuellement les zones cartographiées (exemple : point 14 avec de la Bruyère ciliée, par ailleurs enregistré comme moliniaie ou HIC « 6410-9-Moliniaies hygrophiles acidiphiles atlantiques » dans la BIG Habitat du CBNB).

Considérant maintenant uniquement la strate arborée et de la même façon que pour la répartition surfacique de la strate herbacée (cf. annexe III, figures 32 et 36), on s'aperçoit que :

- La futaie mixte et la pinède semblent s'accommoder de toutes les occupations de sols du milieu du siècle précédent. Cependant, depuis l'acquisition du site par le département il y a 25 ans, la volonté dans la gestion forestière de l'ensemble se traduit par la sélection des feuillus au détriment des pins dont la densité se veut aussi réduite. Depuis lors, cela induit une plus forte pression sur les pins, certainement plus représentés auparavant (futaie mixte considérée en partie comme pinède à l'époque) ;
- La chênaie actuelle occupe davantage les anciens espaces en théorie cultivés / pâturés ;
- Les parcelles estimées être occupées par la lande à la mi 20^{ème}, ne sont pas du tout représentées avec la chênaie d'aujourd'hui ;
- Le couvert forestier fait état d'une progression de plus de 80% depuis 1965.

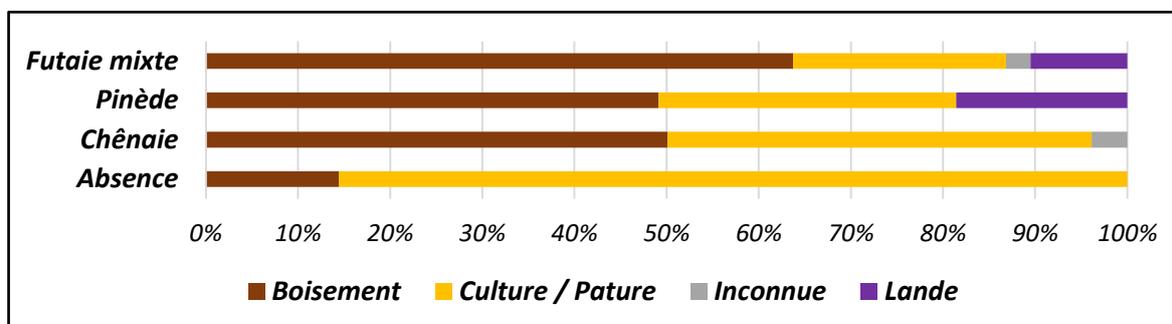


Figure 36 : répartition surfacique de la strate arborée actuelle, en fonction de l'occupation des sols estimée de la période 1950-1965

A présent, toujours dans cette analyse spatiale et en prenant en compte les figures 32 / 33 / 37, on s'aperçoit que :

- La ptéridaie se distingue davantage avec la futaie mixte qu'avec la pinède ;
- Les landes sèches et fourrés mésophiles, sont plus liés à la futaie mixte qu'à la pinède ;
- La moliniaie et la lande mésohygrophile, se rapportent plus à la présence de la pinède ;
- Les fourrés envahis par les fougères, semblent correspondre davantage à la chênaie ou à la futaie mixte qu'à la pinède, bien que la surface de cette strate soit peu représentée.

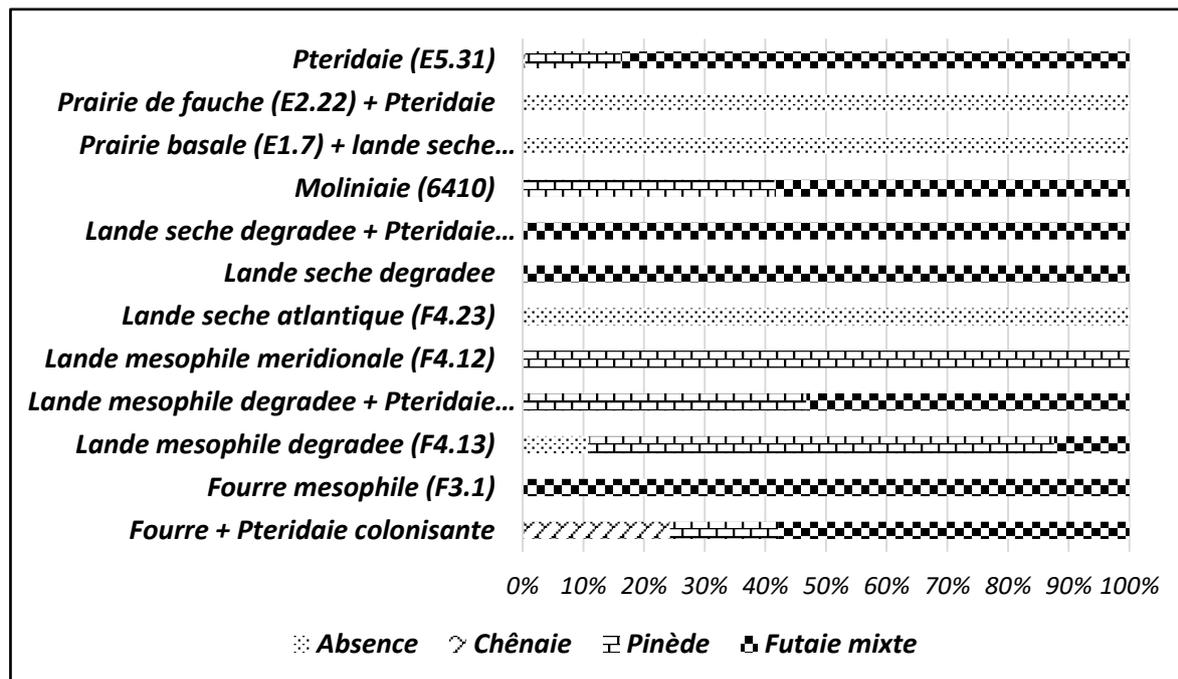


Figure 37 : répartition surfacique des unités homogènes de végétation, en fonction de la strate arborée actuelle

4.1.2 Relevés phytosociologiques

La flore de l'ensemble des 48 points échantillonnés ici, est composée de 36 espèces répartis sur 0,3ha (toutes les strates précédemment énoncées). Ce chiffre issu de relevés en un seul passage au mois de mai, est à relativiser aux 229 espèces inventoriées avec une méthode différente en 2016, sur la totalité de l'ENS et son étang (51ha). Le tableau de synthèse des relevés est disponible en annexe XI : Complément de résultats, §Relevés phytosociologiques.

Ainsi au sein de ces cadrats, on retrouve des complexes de végétation de l'intérieur des terres, dont la physionomie est dessinée par 15 espèces de types vivaces ou annuelles, 12 espèces arbustives, ou encore 9 essences d'arbres. Ils occupent :

- Des affleurements rocheux ;
- Des milieux forestiers bien drainés ;
- Des paysages landicoles mésophiles et mésohygrophiles ;
- Des bas de versants et fonds de vallons, avec engorgement temporaire.

Par ailleurs, on remarque sur les tableaux de contingence (figures 38 et 39), que :

- Le tiers des espèces a été relevé une seule fois, quand plus de la moitié l'a été moins de 4 fois, argumentant en faveur de la dégradation des milieux ;
- Le tiers des cadrats comportaient moins de 8 espèces différentes, quand seulement 10% en comportaient plus de 10, corrélant ce constat d'une biodiversité appauvrie ;
- Dans la même idée, la flore remarquable des landes de Bretagne est peu représentée, avec seulement l'Asphodèle d'Arrondeau (*Asphodelus arrondeaui*), qui a été repérée bien qu'elle fût aperçue plusieurs fois sur l'ENS ;

- Les espèces de lande comme la Bruyères ciliée / cendrée ou l'Ajonc nain, sont tout de même repérées dans presque la moitié des points échantillonnés, ce qui est un élément rassurant quant au potentiel de restauration de landes ;
- Le Pin maritime et le Chêne pédonculé, sont surreprésentés, corroborant l'importance du couvert arboré et alimentant l'hypothèse d'un développement naturel de ces espèces, liée notamment à la déprise agricole ;
- La Molinie et la Ronce, mais aussi l'Ajonc d'Europe et la Fougère, sont très présents (respectivement relevées 42 / 41 / 32 / 27 fois), confirmant que ce sont des espèces à surveiller dans le cas d'une ouverture de la végétation leur apportant plus de lumière.

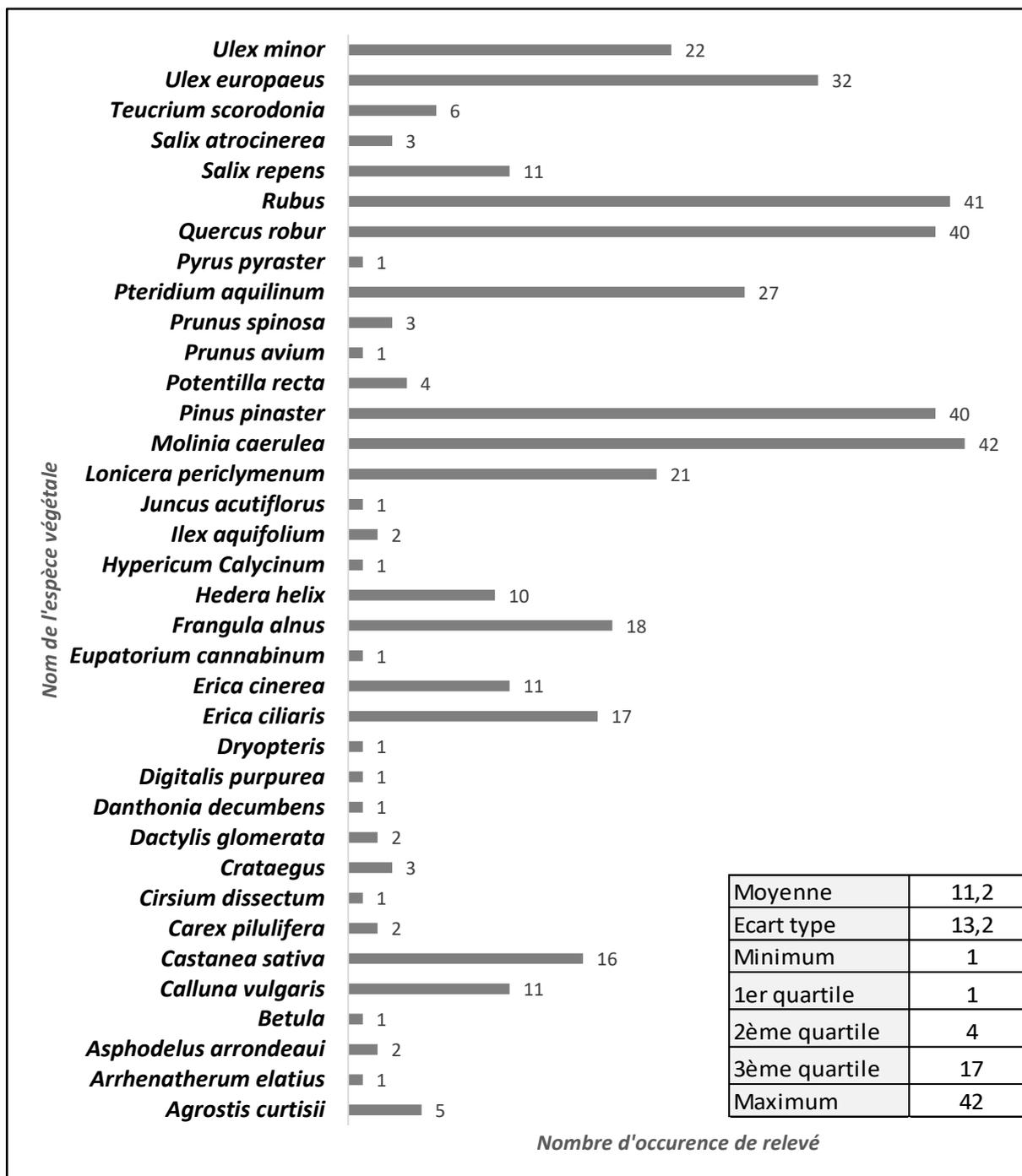


Figure 38 : occurrences de chaque espèce végétale relevée sur la zone d'étude, pour l'ensemble des cadrats de phytosociologie (48 points)

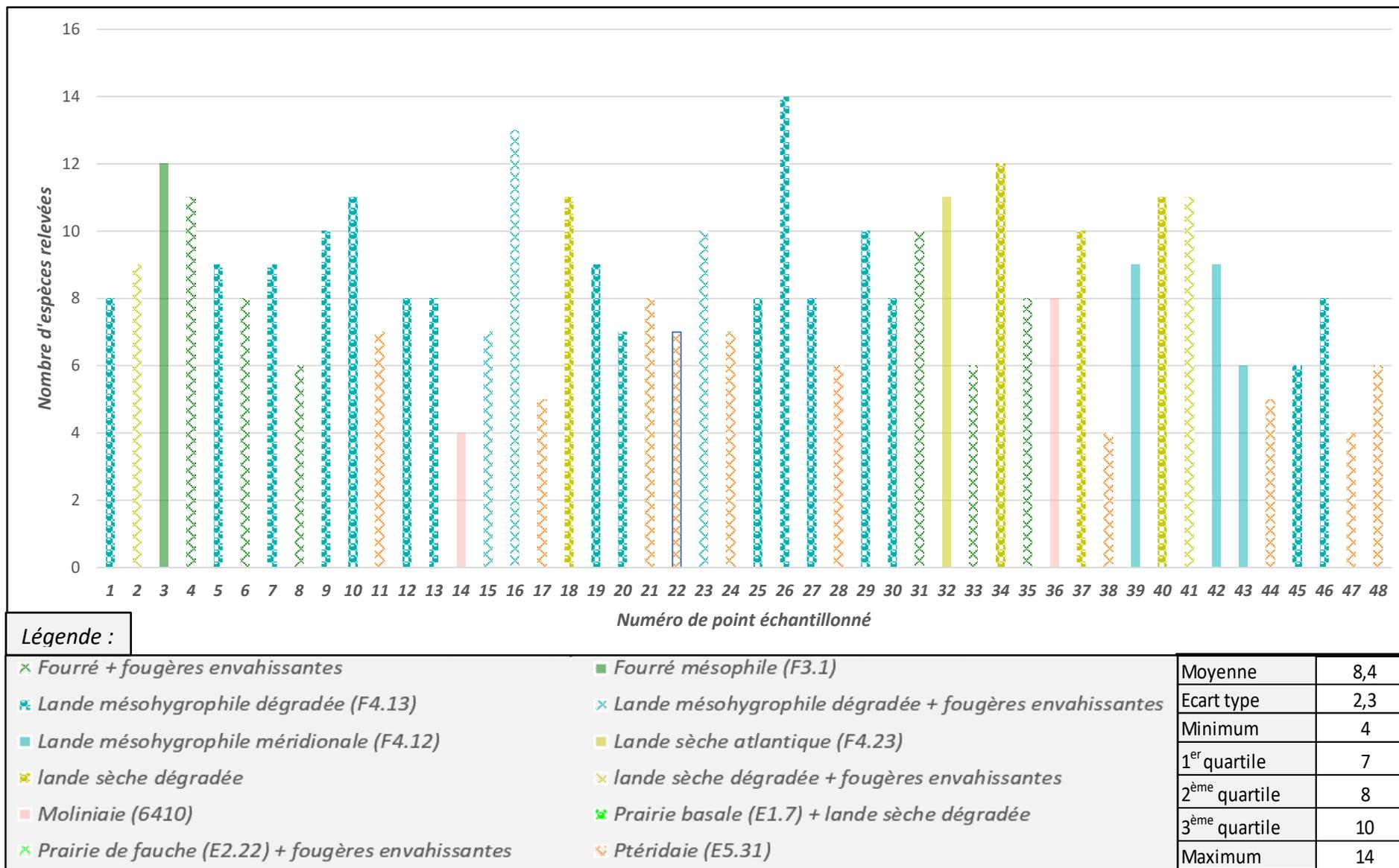


Figure 39 : contingence du nombre d'espèces végétales relevées sur la zone d'étude, au droit de chaque cadrat pour la phytosociologie (48 points)

4.2 Sols

4.2.1 Caractérisation in-situ

La caractérisation pédologique faite pendant la campagne de terrain, a permis d'observer et de décrire une vingtaine de sols, correspondant à différents codes 4 critères. Ils sont regroupés en 5 grands types, présentés ci-dessous et spatialisés ci-après (figures 45 à 47) :

- Rankosol (12 sites, exemple en figure 40) = superficiel avec des épaisseurs variant de 18 à 40cm, une texture peu différenciée et très sableuse car l'altération des leucogranites est peu avancée (éléments grossiers plus nombreux), relativement riche en matière organique sur l'horizon supérieur, acide et ayant un faible stock d'éléments minéraux nutritifs, plutôt sec à bien drainé (pas d'hydromorphie) et situé majoritairement en pente ou sol plat rajeunit en permanence (érosion ou pressions agricoles / sylvicoles), possédant une forme d'humus Mor ou Moder voir Mull ;

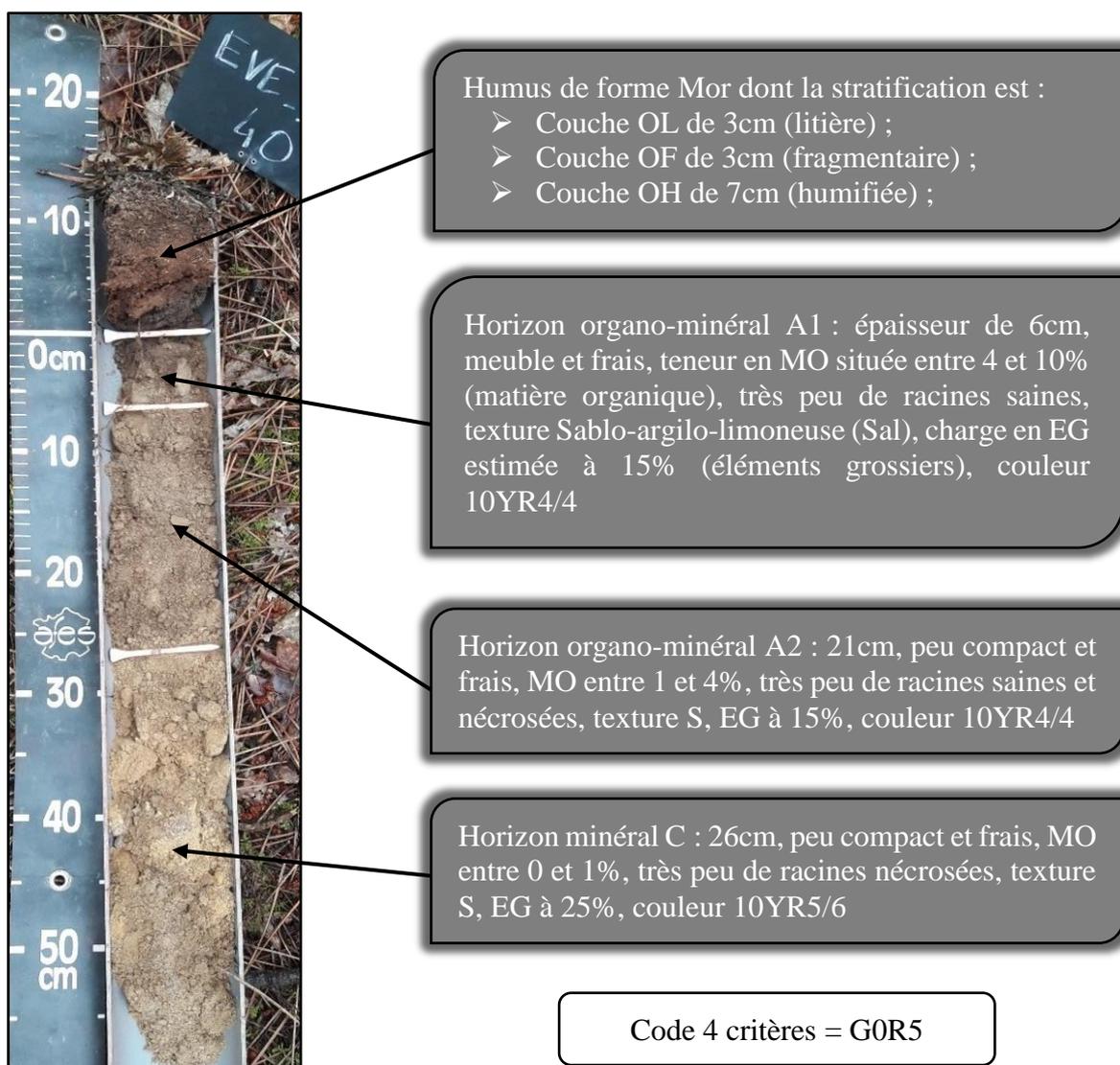


Figure 40 : photographie du profil de sol au point 40

- Brunisol (5 sites, figure 41) = plus épais allant jusqu'à plus de 100cm (tarière trop courte), une texture peu différenciée au sein du profil mais variable entre chaque site, un horizon structural S développé, peu acide voir neutre (point n°31), humide à bien drainé et présentant souvent des traits rédoxiques à moins de 40cm de profondeur, situé la plupart du temps sur sol plat, avec forme d'humus mor ou moder ;



Humus de forme Mor voire Moder, dont la stratification est :

- Couche OL de 4cm (litière) ;
- Couche OF de 4cm (fragmentaire) ;
- Couche OH de 4cm (humifiée) ;

Horizon organo-minéral A : épaisseur de 30cm, meuble et frais (météo variable), teneur en MO située entre 4 et 10% (matière organique), quelques racines saines et nécrosées, texture Limono-Argilo-Sableuse (LAS), charge en EG estimée à 1% (éléments grossiers), couleur 10YR3/3

Horizon structural S : 15cm, peu compact et frais, MO entre 1 et 4%, très peu de racines saines et nécrosées, texture Sal, EG à 3%, couleur 10YR6/2 avec tâches de dégradation assez nombreuses et contrastées en 10YR6/8

Horizon minéral rédoxique Cg : 35cm, peu compact et frais, MO entre 0 et 1%, très peu de racines nécrosées, texture S, EG à 25%, couleur 10YR6/2 avec tâches d'oxydation nombreuses et contrastées de couleur 10YR6/8

Code 4 critères = G3B4

Figure 41 : photographie du profil de sol au points 29

- Alocrisol (8 sites, figure 42) = d'épaisseur variable, texture souvent limon-sable-argile (LSa), présentant normalement un horizon S aluminique (concentré en aluminium), acide ou très acide (altérite modérément acide + forêts avec litière acidifiante), humide à bien drainé et souvent présentant des traits rédoxiques à moins de 40cm de profondeur, saturation très faible et surmonté d'une forme d'humus mor. Il est à remarquer que pour ce type de sol, le règlement pédologique (RP) précise que la forme d'humus la plus typique est un oligomull, mais que dans un contexte acide, l'activité biologique peut facilement être perturbée par une modification de la couverture végétale comme ici (substitution d'essences, fermeture du couvert, envahissement d'éricacées, etc.).

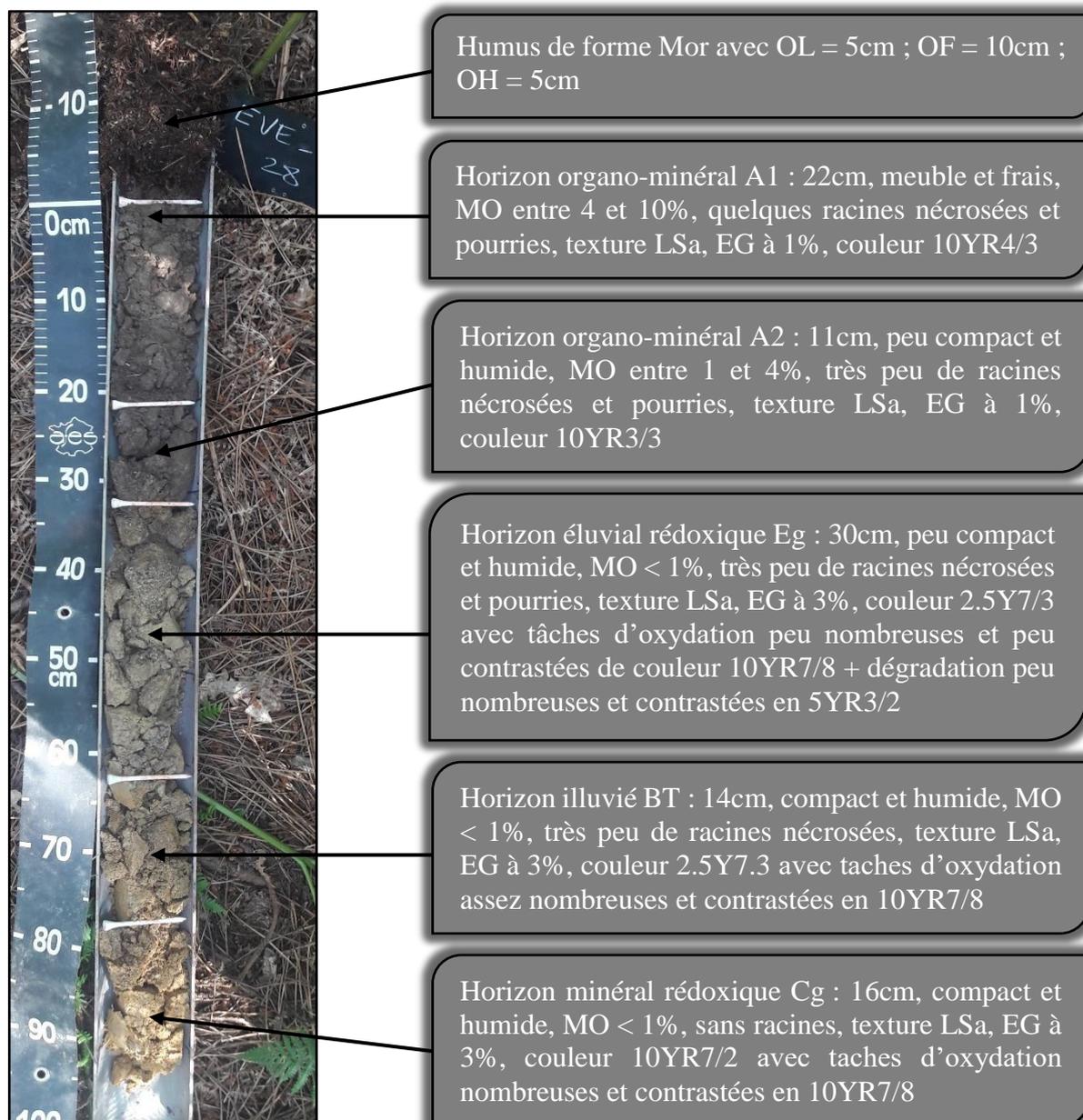


Figure 42 : *photographie du profil de sol au points 28*

Code 4 critères = G6A3

- Planosol (12 sites, 43) = moyennement épais, peu évolué avec une morphologie différenciée par des horizons supérieurs perméables et rédoxiques (excès d'eau saisonniers), se superposant à des horizons en profondeur plus imperméables (plancher), acide à peu acide et situé sur replat et en basse altitude, avec forme d'humus mor ou hydromor voir hydromoder. Le RP français mentionne entre autres un horizon éluvial E et la possibilité d'un autre sous-jacent qui est illuvial BT, mais résultant de la translocation des argiles latéralement et non verticalement comme dans les podzols. En effet, cette différenciation texturale ne proviendrait pas d'un processus de lessivage, mais plutôt d'apport d'argiles provenant d'un autre matériau ancien (anté-miocène), comme énoncé plus haut (cf. §3.2.2 et 3.2.4 ou annexe III) ;

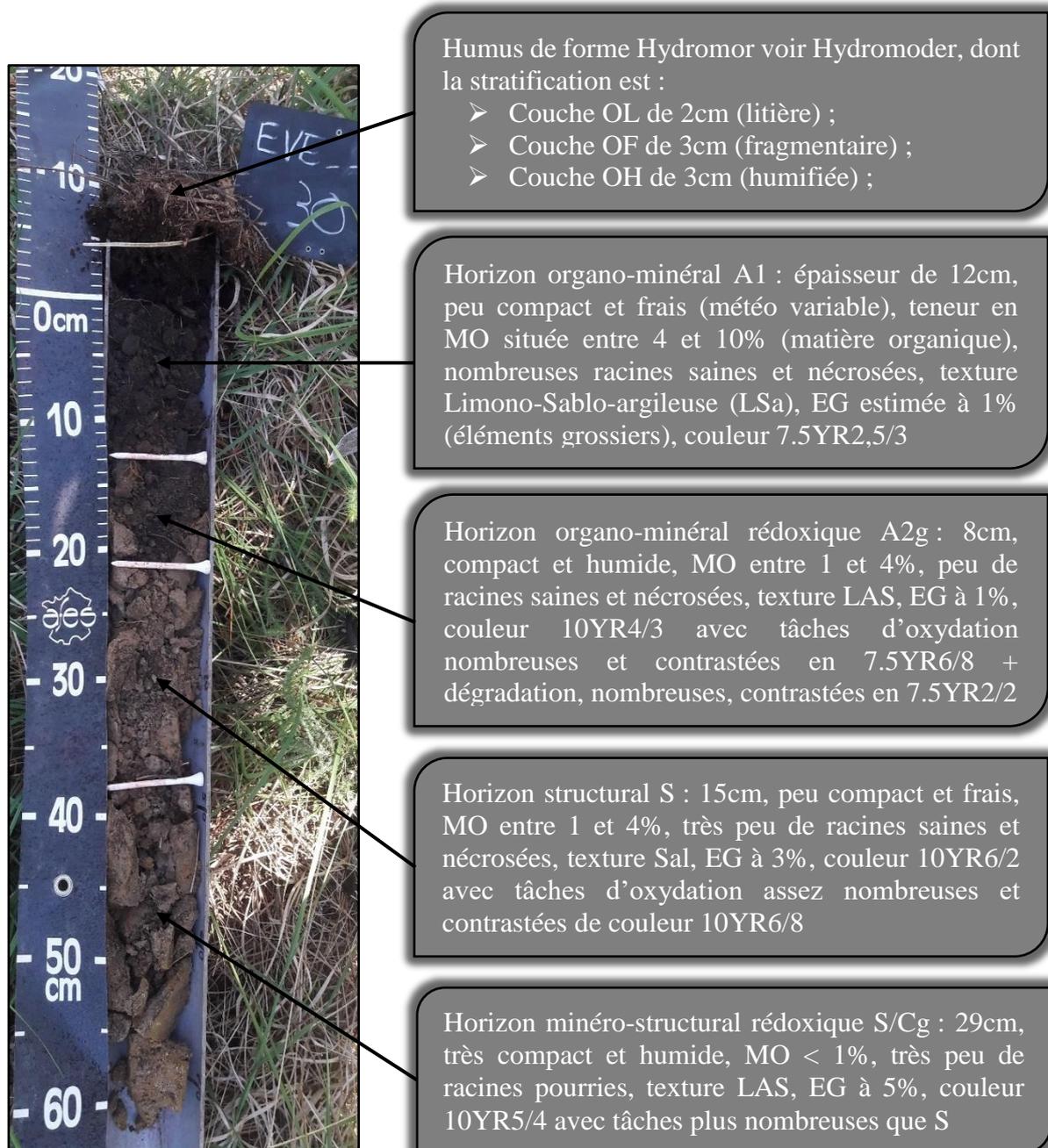


Figure 43 : photographie du profil de sol au point 30

Code 4 critères = G6Y4

Fluvisol (3 sites, figure 44) = moyennement épais, texture fréquente de LSa, pas d'horizons de référence mais d'apports alluviaux fluviaux récents (de l'holocène, transport puis sédimentation / atterrissement de matière) et rédoxiques (parfois inondé et avec une nappe libre phréatique affleurant), acide à peu acide et toujours situé en partie basse de versant, avec forme d'humus mor ou moder voir hydromoder. Le RP précise que les conséquences de l'engorgement sur les plantes sont atténuées par le fait que la nappe est circulante et oxygénée ;



Figure 44 : photographie du profil de sol au point 9

Humus de forme Moder, dont la stratification est :

- Couche OL de 4cm (litière) ;
- Couche OF de 3cm (fragmentaire) ;
- Couche OH de 5cm (humifiée) ;

Horizon organo-minéral A : épaisseur de 15cm, meuble et humide (météo variable), teneur en MO située entre 4 et 10% (matière organique), peu de racines saines et nécrosées, texture Limono-Sablo-argileuse (LSa), charge en EG estimée à 1% (éléments grossiers), couleur 10YR3/1

Horizon organo-minéral jeune Jp1 : 12cm, peu compact et très humide, MO entre 1 et 4%, peu de racines saines et nécrosées, texture LAS, EG à 3%, couleur 10YR5/1

Horizon structural jeune rédoxique Jp2g : 12cm, compact et humide, MO entre 1 et 4%, peu de racines saines et nécrosées, texture LAS, EG à 1%, couleur 10YR6/2 avec tâches d'oxydation peu nombreuses et peu contrastées de couleur 10YR7/8

Horizon minéro-structural jeune rédoxique Jp3/Dg : 26cm, très compact et humide, MO < 1%, sans racines, texture LAS, EG à 15%, couleur 10YR7/1 avec tâches d'oxydation nombreuses et contrastées de couleur 10YR6/8

Code 4 critères = V5V3

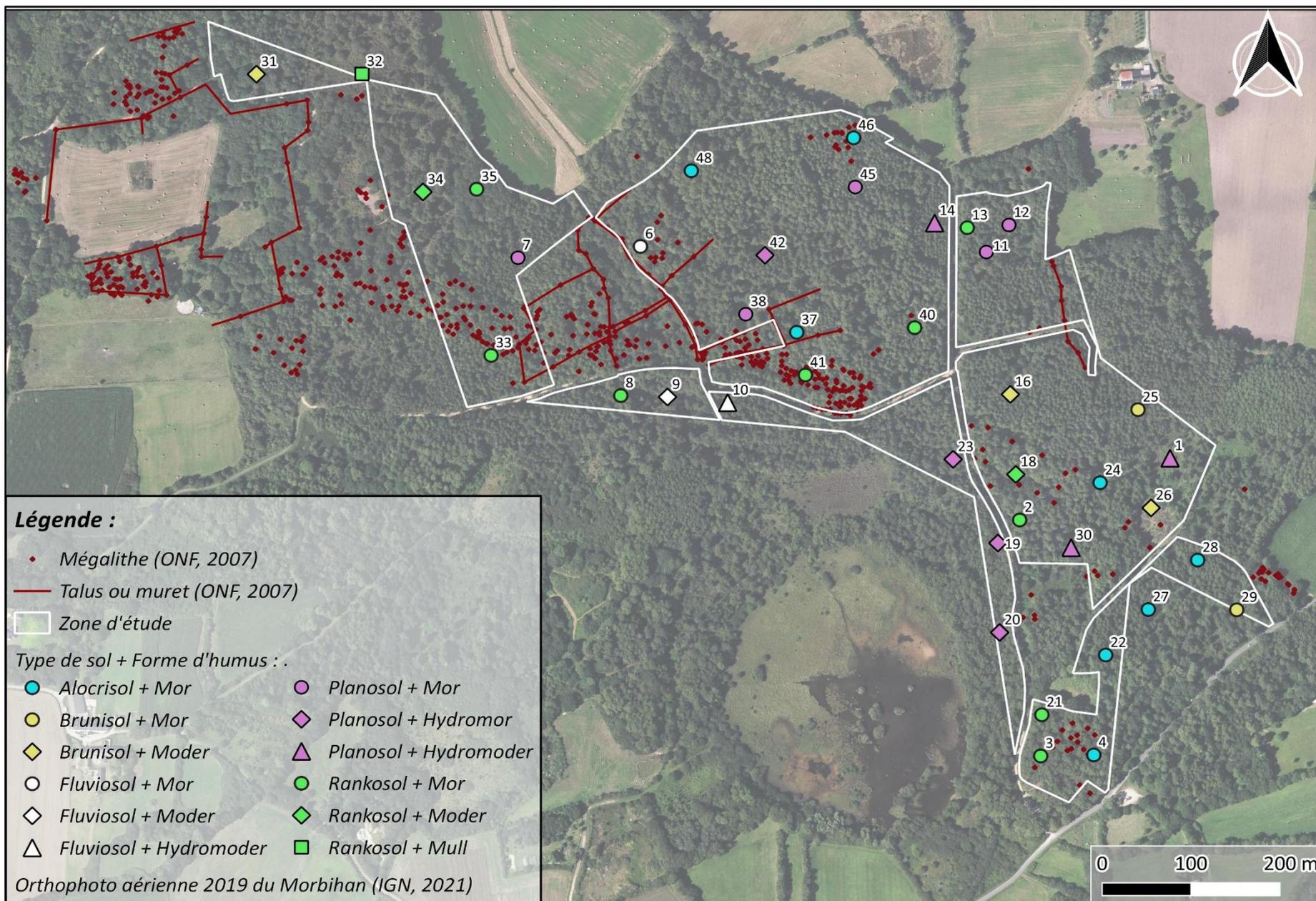


Figure 45 : carte des types de sols en fonction des humus, au droit des points échantillonnés

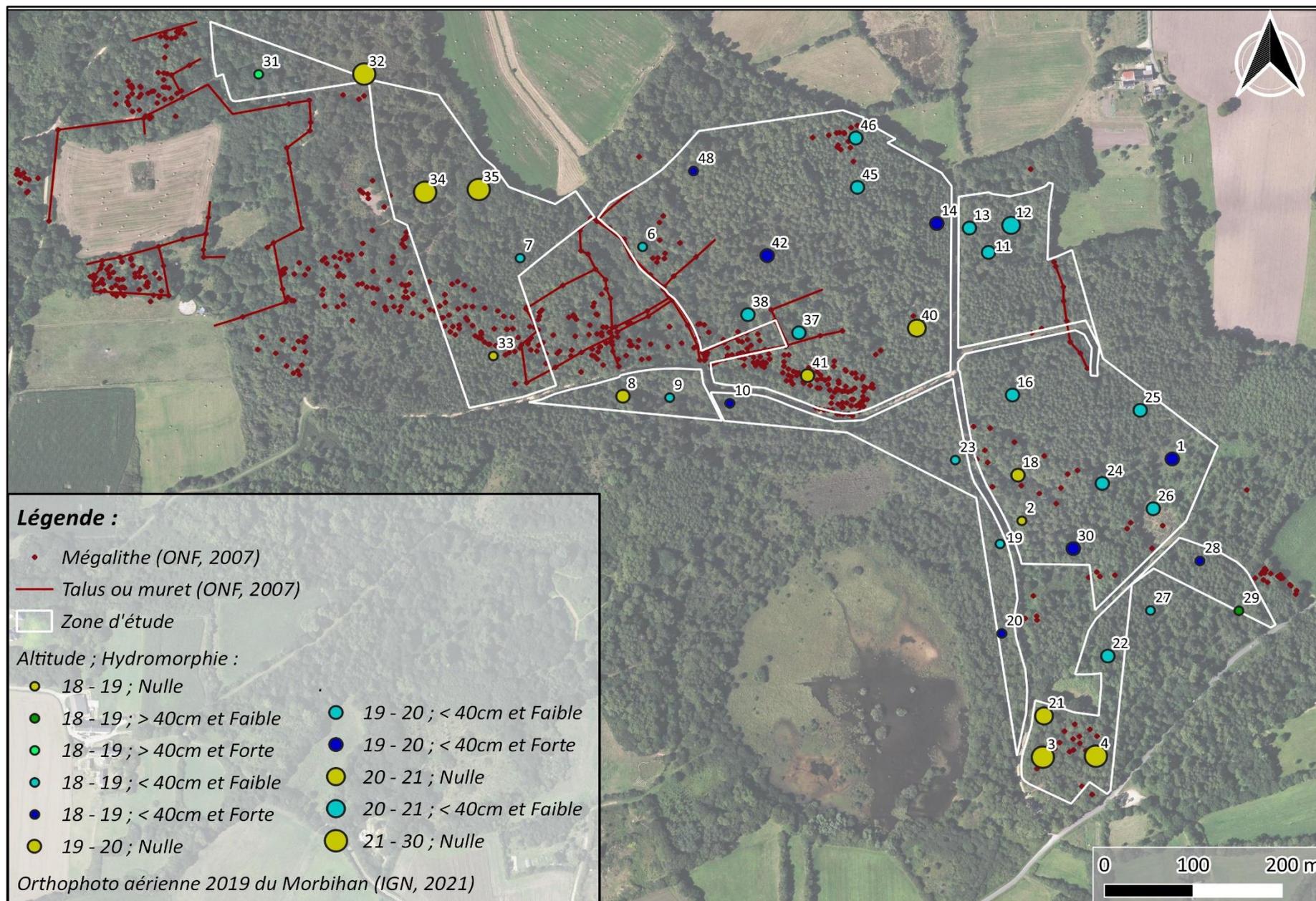


Figure 46 : carte de la profondeur d'apparition de l'hydromorphie en fonction de l'altitude, au droit des points échantillonnés

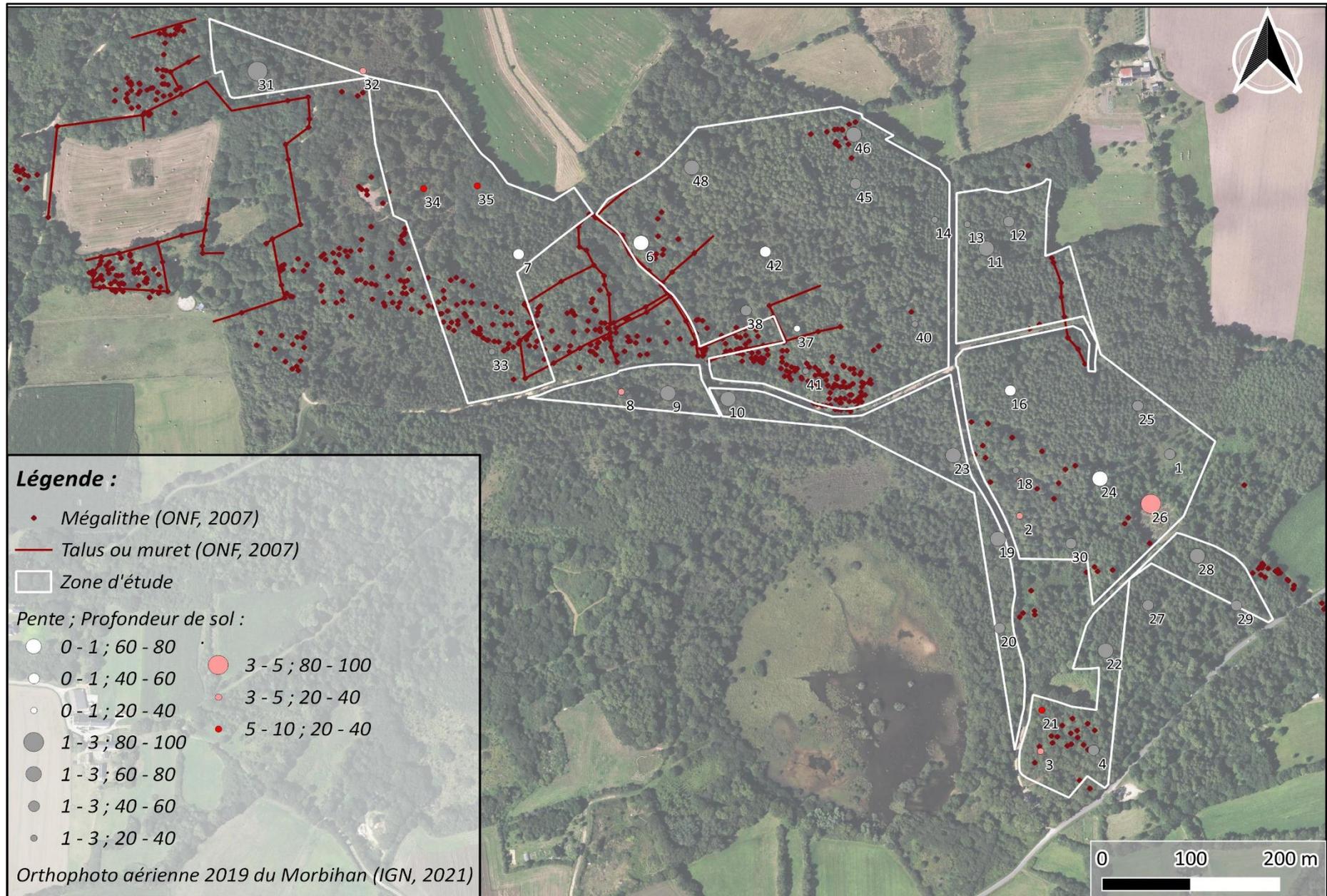


Figure 47 : carte des pentes et des profondeurs des sols, au droit des points échantillonnés

Ainsi, la typologie de ces profils de sols correspond pour partie, à ceux déjà énoncés plus avant (cf. §3.2.3 et annexe X : figure 74). Toutefois, l'épaisseur annoncée comme généralement forte sur la plupart d'entre eux, est en fait plutôt moyenne. Ces 5 descriptifs représentant d'ailleurs l'ensemble des observations de profils, les variations sont liées aux différentes classes de profondeur et d'apparition de l'hydromorphie. Par ailleurs, considérant les figures 45 à 47, il en ressort que :

- 14 sols sont peu profonds, 24 moyennement profonds, 2 profonds ;
- 12 sols sont non hydromorphes, 2 peu hydromorphes et en profondeur, 26 plus hydromorphes et à moins de 40cm de profondeur.
- Les alocrisols sont tous surplombés de la forme d'humus « mor » ;
- Les brunisols se retrouvent indifféremment avec des humus « mor » ou « moder », sachant que 3 d'entre eux ont un pH à la limite de les classer comme Alocrisol (points 16 / 25/ 29) ;
- Les fluvisols sont représentés de la même façon avec les 3 formes, bien qu'il y ait peu d'individus ;
- Les planosols, bien qu'avec des humus « mor » majoritaires, sont ceux avec le plus de formes hydromoder ;
- Les rankosols sont davantage accompagnés par des humus de forme « mor ».

En outre, au regard de ces figures et de l'annexe IV, il est visible que :

- Le gradient d'humidité suit le gradient topographique, avec :
 - des sols majoritairement hydromorphes aux plus basses altitudes ;
 - des sols sans hydromorphie au niveau des pentes les plus fortes (drainage).
- Les fortes pentes se retrouvent en présence de sols peu épais (érosion).

En supplément, on constate aujourd'hui : 30% de rankosols caractérisés, 30% de planosols, 20% d'alocrisols, 7,5% de fluvisols, 12,5% brunisols. Suite à la superposition de ces résultats sur la carte des sols de 1980, il apparaît globalement une bonne correspondance entre les limites de ces minutes de terrain et les sondages faits dans cette étude (figures 48 et 49). Les différences étant surtout dues à des sondages proches de certaines limites cartographiques photo-interprétées, ou à des changements de langage (cf. annexe III : figure 67).

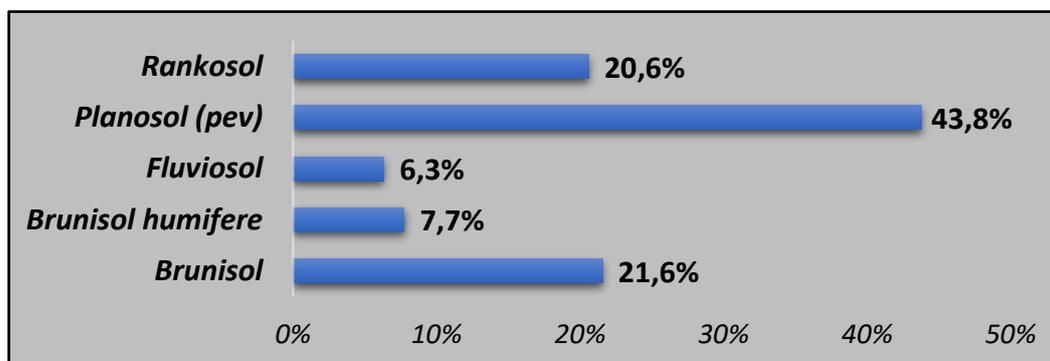


Figure 48 : répartition surfacique des grands types de sols issus de la cartographie de 1980 (emprise des unités homogènes de végétation de la zone d'étude)

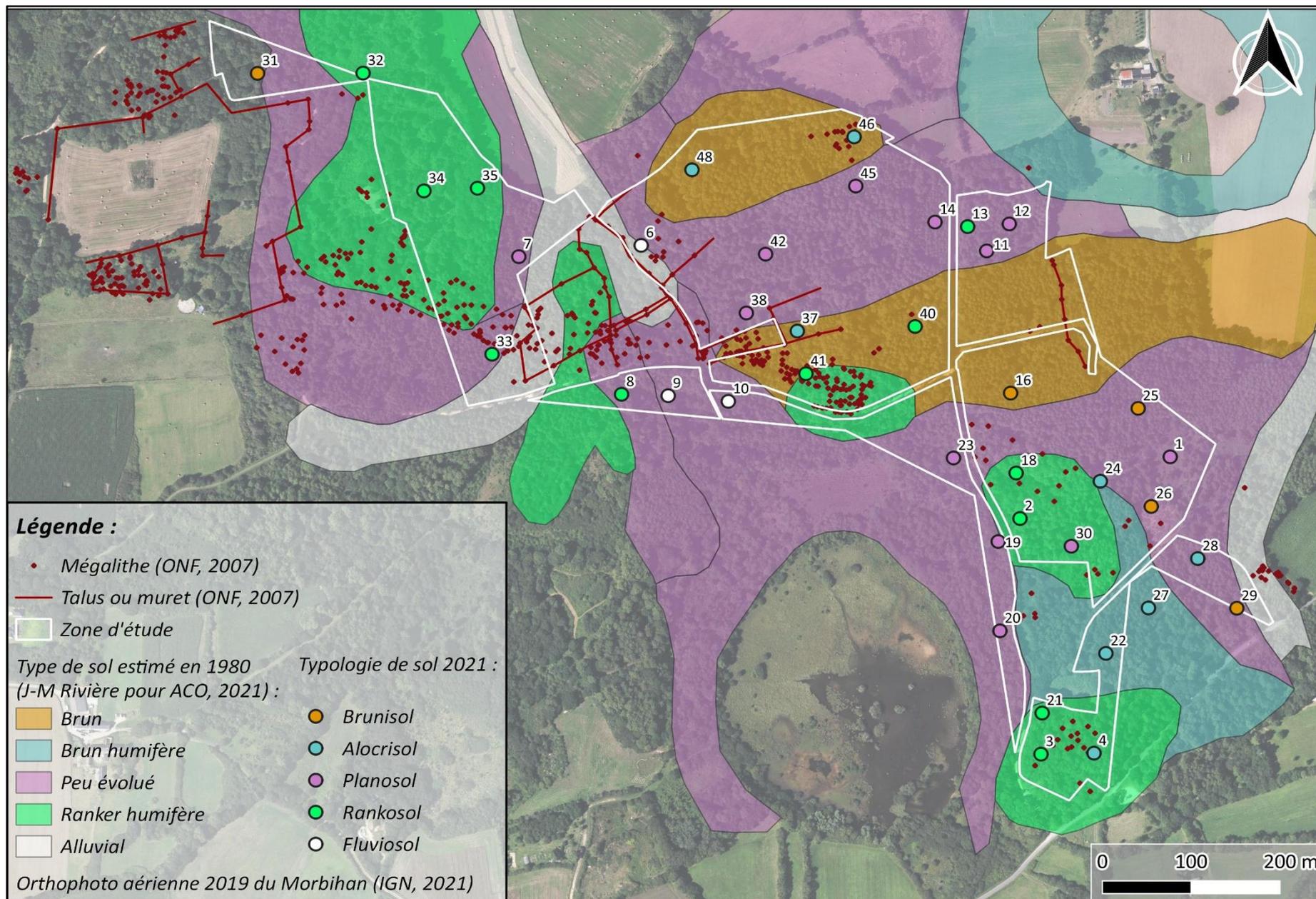


Figure 49 : carte comparative entre les types de sols caractérisés en 2021 au droit des points échantillonnés et ceux photo-interprétés de 1980

Par la suite et dans la continuité des analyses faites avec les occupations de sols estimées en 1950-1965, la figure 50 nous fait percevoir que :

- Les parcelles boisées en 1965, correspondent aujourd'hui légèrement plus à des planosol ;
- Les alocrisols aujourd'hui semblent plutôt anciennement cultivées / pâturées.

	Boisement	Culture / Pature	Inconnue	Lande	TOTAUX	PART
Alocrisol	2	5		1	8	20%
Brunisol	2	2		1	5	13%
Fluvisol	2	1			3	8%
Planosol	9	2		1	12	30%
Rankosol	7	4		1	12	30%
TOTAUX	22	14	0	4	40 échantillons	
PART	55%	35%	0%	10%		

Figure 50 : contingence des types de sols caractérisés en 2021 par rapport à l'occupation des sols estimée de la période 1950-1965

Grâce à une analyse du même genre réalisée avec les formes d'humus, cela fait ressortir :

- Une corrélation plus forte entre la forme Moder et d'anciennes cultures / pâtures ;
- Une forme Mor plus représentée sur des anciennes parcelles de boisement et de landes.

Enfin, les processus de podzolisation ne semblent pas encore à l'œuvre dans ces sols (cf. §3.2.3). Pourtant, un couvert végétal modifié et acidifiant, comme dans le présent contexte, peut être synonyme d'un démarrage de ces processus. Les formes d'humus déterminées ici, sont en outre en grande partie de celles mal décomposées (mor / moder), surmontant des horizons pour certains éluviaux / illuviaux (lessivage / accumulation) et pour beaucoup acides. Cet humus reste un témoin de la faible activité biologique et trophie du sol, ainsi que d'une disponibilité des nutriments presque nulle dans les horizons OF / OH (fragmentaire / humifié). Plusieurs autres paramètres semblent également réunis pour entamer cette pédogénèse, ce dans plusieurs sols échantillonnés : substrat, CEC, trophie, oxydoréduction. Cependant, il s'agit de processus qui se retrouvent d'avantage en conditions climatiques spécifiques, pour un type de matériau parental donné et à des altitudes plus élevées (se manifeste plus clairement sur quartzites et les grès que sur granites). Mis à part les planosols, il y a eu de surcroît peu de différenciation texturale relevée dans ces sols, pas d'horizon albique ni podzolique. Cela mérite donc une prise en compte mesurée, tout en sachant que si la podzolisation et ses mécanismes apparaissent rapidement à l'échelle géologique, elle se produit sur des centaines d'années à plusieurs millénaires. Pour ce constat, comme pour l'identification de la typologie de sols, les analyses physico-chimiques ci-après ont confirmé ces dires.

Par ailleurs, il apparaît que quelque unes des caractéristiques pédologiques et édaphiques de podzosols, sont compatibles voir favorisent la subsistance de landes. Ils sont effectivement acides et oligotrophes, avec des textures sableuses, ou possèdent une faible capacité d'échange cationique ainsi que d'une certaine toxicité pour beaucoup d'espèces végétales.

4.2.2 Analyses physico-chimiques

Les analyses en laboratoire effectuées sur les prélèvements de sols, ont permis de mesurer précisément un certain nombre de paramètres physico-chimiques. Ces grandeurs ont apporté des éléments supplémentaires de compréhension, à la relation étudiée ici (*Laurent & Douard, 2017*). En effet, étant donné que le matériau parental est plutôt homogène dans notre situation et qu'il influence fortement ces paramètres comme le pH, il était insuffisamment révélateur de la diversité pédologique / phytosociologique.

Premièrement, à propos de ce potentiel hydrogène d'une importance majeure pour l'identification des types de sols, il résulte d'après les résultats présentés en figure 51 :

- Une majorité de sols acides ;
- 12,5% de sols peu acides ;
- 2 brunisols ressortent peu acide et basique (respectivement points n°26 et 31), sous humus « Moder » et potentiellement en culture / pâture en 1965 ;
- 95,5% des échantillons avec un $\text{pH}_{\text{KCl}} < 4,2$ dans l'horizon A, ce qui traduit une forte contrainte sur la disponibilité des minéraux (*UNIFA, 2021*) ;
- Une acidification généralisée des sols en cours avec $\text{pH}_{\text{eau}} > \text{pH}_{\text{KCl}}$ sur la totalité des mesures, bien que cela soit un processus long (*Dambrine, 2021*).

Par ailleurs, la détermination de l'acidité pour ce travail, a été fait en fonction des critères suivants (tolérance de 0,2 unités) (*Jabiol et al, 2009*) :

- Hyper-acide = horizon A avec un $\text{pH}_{\text{eau}} < 3,5$;
- Très acide = horizon A avec $3,5 < \text{pH}_{\text{eau}} < 4,2$;
- Acide = horizon A avec $4,2 < \text{pH}_{\text{eau}} < 5,0$;
- Peu acide = horizon A avec $5,0 < \text{pH}_{\text{eau}} < 6,5$;
- Neutre = horizon A avec $6,5 < \text{pH}_{\text{eau}} < 7,5$;
- Basique = horizon A avec $7,5 < \text{pH}_{\text{eau}} < 8,7$;
- Très basique = horizon A avec $\text{pH}_{\text{eau}} > 8,7$;

Deuxièmement, en lien avec le taux de matière organique (MO), sachant que cette grandeur est liée à la réserve utile des sols, ainsi qu'à l'activité microbiologique (minéralisation), il s'avère que (*UNIFA, 2021*) :

- 90% des profils échantillonnés ont une acidité plus importante dans leur horizon supérieur (sinon équivalente), plus riche en matière organique (MO), confirmant les résultats de l'étude au sein du PNR Armorique (*Laurent & Douard, 2017*) ;
- Cette MO dans l'horizon 0-10cm, est assez élevée d'une manière générale et surtout pour les rankosols, bien que cela paraisse normal étant donné l'environnement forestier (figure 52, surtout n°3 / 18 / 32 / 34).

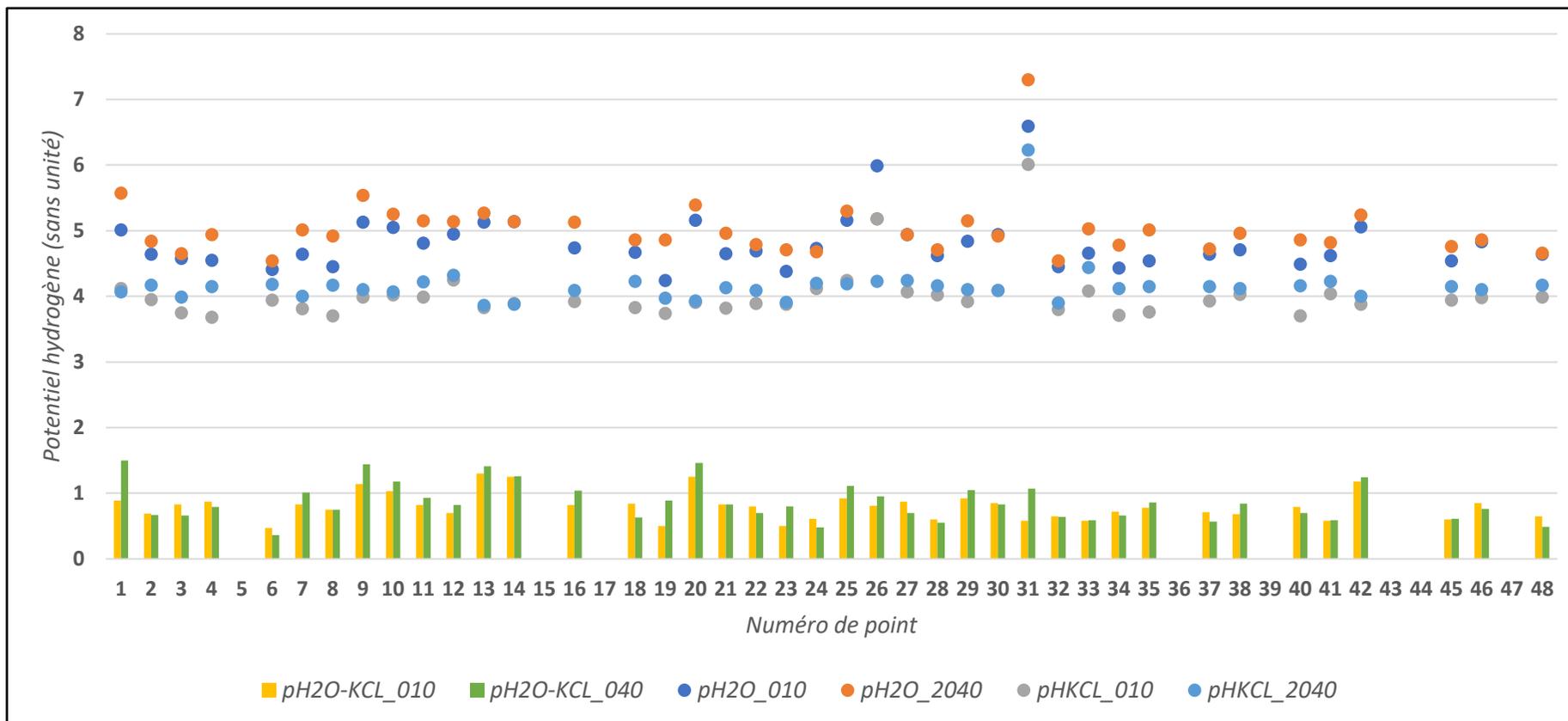


Figure 51 : potentiels hydrogènes (pH) et acidité d'échange, méthodes H2O et KCl, en fonction du point échantillonné, profondeur 0-10cm et 20-40cm

	pH2O_010	pH2O_2040	pHKCL_010	pHKCL_2040	pH2O-KCL_010	pH2O-KCL_2040
Moyenne	4,8	5,0	4,0	4,2	0,8	0,9
Ecart type	0,4	0,4	0,4	0,3	0,2	0,3
Minimum	4,2	4,5	3,7	3,9	0,5	0,4
1 ^{er} quartile	4,6	4,8	3,8	4,1	0,7	0,7
2 ^{ème} quartile	4,7	4,9	3,9	4,1	0,8	0,8
3 ^{ème} quartile	5,0	5,2	4,0	4,2	0,9	1,0
Maximum	6,6	7,3	6,0	6,2	1,3	1,5

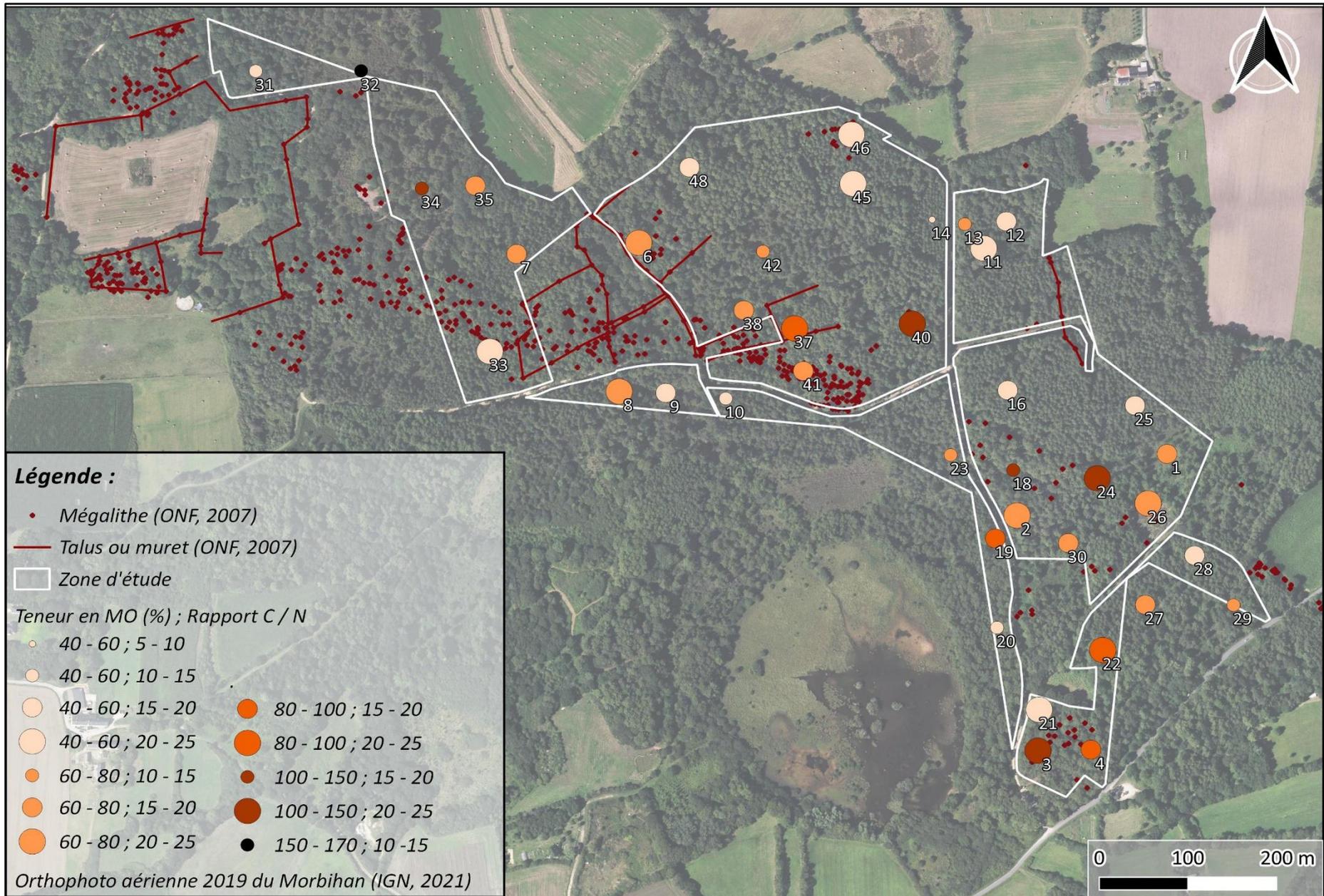


Figure 52 : carte de la teneur en matière organique (MO) et du rapport carbone / azote (C / N), au droit des points échantillonnés, profondeur 0-10 cm

Troisièmement, concernant le niveau trophique (cf. §2.4.3), on constate au niveau de l'azote total, globalement faible mais qui ne semblent pas subir de lixiviation (figure 53) :

- Les taux sont assez variables pour l'horizon 0-10cm, avec 20% des échantillons qui sont les plus concentrés et 20% qui le sont moins, c'est-à-dire que :
 - Les plus forts correspondent en majorité à des rankosols (n°3 / 13 / 14 / 18 / 32 / 34 / 40) et des planosols (n°14 / 42), peut-être anciennement cultivés / pâturés ;
 - Les plus faibles correspondent à des humus de forme « Mor » (n°11 / 12 / 16 / 21 / 25 / 28 / 33 / 45 / 46) ;
- Ils sont plus homogènes dans l'horizon sous-jacent, mais toutes plus basses.

Par conséquent, dans les horizons 0-10cm et 20-40cm, les rapports carbone / azote sont principalement assez hauts (figure 52 et 53), variant dans les mêmes proportions, sauf pour 10% des points plus haut et 12,5% plus bas.

A propos du phosphore échangeable (figure 54), la variabilité est un peu plus élevée mais pour des teneurs encore toutes faibles, sachant que 5 échantillons présentent des teneurs plus fortes en profondeur. Il s'agit de rankosols a priori anciennement boisés, surtout en pente régulière et sous humus « Mor » (n°3 / 8 / 18 / 34 / 40). Les sols en pente régulière dans cette analyse, comme ces derniers, sont d'ailleurs souvent liés à une lixiviation de P.

Quant à l'aluminium échangeable, en parallèle sur cette même figure 54 et pour seulement 20 mesures, il se révèle être :

- Assez variable avec sa teneur plus élevée dans les horizons supérieurs, sauf pour les points n°26 / 31, qui sont des brunisols sous humus « Moder » et peut-être cultivés / pâturés en 1965. Sur ce dernier, au pH basique, il est même presque nul sur 40cm de profondeur ;
- Plus concentré dans des rankosols (n°8 / 13 / 18 / 19 / 32 / 40).

Par suite sur la figure 55, il ressort principalement des 20 analyses en laboratoire du calcium échangeable, d'une part, et de potassium / magnésium / sodium échangeable, d'autre part, que :

- 10% des points sont beaucoup plus concentrés en calcium, soit les n°26 / 31 qui sont en outre les moins acides ;
- 22,5% le sont davantage en cations K / MG / NA (n°13 / 19 / 20 / 22 / 31).

Par conséquent, la capacité d'échange cationique (CEC), qui influence entre autres la fertilité du sol et le lessivage (figures 56 et 57) :

- Varie sensiblement pour certains échantillons par le haut (n°13 / 19 / 20 / 22 / 31), d'autres par le bas (n°7 / 8 / 26 / 32 / 33 / 40 / 41 / 46) ;
- Est toujours supérieure pour celles des horizons 0-10cm vis-à-vis de celles des horizons 20-40cm.

Enfin dans ces même figures 56 et 57, le calcul des taux de saturation de cette CEC, en rapport avec l'acidité et les réserves de cations, donne les résultats suivants :

- Tous les horizons échantillonnés sont désaturés ($S/CEC < 20\%$), sauf les n°26 / 31 qui sont oligosaturés ($20\% < S/CEC < 50\%$) ;
- La majorité des points voient leur horizon supérieur moins saturé que la couche 20-40cm, sauf pour les points n°3 / 18 / 26 / 33 / 46, qui sont liés à d'anciennes parcelles potentiellement cultivées / pâturées.

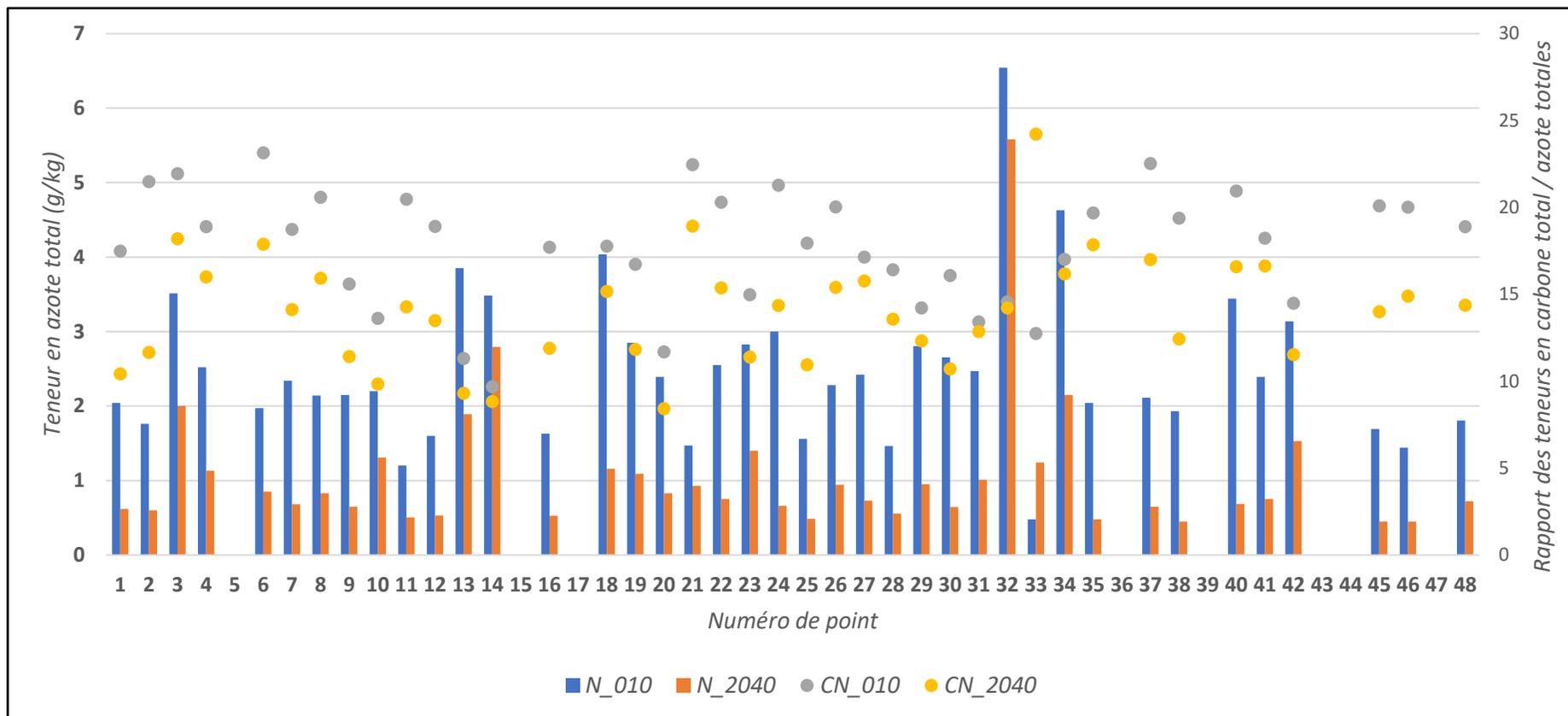


Figure 53 : teneur en azote total (N) et rapport carbone / azote (CN), en fonction du point échantillonné, profondeur 0-10cm et 20-40cm

	N_010	N_2040	CN_010	CN_2040
Moyenne	2,5	1,1	17,7	14,0
Ecart type	1,0	0,9	3,3	3,1
Minimum	0,5	0,5	9,7	8,4
1 ^{er} quartile	1,8	0,6	15,4	11,6
2 ^{ème} quartile	2,3	0,8	18,1	14,2
3 ^{ème} quartile	2,8	1,1	20,1	15,9
Maximum	6,5	5,6	23,1	24,2

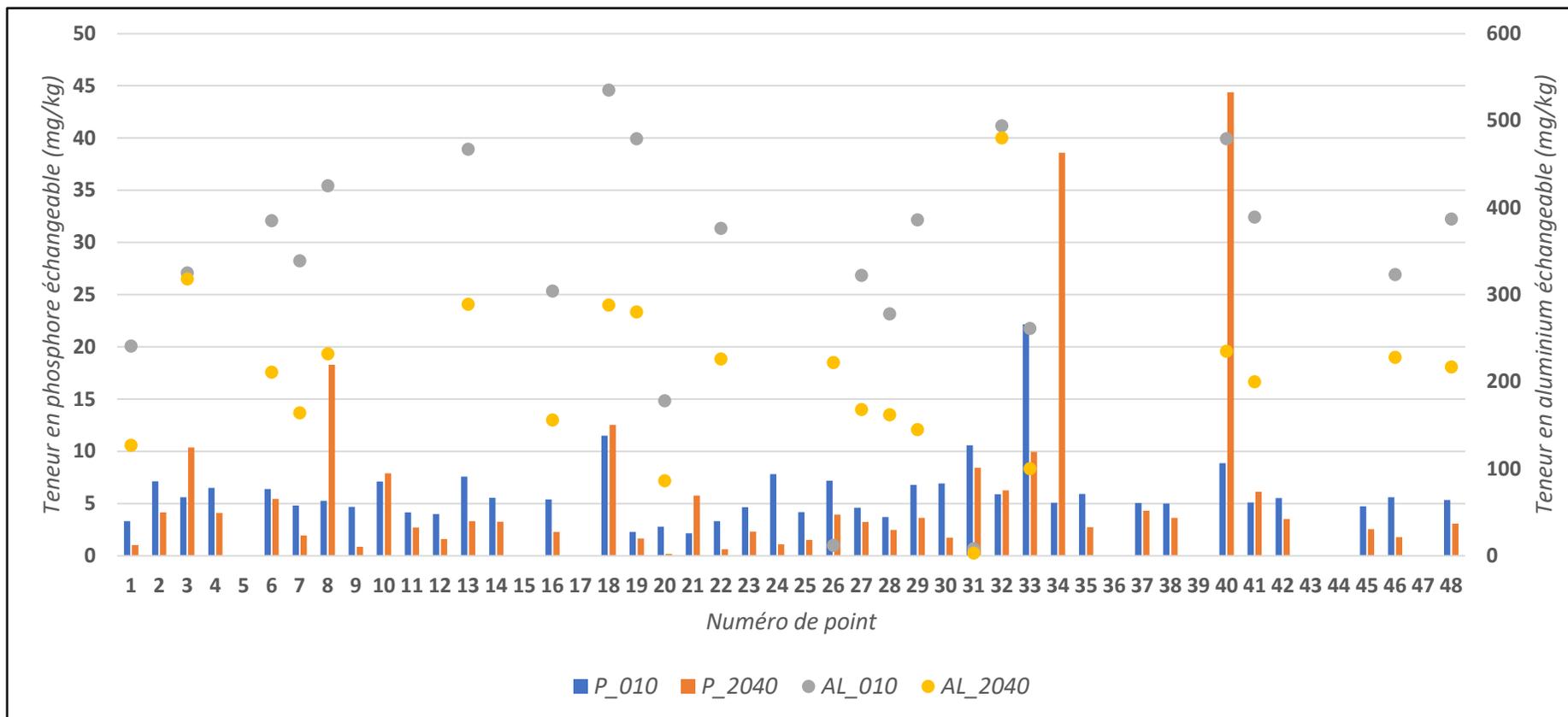


Figure 54 : Teneur en phosphore échangeable (P) et aluminium échangeable (AL), en fonction du point échantillonné, profondeur 0-10 cm et 20-40cm

	P_010	P_2040	AL_010	AL_2040
Moyenne	6	6	329	214
Ecart type	3	9	143	92
Minimum	2	0	8	3
1 ^{er} quartile	5	2	285	163
2 ^{ème} quartile	5	3	358	220
3 ^{ème} quartile	7	6	416	255
Maximum	22	44	535	480

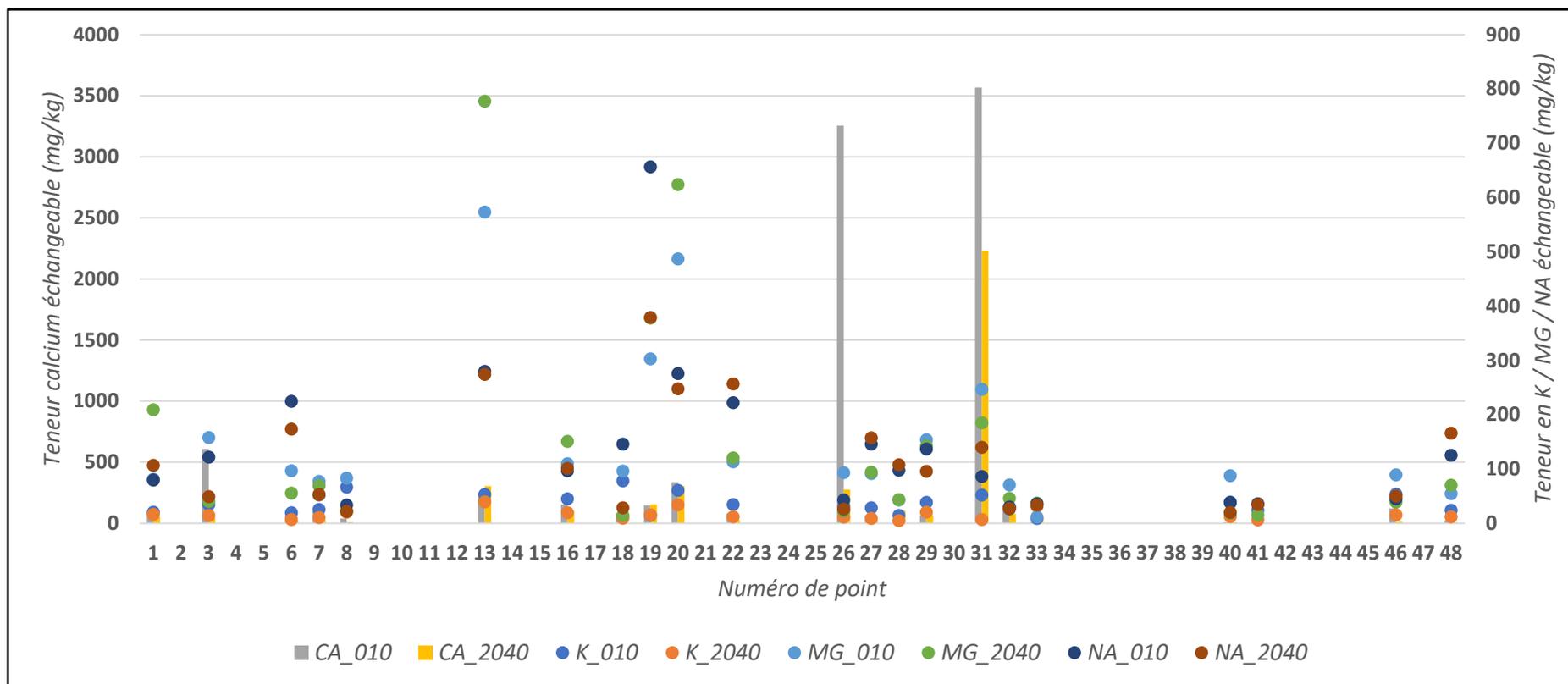


Figure 55 : Teneur en cations échangeables, potassium (K) / magnésium (MG) / sodium (NA) et calcium (CA), en fonction du point échantillonné, profondeur 0-10cm et 20-40cm

	K_010	K_2040	CA_010	CA_2040	MG_010	MG_2040	NA_010	NA_2040
Moyenne	36	16	418	177	143	144	137	116
Ecart type	18	9	956	458	138	196	137	97
Minimum	9	5	8	0	12	15	30	20
1 ^{er} quartile	24	10	45	14	78	37	43	34
2 ^{ème} quartile	33	13	85	47	92	62	97	98
3 ^{ème} quartile	50	20	151	103	144	149	146	164
Maximum	78	40	3567	2230	573	778	657	379

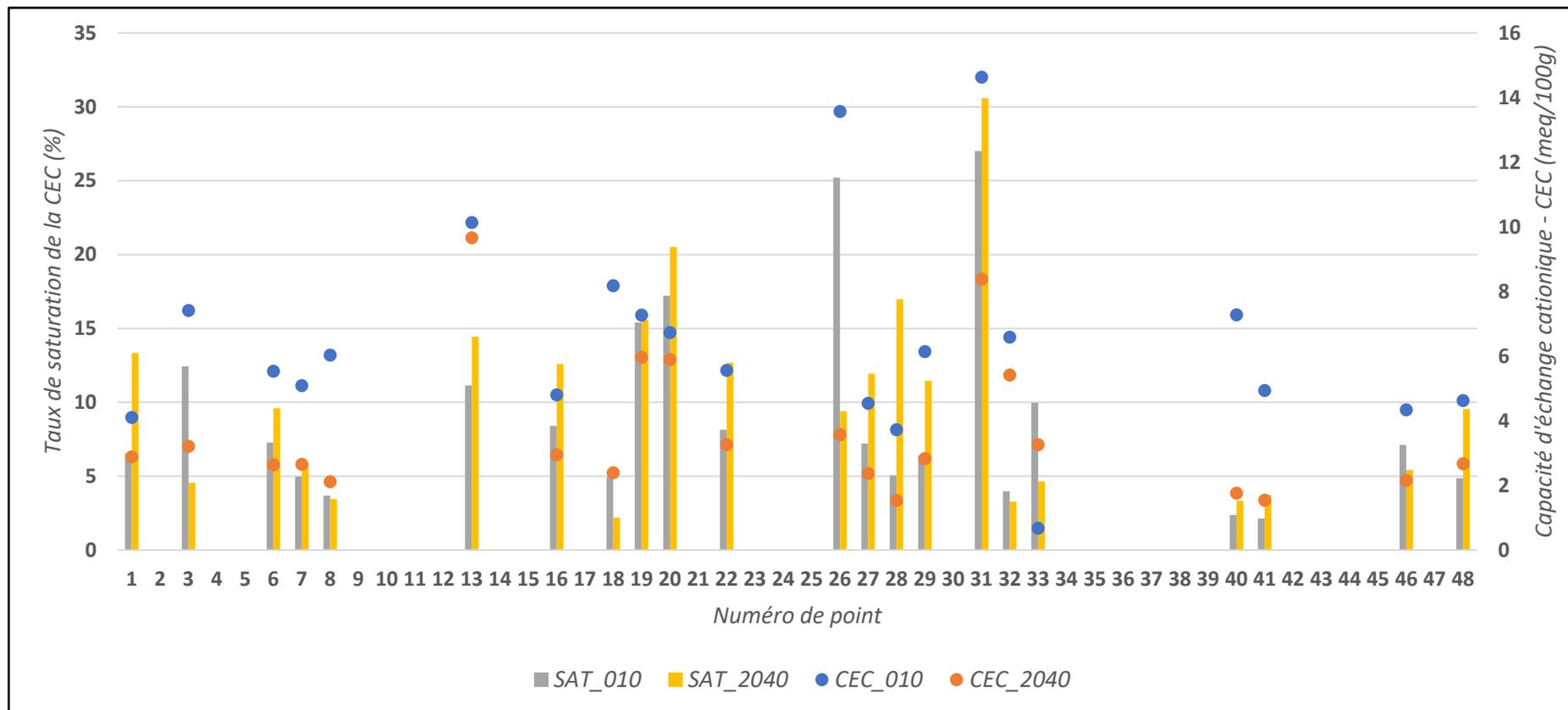


Figure 56 : Taux de saturation de la CEC et capacité d'échange cationique (CEC), en fonction du point échantillonné, profondeur 0-10cm et 20-40cm

	CEC_010	CEC_2040	SAT_010	SAT_2040
Moyenne	6,4	3,6	9,2	10,2
Ecart type	3,0	2,1	6,6	6,7
Minimum	0,7	1,5	2,1	2,2
1 ^{er} quartile	4,7	2,4	4,9	4,6
2 ^{ème} quartile	5,8	2,9	7,2	9,6
3 ^{ème} quartile	7,3	3,5	10,9	13,2
Maximum	14,6	9,7	27,0	30,6

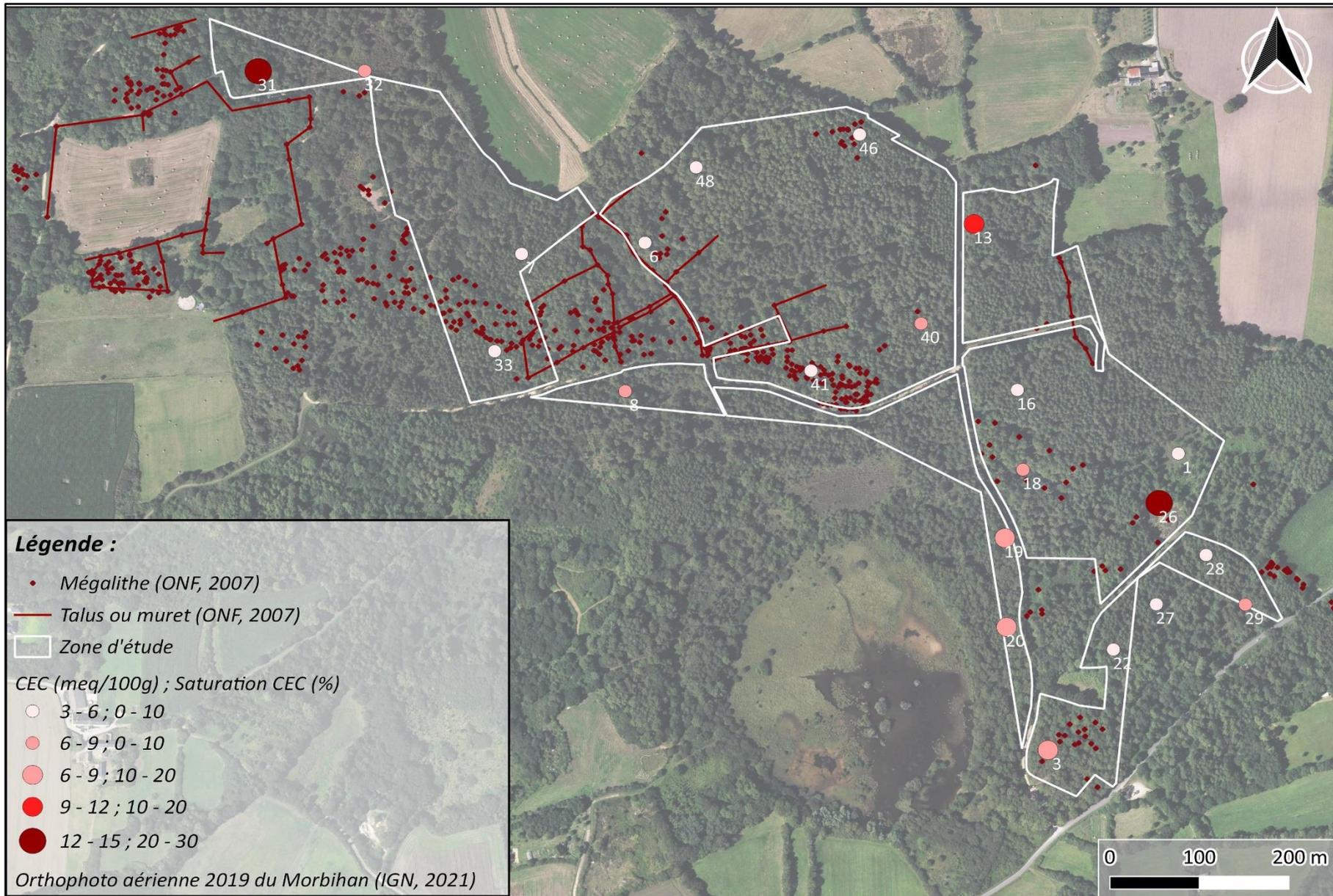


Figure 57 : carte de la capacité d'échange cationique (CEC) et du taux de saturation de la CEC, au droit des points échantillonnés, profondeur 0-10 cm

Pour finir, les principaux enseignements à retenir sont des sols déjà acides pour la plupart, mais qui continuent de s'acidifier, sachant que le couvert végétal participe à ce phénomène (pins et fougères). La matière organique et le rapport C / N quant à eux, sont assez hauts avec une teneur en azote total plutôt basse. Puis le phosphore échangeable, nutriment également moins disponible de par l'acidité, est généralement bas. L'aluminium échangeable lui, est présent sans être excessif et surtout concentré dans les horizons supérieurs de rankosols ou sols au pH les plus acides. Les cations échangeables, CEC et taux de la saturation, sont tous trois principalement à des niveaux de désaturation des sols. Il est évidemment à noter des variations liées au type de sol, à l'occupation historique des sols ou la topographie. A noter aussi que les rankosols et les points n°26 / 31 (brunisol), semblent souvent se démarquer.

Ainsi au regard des objectifs de la présente étude, il semblerait que ces indicateurs physico-chimiques traduisent une compatibilité de la plupart des sols avec le retour des landes.

4.3 Analyses croisées et mise en évidence des relations sol / végétation

Suite à la description des compartiments sol / végétation et de leur analyse distincte, les données ont été analysées de façon intégrative, mais avec 2 approches différentes.

4.3.1 Tableaux de contingence

Cette étape de croisement des données est tout d'abord concentrée sur les unités homogènes de végétation, les types de sol caractérisés dans cette étude et l'occupation des sols estimée de 1950-1965. L'idée était alors de faire ressortir l'influence de cette occupation des sols sur la relation sol-végétation. Ainsi, suivant la figure 58, on constate pour ces milieux que :

- Les fourrés mésophiles et surtout ceux envahis par la grande fougère, sont présents aujourd'hui uniquement sur des espaces déjà boisés ou cultivés / pâturés à l'époque (pas de landes), ce pour la plupart des sols sauf pour le Planosol où il n'a pas été échantillonné ;
- La lande mésohygrophile dégradée, ainsi que sa version envahie par *Pteridium aquilinum*, est davantage en lien avec un couvert arboré déjà présent à la mi 20^{ème}, ce pour la plupart des sols. Cela corrobore l'analyse spatiale faite au §4.1.1, où elle se retrouve plus souvent sous pinède et pas du tout sous chênaie. Seule une occurrence relie d'anciennes landes à une lande mésohygrophile sur Planosol aujourd'hui, sans fougères ni molinie dominante. A noter aussi qu'on se retrouve a priori pour ces cas, dans des systèmes de déprise agricole ou de non-exploitation depuis une longue période (avant 1950) ;
- La lande mésohygrophile se retrouve sur tous les types de sols mais reste légèrement plus supportée par les planosols, comme la moliniaie uniquement échantillonnée dessus. Cette corrélation traduit les contraintes de ce sol, auquel la Bruyères ciliée / l'Ajonc nain / la Molinie bleu sont bien adaptés (*Glemarec et al ; 2015*) ;
- La lande sèche semble s'accomoder davantage avec les rankosols, indifféremment des occupations de sol historiques. Cela traduit également les fortes contraintes de ce type de sol, auxquelles la lande sèche est particulièrement adaptée (*Glemarec et al ; 2015*) ;
- La Fougère aigle semble plutôt liée aux alocriisols / planosols / rankosols, supportant de la forêt ou de façon moindre ayant été cultivés / pâturés, depuis les années 1965.

Par ailleurs, la figure 59 superpose les unités homogènes de végétation avec les types sols caractérisés en 2021, ainsi que les limites de sols décrites en 1980 et photo-interprétés (J-M Rivière). On y perçoit la complexité d'analyser le lien sol-végétation.

	Alocrisol			Brunisol			Fluviosol		Planosol			Rankosol			Non sondé			TOTAUX	PART
	Bois	C/P	Land	Bois	C/P	Land	Bois	C/P	Bois	C/P	Land	Bois	C/P	Land	Bois	Land	I		
F3.1 + E5.31		1			1		1					2	1					6	13%
F3.1												1						1	2%
F4.13		2		1	1	1	1	1	6	1			1		1			16	33%
F4.13 + E5.31				1					1						1			3	6%
F4.12											1				2			3	6%
F4.23													1					1	2%
F4.23 degrad			1									2	1					4	8%
F4.23 degrad + E5.31												1		1				2	4%
6410										1						1		2	4%
E5.31	2	2							2			1			2		1	10	21%
TOTAUX	8			5			3		12			12			8			48	
PART	20%			13%			8%		30%			30%			20%				

Figure 58 : contingence des unités homogènes de végétation et types de sols caractérisés en 2021, par rapport à l'occupation des sols estimée en 1950-1965

Légende :	
F3.1 + E5.31 = Fourré + fougères envahissantes	6410 = Moliniaie
F3.1 = Fourré mésophile	E5.31 = Ptéridaie
F4.13 = Lande mésohygrophile dégradée	
F4.13 + E5.31 = Lande mésohygrophile dégradée + fougères envahissantes	Bois = Boisement en 1950-1965
F4.12 = Lande mésohygrophile méridionale	C / P = Culture / Pâturage en 1950-1965
F4.23 = Lande sèche atlantique	Land = Lande en 1950-1965
F4.23 degrad = Lande sèche dégradée	I = Inconnu en 1950-1965
F4.23 degrad + E5.31 = Lande sèche dégradée + fougères envahissantes	

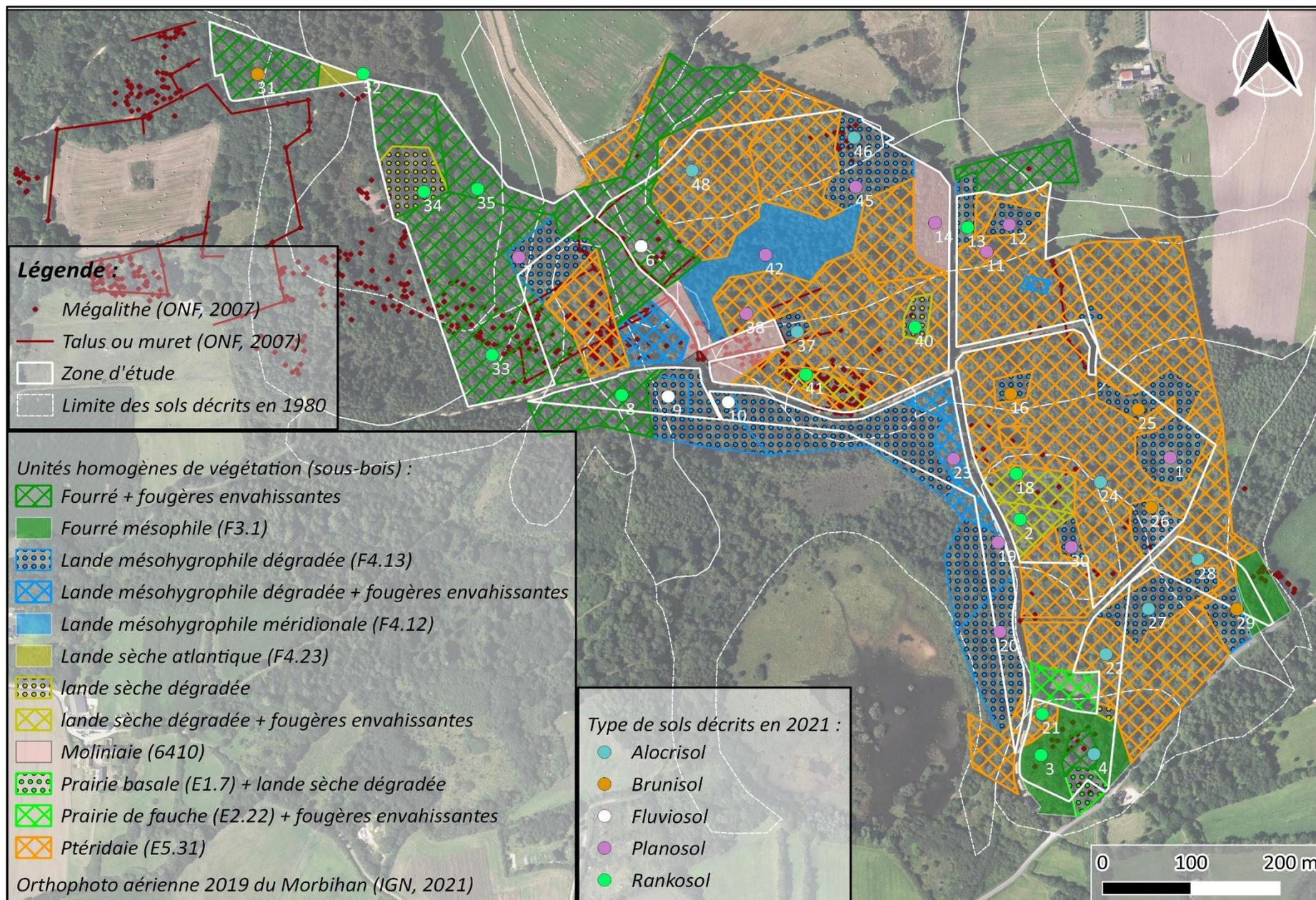


Figure 59 : carte des unités homogènes de végétation et types de sols décrits en 2021, avec les limites des sols dessinées de 1980 (cf. annexe III)

4.3.2 Analyses multi-dimensionnelle

Après avoir rassemblé et saisi informatiquement toutes ces informations recueillies (SIG + terrain + laboratoire), elles ont été prétraitées avant de compléter la base de données. Il a été vérifié préalablement à leur exploitation, qu'elles permettent de répondre de façon explicite à la problématique, ou le cas échéant, de définir les besoins complémentaires. L'intérêt vis-à-vis de la réalisation d'une telle analyse croisée, était d'alimenter la réflexion sur les relations pédologie-phytosociologie et d'en préciser la teneur. Elle a ainsi nourri l'élaboration des hypothèses de trajectoires de la végétation après ouverture des milieux, préfigurant les potentialités de restauration et nécessités de gestion sur la zone d'étude.

En conséquence, la base de données est restituée sous forme d'un tableau synthétique attributaire, composé de 48 individus (échantillons) pour plus de 100 variables, qualitatives et quantitatives (cf. annexe XII : Informations sur l'analyse multi-dimensionnelle, §Description des champs de la table de données utilisée). Toutefois, il n'était pas indispensable d'intégrer de nombreux paramètres dans la suite de la présente étude, sachant que :

- Plusieurs d'entre eux étaient considérés comme naturellement reflétés dans d'autres (humidité et hydromorphie, altitude et position dans le versant, forme du relief et pente, intensité lumineuse et couverture arborée, CO et MO, etc.) ;
- Certains étaient très peu représentés (recouvrement bryophytes, strate arbustive, etc.) ;
- Quelques uns étaient invariables au sein de la zone (surface relevée, etc.).
- Le code 4 critères synthétise le profil de sol et sa description morphologique des horizons, ainsi seuls les 4 facteurs qui y correspondent ont été utilisés (matériau parental + hydromorphie + type de sol + profondeur) ;
- La période de l'année où les relevés ont été faits, n'étant pas représentative en termes de d'expression de la strate herbacée, ni les recouvrements, ni les hauteurs n'ont été conservés ici ;
- Les 8 individus sans aucune donnée pédologique, ont été écartés ;
- Les informations sur l'environnement et la météo aux points sondés, les commentaires et différents contacts, ou encore la description floristico-écologique des milieux, ont été mobilisés post analyse dans l'interprétation du présent travail ;
- Les informations diverses et données ponctuelles des observations, ou encore les textes associés à des codes, étaient évidemment inutiles ici ;

Par la suite, les corrélations ont été établies entre les 32 variables quantitatives (physico-chimie + topographie), pour éliminer celles redondantes à plus de 90%. Ces corrélations constituent par ailleurs une information intéressante notamment si poursuite de l'étude il y a, ou pour d'autres travaux (cf. annexe XII - §Table de l'analyse des corrélations). Il en est ressorti principalement :

- Une corrélation entre pH_{eau} et pH_{kcl} , qui peut s'expliquer par l'acidification généralisée et des variations assez proches entre les 2 valeurs, sachant aussi qu'il s'agit de mesurer la même chose mais avec 2 méthodes différentes ;
- Une relation étroite entre l'azote N et la matière organique MO, pouvant provenir de l'azote organique compris en mesurant l'azote total ;
- Que le calcium Ca était aussi corrélé au pH, car toutes deux sont liés à la CEC, mais aussi parce que le Ca est lié à l'anion OH^- , lui-même directement lié à l'acidité du sol.

L'étape suivante a consisté à caractériser la variable « unité de végétation homogène » (modalités), par ces variables quantitatives restantes, qui lui étaient les plus corrélées (rapport de corrélation η^2 , p-value < 0,05). La démarche est décrite plus en détail en annexe XII - §Codes de programmation utilisé + §Diagrammes en barre des valeurs d'essai. Cela a permis de discriminer 8 variables (cf. figure 60) : MO 10-20cm et 20-40cm, P 20-40cm, altitude, classe d'hydromorphie, C / N 20-40cm, Al 20-40cm, classe de profondeur.

Variable	Eta2	P-value
MO_2040	0.845	7.2e-10
MO_010	0.712	0.0000047
P_2040	0.575	0.000828
TOPO_alti	0.554	0.00151
HYDMOR_class	0.528	0.00304
CN_2040	0.454	0.0173
AL_2040	0.608	0.0337
SOL_profon	0.41	0.0411
P_010	0.301	0.218
CN_010	0.298	0.227
pHKCL_2040	0.289	0.252
K_2040	0.37	0.376
SAT_2040	0.345	0.441
NA_2040	0.302	0.555
K_010	0.298	0.566
AL_010	0.285	0.602
SAT_010	0.233	0.741
MG_010	0.218	0.777
CEC_2040	0.187	0.847
pHKCL_010	0.125	0.878
NA_010	0.148	0.917
CEC_010	0.133	0.939
TOPO_pent	0.0966	0.947

Figure 60 : Coefficient de caractérisation de la variable « HAB_unitvegea » et de ses modalités

Par ailleurs, il a été réalisé une analyse en composante principale (ACP), sur les variables quantitatives après étude des corrélations, intégrant les unités homogènes de végétation comme variable de regroupement en supplémentaire (cf. annexe XII - §Graphiques de l'ACP + §Description des axes). Sur les axes 1 à 4 du plan factoriel résultant et représentant 77,7% de l'information, les variables les plus corrélées à ces axes (> 70%, p-value < 0,05), étaient : classe d'hydromorphie, le pH_{KCl} 20-40cm, le rapport C/N 20-40cm, l'aluminium pour les 2 couches de sol, le potassium 20-40cm, la saturation de la CEC 0-10cm.

Malheureusement, par manque de temps, l'analyse multidimensionnelle n'a pu continuer plus en profondeur. Cependant, il eût été idéal de réaliser une analyse des correspondances multiples (ACM).

Enfin, le suivi écologique sur Carnac a fait transparaître que les gradients d'humidité et de topographie, sont les éléments les plus importants, sachant aussi que les groupements végétaux (strates herbacée / arborée) sont indicateurs d'oligotrophie ou de mésotrophie (*Sébastien Gallet lors d'un entretien téléphonique, 28/04/2021*).

4.4 Synthèse sur les potentialités de restauration de landes

Considérant les multiples analyses précédentes, il était nécessaire de synthétiser le potentiel des milieux de la zone d'étude, à accueillir des landes après restauration. La figure 61 cartographie ces probabilités sur 3 niveaux, par type de lande, sachant que les potentiels forestiers, prairiaux ou landicoles hygrophiles, n'ont pas été analysés ici. Cependant, elles semblent globalement favorables à la restauration d'au moins 2 types de landes secondaires, ou station à végétation de lande dominante (cf. §3.2.1), sauf pour le point n°31 (station à végétation préforestière). Les niveaux de potentialité ci-après prennent par ailleurs en compte des critères jugés automatiquement déclassants, comme suit :

- La ptéridaie stricto sensu (différencié des habitats de landes envahis par les fougères) ;
- Les fougères envahissantes ;
- L'absence d'espèce typique de lande ;
- Un pH_{eau} trop neutre / basique (points n°26 / 31) ;
- Des données complètement manquantes au niveau de la pédologie (points n°5 / 15 / 17 / 36 / 39 / 43 / 44 / 47).

Par ailleurs, au même titre que sur les landes de Monteneuf (cf. §3.4.2), les landes sèches (xérophile) sont celles qui devraient moins progresser, par rapport à des landes mésohygrophiles qui pourraient sensiblement s'étendre.

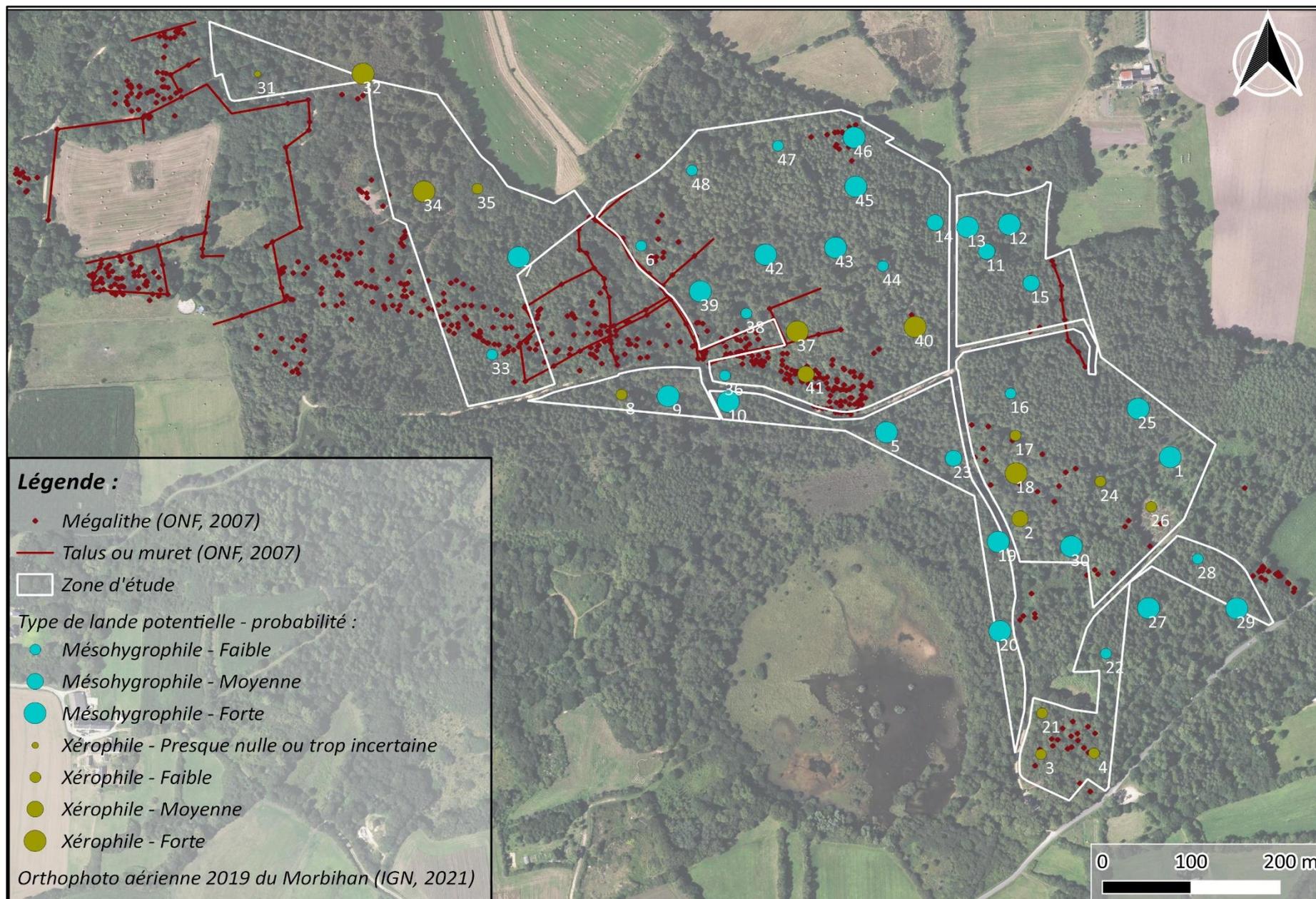


Figure 61 : carte du potentiel de restauration par type de lande au droit des points échantillonnés

5. Orientations et discussions sur les potentialités écologiques

5.1 Scénarios envisageables sur la restauration des landes

Comme vu précédemment, les hypothèses et donc les scénarios de restauration, sont nombreux au sein de cette partie du Varquez. Les bruyères et ajoncs y ont disparus en partie, le reste étant majoritairement dégradé / envahi par une Fougère aigle qui est à l'aise dans la plupart des conditions. Néanmoins dans le cadre de la présente étude, les conditions édaphiques mesurées dans ces systèmes landicoles / forestiers, ainsi que les enseignements tirés sur les trajectoires de la végétation, ont amené à mettre en avant 3 scénarios décrits ci-après. Ces potentialités de restauration sont également relatives aux travaux plus ou moins interventionnistes à venir, donc au degrés de correction volontaire de ces trajectoires. En effet, la restauration d'écosystèmes dégradés / détruits par la pression anthropique comme dans notre cas, implique dans un premier temps de maîtriser les sources de perturbation (cf. annexe VIII : Précisions sur le champ lexical). Puis il faut rappeler qu'il est question ici d'accompagner un projet paysager, qui a pour objet de faire ressortir un patrimoine archéologique, notamment via la substitution de landes et prairies à la forêt (*De Bonduwe et Luzu, 2017*). Le patrimoine écologique quant à lui, suscite un consensus sur le fait de devoir retrouver un potentiel de milieux ouverts, telles que les landes et prairies (*Ferrand, 2016*). L'idée est donc d'orienter l'aménagement et la gestion de l'ENS Er Varquez, pour valoriser l'ensemble de mégalithes et favoriser la biodiversité, tout en conservant au mieux ces deux patrimoines.

Enfin, le terme « cohabitation » signifie que les deux types de végétation ont été relevés sur la zone et que le potentiel de développement est équivalent. Il est aussi considéré une progression de la surface de la pinède sur celle de la futaie mixte irrégulière, de 1% par an en moyenne.

Scénario 1 : Non intervention

Ce premier scénario est celui de l'évolution naturelle des milieux, sans aucune intervention ni aménagements ou actions de gestion, de plus qu'aujourd'hui (figure 63). Il prend donc en compte : le plan d'aménagement forestier (orienté vers une futaie mixte irrégulière), ainsi que l'entretien déjà mis en place sur Lannec Er Gadouer (lande rase), Mané Croc'h (lande rase) et Coët Er Blei (futaie mixte peu dense) (*ONF, 2016*). La chênaie est d'ailleurs en grande partie sauvegardée et sa surface se stabilise.

Par conséquent, les fougères continuent alors leur développement sur les endroits déjà colonisés, étant plus adaptées dans ce cas que les ronces, bruyères et ajoncs. Puis elles envahissent d'autres zones favorables à leur biologie et où la lumière est amenée par les coupes forestières (cf. §3.2.2). Cela a pour effet de faire disparaître des unités encore considérées comme landes dégradées, mais aussi de mettre en péril des espaces de landes aujourd'hui dépourvus de *Pteridium aquilinum*. En revanche, des conditions considérées non favorables à son développement (essentiellement sols trop superficiels, sécheresse / humidité trop prononcées), favoriseront plutôt d'autres stations davantage landicoles ou forestières.

Scénario 2 : interventions modérées

Ce deuxième scénario de modération est celui des compromis, qui privilégie de mettre en valeur le patrimoine mégalithique au niveau du couloir proposé dans le projet d'aménagement. Cela se fera par des interventions différenciées et un déboisement partiel (baisse de la densité, figure 64), établies selon les critères suivants :

- Prise en compte totale du projet d'aménagement des alignements mégalithiques d'Erdeven, avec restauration / gestion limitées au couloir d'aménagement ;
- Prise en compte majoritaire du plan d'aménagement forestier, qui sera à modifier en fonction des zones nouvellement ouvertes et avec 1 zone ouverte non conservée.
- Prise en compte partielle des orientations de gestion de l'ENS, avec quelques zones prioritaires par rapport au patrimoine écologique (*Blond, 2016 ; Ferrand, 2016*) ;
- Prise en compte de l'entretien au niveau des zones déjà ouvertes ;
- Les espaces où la Fougère aigle est gérée ont donné lieu au retour d'espèces de landes.

Scénario 3 : Interventions fortes

Ce troisième scénario est celui d'une ouverture encore plus conséquente (figure 65), avec coupes des arbres et maîtrise totale des fougères au niveau des alignements mégalithiques. Il est donc établi selon les conditions écologiques, mais aussi en fonction des critères suivants :

- Prise en compte totale du projet d'aménagement des alignements mégalithiques d'Erdeven, avec restauration / gestion au niveau du couloir d'aménagement ;
- Prise en compte totale du plan d'aménagement forestier, qui sera à modifier en fonction des zones nouvellement ouvertes ;
- Prise en compte totale des orientations de gestion de l'ENS, avec restauration / gestion du patrimoine écologique (*Blond, 2016 ; Ferrand, 2016*) ;
- Prise en compte de l'entretien au niveau des zones déjà ouvertes ;
- Les espaces désencombrés de la Fougère aigle ont donné lieu au retour d'espèces typique de landes.

En ce sens, les résultats attendus sur la zone d'étude aux termes de 10 ou 15ans, sont résumés ci-dessous (figure 62), à titre indicatif étant donné les hypothèses et incertitudes (cf. §5.3.2). On y retrouve alors les différentes unités homogènes de végétation et leur surface respective actuelle, ainsi que la surface attendue en fonction du scénario d'aménagement / gestion adopté. Ces surfaces fluctuent relativement aux zones laissées sans mesures, défrichées ou déboisées / débroussaillées :

Type d'unité de végétation homogène - surface actuelle (en ha, cf. §4.1.1)	Scénario 1 (ha)	Scénario 2 (ha)	Scénario 3 (ha)
Fourré mésophile - 1,2	1,8	1,8	1,8
Fourré mésophile envahie par les fougères – 8,5	8,2	4,6	4,6
Lande plutôt humide – 1,3	0,2	9,6	12,9
Lande plutôt humide et dégradée – 7,4	1	0,8	0,8
Lande plutôt humide et dégradée, envahie par les fougères - 1	8,6	6,4	3,8
Moliniaie - 1,1	0,6	0	0
Moliniaie envahie par les fougères – 0	0,5	0,5	0

Lande plutôt sèche – 0,01	0,4	1,4	2,2
Lande plutôt sèche et dégradée – 0,7	1,1	0,7	0,1
Lande plutôt sèche et dégradée, envahie par les fougères - 1	0	0	0
Prairie – 0	0	0	0,3
Prairie envahie par les fougères – 0,3	0,3	0,3	0
Ptéridaie- 19	19	10,6	10,2
Chênaie - 2,1	2,1	2	2
Futaie mixte - 26	28,6	18,7	18,6
Pinède - 12,2	9,6	8,7	6

Figure 62 : comparatif des surfaces de végétation escomptées sur la zone d'étude (hectares) à horizon de 10-15ans, en fonction du scénario

Enfin, suite au développement des scénarios, la figure 66 propose une synthèse comparative entre les recommandations faites ici et d'autres orientations / propositions.

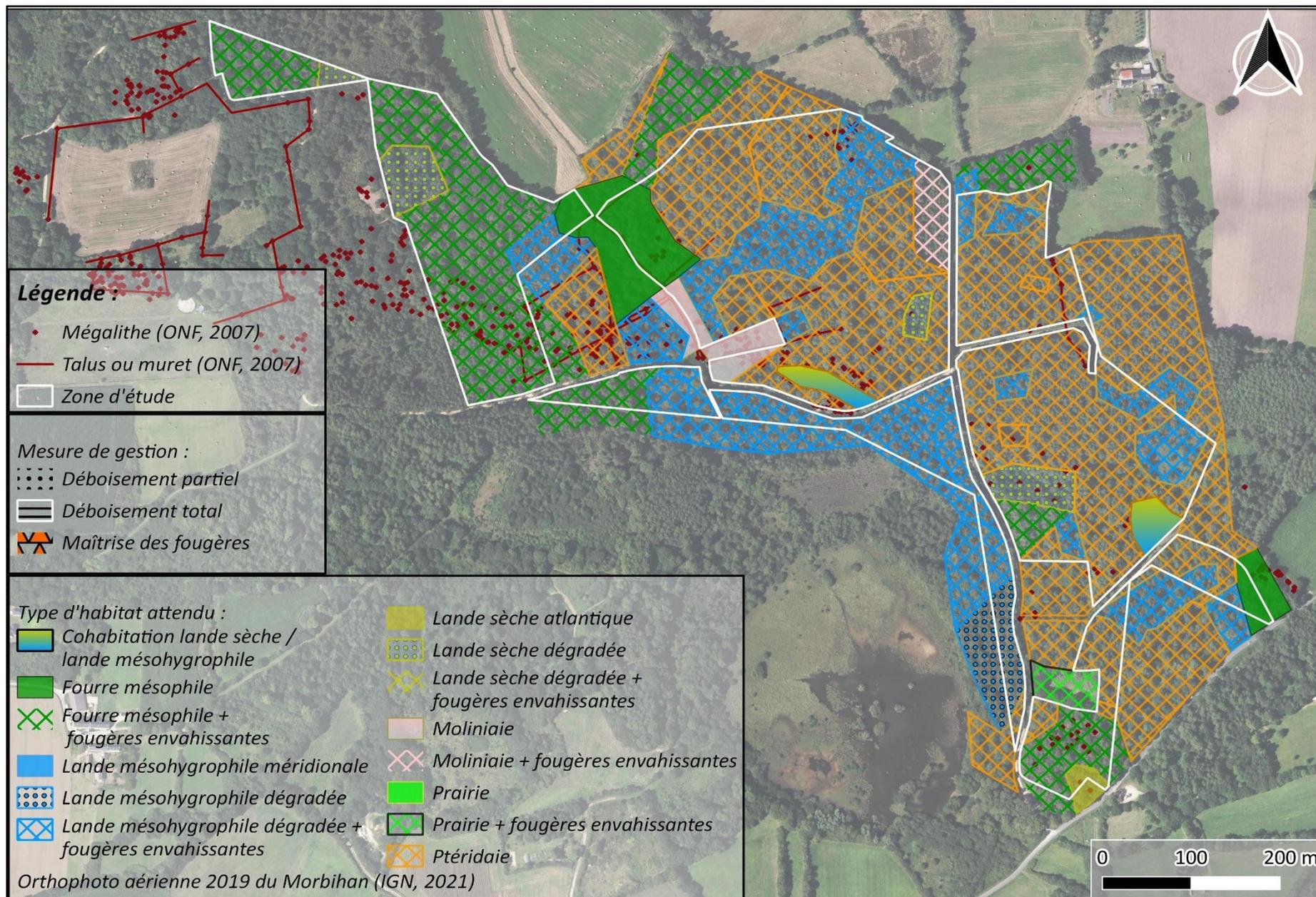


Figure 63 : carte du scénario 1 représentant la végétation attendue sans aucune intervention supplémentaire

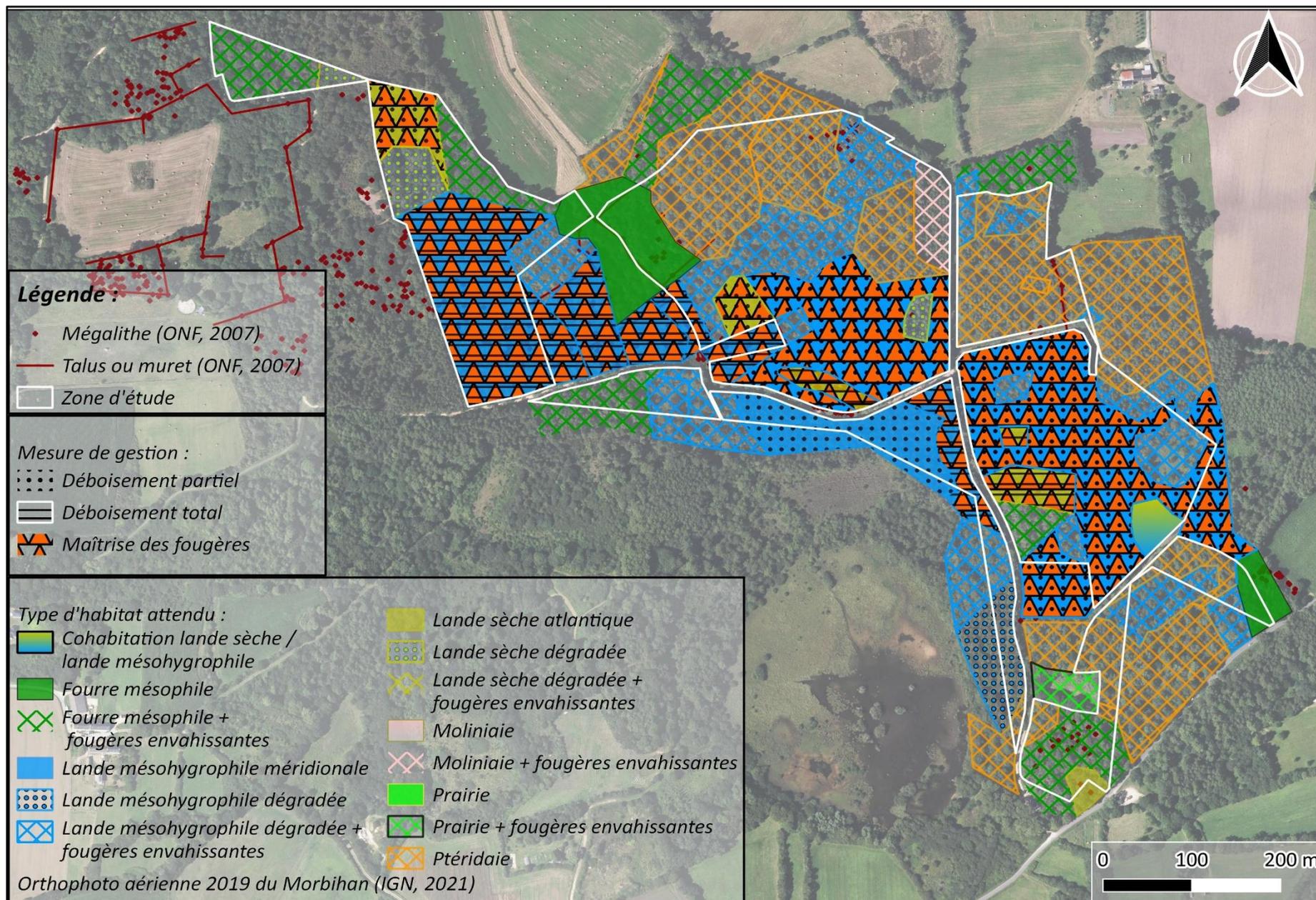


Figure 64 : carte du scénario 2 représentant la végétation attendue avec interventions modérées (patrimoine archéologique essentiellement)

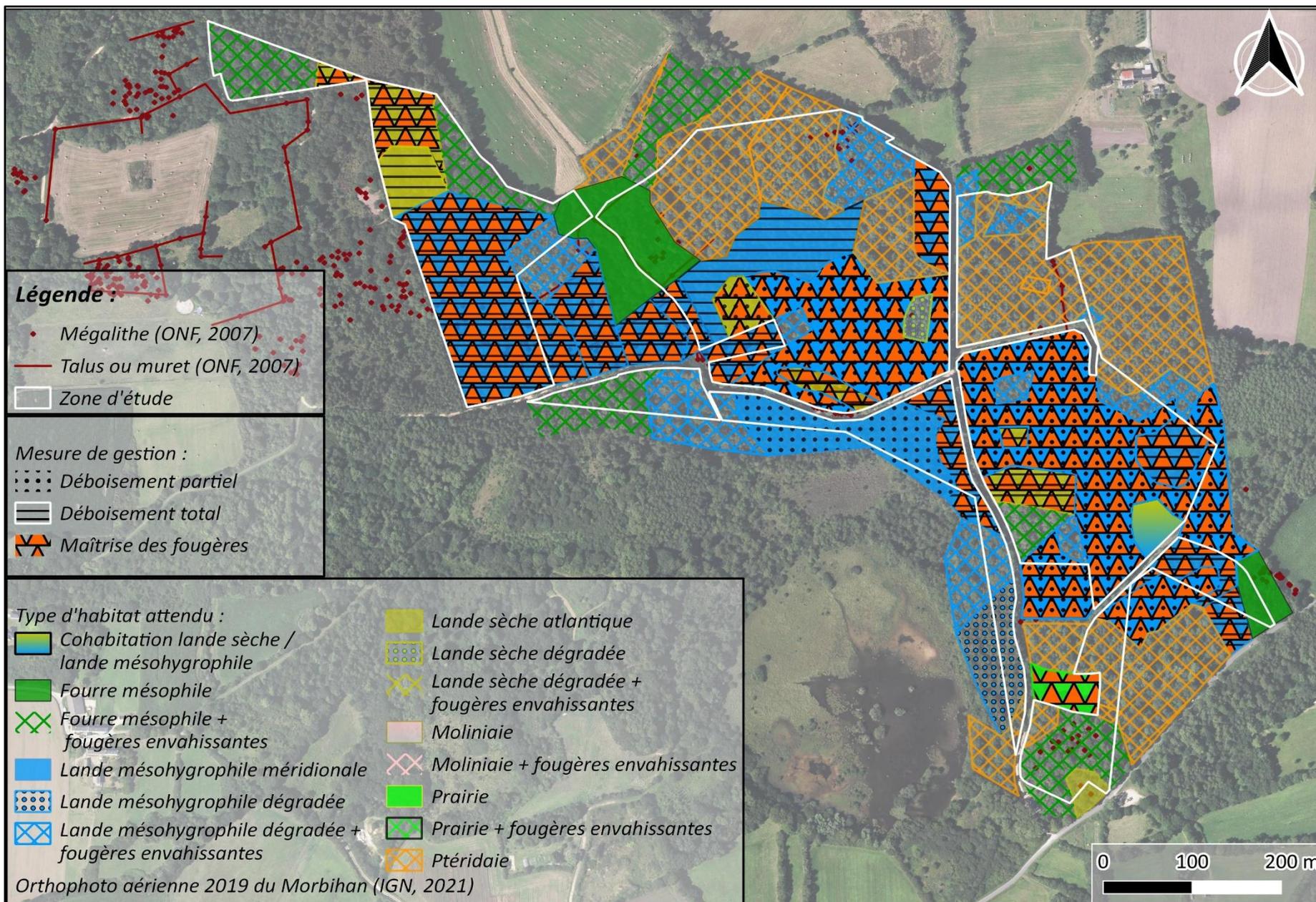


Figure 65 : carte du scénario 3 représentant la végétation attendue après son ouverture maximale (patrimoine écologique + archéologique)

	<i>Conséquences pour : Aménagement des alignements de mégalithes d'Erdeven</i>	<i>Conséquences pour : Aménagement forestier du bois d'Erdeven</i>	<i>Conséquences pour : Gestion de l'ENS Er Varquez</i>
Scénario de restauration / gestion 1	<ul style="list-style-type: none"> - Conservation des mégalithes difficile (fermeture des milieux) et risque de dégradation accentué (chutes d'arbres favorisées) - Connaissance des mégalithes limitée car notoriété amoindrie et non valorisés - Lecture de l'alignement des mégalithes impossible - Pas de valorisation supplémentaire pour le classement UNESCO à l'échelle du bien 	<ul style="list-style-type: none"> + Continuité du plan sans modification - Surface terrière difficilement maîtrisable - Certains peuplements arrivés à terme à remplacer 	<ul style="list-style-type: none"> + Pas de perturbations supplémentaires de la sensibilité écologique du lieu + Risque moindre d'expansion des espèces végétales invasives + Tranquillité du lieu mieux conservée - Pas de maîtrise des espèces envahissantes (fougères et ronces) - Pas d'hétérogénéité du paysage (pas de réouverture de landes / prairies) - Appauvrissement de la biodiversité (pas de fauche tardive, fermeture des milieux) - Pas d'aménagement face à la fréquentation actuelle
Scénario de restauration / gestion 2	<ul style="list-style-type: none"> + Conservation des mégalithes sur la totalité du couloir des alignements + Connaissances archéologique mise en avant et lecture des alignements facilitée + Fréquentation supplémentaire et appui à la candidature UNESCO 	<ul style="list-style-type: none"> + Occasion de faire décroître la surface terrière + Certains peuplements arrivés à terme à ne pas remplacer + Amélioration de la mixité d'essences d'arbres par les lisières mises en place au sein des alignements mégalithiques 	<ul style="list-style-type: none"> + Mosaïque du paysage améliorée (quelques landes / prairies) + Biodiversité augmentée (fauche tardive, ouverture de milieux mais conservation des biotopes existants, arrivée possible de nouvelles espèces ou anciennement implantées, patrimoniales, etc) -/+ Augmentation modérée de la pression anthropique sur une zone Natura2000, milieux fragiles de landes (plus de fréquentation et donc de piétinement), pouvant induire une nécessité de clôturer certains endroits (comme à Carnac) -/+ Espaces de tranquillité encore conservés en majorité -/+ Risque limité d'expansion des espèces végétales invasives

	<ul style="list-style-type: none"> - Augmentation modérée de la pression anthropique sur une zone mégalithique (plus de fréquentation et donc de piétinement), pouvant induire une nécessité de clôturer certains endroits (comme à Carnac) 	<ul style="list-style-type: none"> - Complexifie l'entretien des boisements par le morcellement de l'espace - Modification du plan de gestion forestière 	<ul style="list-style-type: none"> -/+ Maîtrise limitée des espèces végétales envahissantes (fougères et ronces) - Perturbation brutale de certains habitats et de leur faune/flore, avant retour à l'équilibre (y compris chemin autour de l'étang) - Perturbations de certains habitats et leur faune, (y compris chemin autour de l'étang) - Coûts de gestion supérieurs (lutte contre la Fougère aigle, ainsi que nécessité d'un investissement pour un accueil du public)
Scénario de restauration / gestion 3	<ul style="list-style-type: none"> ++ Conservation optimale des mégalithes sur une zone élargie (alignements + autres secteurs) ++ Connaissances archéologique mise en avant et lecture optimale des alignements dans leur globalité ++ Fréquentation plus importante et renforcement candidature UNESCO - Augmentation forte de la pression anthropique sur une zone mégalithique, pouvant induire une nécessité de clôturer certains endroits (comme à Carnac) 	<ul style="list-style-type: none"> ++ Opportunité de diminuer fortement la surface terrière + Les peuplements arrivés à terme ne seront pas à remplacer + Meilleure mixité de la futaie irrégulière par les lisières mises en place au sein du couloir des alignements mégalithiques - Complexifie l'entretien des boisements par le morcellement de l'espace - Modification du plan de gestion forestière 	<ul style="list-style-type: none"> + Pluralité des paysages ++ Enrichissement de la biodiversité + Aménagement complet face à l'afflux de visiteurs qui augmente (parcours de découverte, parking, chemin entourant l'étang) + Maîtrise appuyée des espèces végétales envahissantes - Augmentation forte de la pression anthropique sur la zone Natura2000, milieux fragiles de landes (plus de fréquentation et donc de piétinement), pouvant induire une nécessité de clôturer certains endroits (comme à Carnac) - Majorité des espaces de tranquillité supprimés - Risque d'artificialisation plus fort lié à un aménagement complet - Perturbation brutale de plusieurs habitats et de leur faune, avant retour à l'équilibre - Augmentation significative des coûts de gestion

Figure 66 : synthèse comparative des avantages / inconvénients, en fonction du scénario (déjà formulées dans les études précédentes)

5.2 Préconisations sur les modalités et leviers de restauration / gestion

Il était important dans le cadre de la présente étude, de construire et porter à connaissance du commanditaire, les meilleures modalités de restauration et de gestion de l'ENS Er Varquez. Le but étant d'avoir une vision élargie des possibilités, tout en donnant des priorités en fonction des trajectoires sols / végétation et volontés du gestionnaire. Il s'agit également par la suite de mettre en place des actions pilotées et coordonnées, de façon efficaces et pérennes, adaptées aux différents contextes énoncés ici. En effet, la plupart des landes bretonnes, sont en réalité des formations secondaires, qui survivent grâce aux actions d'origine anthropiques (*Forgeard & Frenat, 1996 ; Clément, 2003*).

Ainsi, en supplément des diagnostics écologiques déjà réalisés, il s'agira évidemment de tout mettre en œuvre pour respecter l'équilibre de ces milieux : pas de drainage ni irrigation, pas d'engrais ni d'amendements, etc. En revanche, dans la continuité des propositions faites auparavant et pour en approfondir certaines, il est possible de restaurer et gérer le site de plusieurs façons (active / passive, sous toutes réserves de faisabilité technique et d'acceptation) (*Ferrand, 2016 ; ONF, 2016 ; De Bonduwe et Luzu, 2017*). Elles sont, bien sûr dans une certaine mesure, compatibles avec la préservation et l'enrichissement de la diversité végétale, mais aussi avec la conservation du patrimoine archéologique. Elles sont surtout complémentaires, y compris avec un balisage judicieux susceptible de freiner toutes actions préjudiciable. Elles seront à appliquer sur des secteurs prioritaires à définir, mais participeront sans aucun doute à la qualité du paysage par la diversification des ambiances et environnements (davantage de milieux ouverts). Il existe en réalité des possibilités d'appliquer des techniques naturelles ou mécaniques, pour restaurer et entretenir la lande, tout en limitant la prolifération des végétaux envahissants. Ces derniers seront assurément stimulés par l'ouverture du milieu, sachant tout de même que la suppression complète des fougères paraît peu réaliste.

5.2.1 Restauration

Déboisement et défrichement

Les espaces à restaurer en tant que landes, mais aussi ceux à ouvrir dans le cadre de l'aménagement des alignements mégalithique d'Erdeven (cf. §1), devront être un maximum déboisés voire défrichés. En effet, en plus de la mise en valeur du site, il est nécessaire de redonner de la vigueur aux bruyères et ajoncs, sans oublier de rogner les souches, débiter les arbres en exportant le bois mort. Cependant, afin d'être cohérent avec les objectifs des ENS, ces opérations devront être conforme au plan d'aménagement forestier et œuvrer pour que la partie restant boisée soit en bon état, en maîtrisant notamment la surface déboisée.

Maîtrise de la Fougère aigle (Pteridium aquilinum)

La méthode mécanique visant à casser les frondes par l'emploi du roulage tracté, comme sur les landes de Cojoux, semble être une bonne option pour dévitaliser progressivement cette espèce et la rendre minoritaire (notamment dans les secteurs présentant des espèces indicatrices de landes mais envahis par les fougères). Néanmoins sur les secteurs de mégalithes, il conviendra d'utiliser du matériel plus adapté et apte à passer entre les alignements (petit et léger), complété par une intervention manuelle de type battonnage. Ces opérations avec la répétition des interventions et le suivi de travaux, représentent évidemment un coût qu'il est important d'anticiper.

Par ailleurs, la répétition de coupes à dates clés du cycle de développement de la plante, comme sur Carnac, est une piste intéressante (2 périodes de fauche fin juillet et fin septembre).

L'objectif étant alors de forcer la plante à épuiser ses réserves de nutriments de son rhizome pour empêcher son renouvellement.

Quoi qu'il en soit, pour être pérenne cette lutte contre les fougères semble demander une gestion appuyées sur plusieurs années, avec des opérations en fonction du cycle biologique de la plante (nécessite sa connaissance).

5.2.2 Gestion

Suppression de la biomasse aérienne par fauchage / gyrobroyage

Premièrement, mais sans paraphraser des idées déjà formulées dans les études précédentes, il est important de rappeler un certain nombre d'éléments à prendre en compte rapidement pour la gestion futur du site (*Ferrand, 2016 ; ONF, 2016 ; De Bonduwe et Luzu, 2017*). Par exemple, une fauche tardive des accotements de chemins, qui abritent une biodiversité relativement importante, serait plus cohérent avec une volonté de conservation du patrimoine écologique. En effet, un entretien annuel plus tardif en automne optimiserait les processus de reproduction et de propagation des espèces ;

Deuxièmement, malgré des capacités qui peuvent inquiéter les gestionnaire d'espaces naturels, la structure des plantes du genre *Rubus*, joue un rôle d'hôte et protège aussi de nombreux organismes vivants (germination d'autres végétaux, insectes et larves, rongeurs, etc.) (*Amor, 1974 ; Wehrle, 1985*). Il est mellifère et nourri son lot d'herbivores et frugivores (moutons, chèvres, cervidés, petits mammifères, insectes, oiseaux, etc.). Son développement modifie et prépare en outre, le milieu pour que le cycle sylvigénétique atteigne le stade forestier (décompaction du sol ou fourniture d'un humus par la décomposition de ses feuilles et racines). Beaucoup d'espèces considérées alors comme « mère des chênes », préservent le sol de l'épuisement quand il n'est pas déjà pauvre, et elles entrent en symbiose avec les actinobactéries (fixatrices d'azote). Ces interactions, avec la sphère abiotique et ces phénomènes d'épizoochorie / endozoochorie, confirment ainsi sa pertinence écosystémique. Sachant d'autant plus que ce genre de groupements végétaux (ronces, fougères, ajoncs) ont un effet répulsif sur le genre humain et ne sont pas traversés mais contournés (*Gallet & Roze, 2002*). La gestion par débroussaillage / broyage, de cette plante rudérale stimulée par une mise en lumière, devra finalement se faire en conscience de ces éléments. Il s'agira de faire des compromis entre les objectifs de valorisation de l'ENS retrouvant des espaces de landes et de mégalithes à contempler, puis ceux de conservation de la biodiversité.

Pression animale sur les écosystèmes par éco pâturage

Cette pratique consiste à réintégrer des pratiques agricoles extensives (agropastoralisme, cf. §3.4.1). Elle est un outil adéquat pour gérer des systèmes landicoles qui se referment, empêchant leur transformation vers des stades boisés (*Gallet & Rozé, 2002*). Elle se révélerait de plus être une opportunité pour les particuliers ou exploitations agricoles alentours, recherchant des espaces de pâturage. Toutefois, si la chèvre est un animal très peu exigeant, mangeant la majorité des végétaux à sa portée, le mouton peut nécessiter un complément mécanique (gyrobroyage) (*Delphine Aubin lors d'une visite du site, 26/04/2021*). Il convient également de préserver les lieux du sur / sous-pâturage, qui les conduirait à leur dégradation. Le pâturage de bétail mixte et de faible intensité, pourrait lui améliorer la disponibilité des proies pour l'avifaune, conséquence directe de l'hétérogénéité accrue de la structure végétale.

En réalité, cette gestion, qui nécessite d'être adaptée aux objectifs à atteindre et conditions locales comme à Carnac, vient modifier ces dernières qui deviennent alors plus hétérogènes (*Gallet & Rozé, 2002*). Cela laisse entrevoir malgré tout une possible diversification de la végétation à plus long terme.

5.2.3 Suivi

Il s'avèrerait judicieux de mettre en place stratégiquement des repères permanents et suivis photographiques, pareillement aux landes de Monteneuf (cf. §3.4.2). Il serait possible dans ce cas d'observer et caractériser objectivement les dynamiques et trajectoires empruntées par la végétation après son ouverture (progressive vs régressive). Sur le dolmen de Mané Croch par exemple, déboisé en 2019, il a été constaté une dynamique végétative et une biodiversité plutôt intéressantes (cf. §4.1). Il est d'ailleurs recommandé de procéder dès que possible, à la mise en place de son suivi, comme pour Coët Er Blei en cas d'ouverture de la végétation. Les zones non échantillonnées au niveau pédologie, pourraient quant à elles apporter ou confirmer des éléments d'analyse et d'interprétation. Les propositions formulées dans ce document sont de surcroît nécessairement liées à des expertises périodiques, du fait de la variabilité de facteurs ne pouvant être intégrés à long terme, comme sur le climat (*Gallet & Roze, 2002*).

Par ailleurs, il s'agit aussi de surveiller la vitalité et la colonisation des espèces présentes, comme les bruyères et ajoncs, ou celles des espèces patrimoniales / protégées (*Asphodèle d'Arrondeau*). Avoir une vigilance accrue face à la nouvelle concurrence des opportunistes que sont la fougère, la ronce ou la molinie, sera également chose recommandée. Il en est de même par rapport à l'influence des milieux externes et au devenir des plantes invasives déjà répertoriées en 2016 ou observées pendant nos opérations de terrain (herbacée sur certains chemins d'exploitation) (*Blond, 2016*).

Enfin, il serait pertinent de surveiller à plus long terme, les paramètres de sol susceptibles de varier avec ces changements de couvert végétal (pH, phosphore échangeable, azote total, etc.), ainsi que les processus de podzolisation (cf. §3.2.3)

5.3 Perspectives et points de vigilance

5.3.1 Points à développer

Premièrement, la restauration des espaces naturels comme celui d'Er Varquez, amène à se projeter autant qu'à se questionner sur les impacts environnementaux. Il serait donc judicieux de continuer les démarches consultatives / collaboratives entamées ici.

De cette manière, une liste des sites mégalithiques ayant fait l'objet d'une ouverture de la végétation, par les chantiers d'insertion des mégalithes, est disponible auprès de l'AQTA (*Delphine Aubin lors d'une visite du site, 26/04/2021*). La restauration après incendie des landes de Cojoux (35550, Saint-Just), se révélerait aussi être un bon retour d'expérience, surtout avec une dévitalisation par roulage de la Fougère aigle. Ces témoignages, bien que nombreux et différents par leur contexte, nourriraient la démarche de réflexion entamée ici.

En supplément, le partenariat avec le CBNB déjà sollicité dans notre cas, pourrait davantage être mobilisé sur cette étude proche des thématiques abordées par ce dernier. Un lien se voudrait d'ailleurs profitable d'être établi, avec le programme CarHAB pour lequel les conservatoires botaniques nationaux sont identifiés comme référents, sur les aspects végétation & biotope (*CBNB, 2017*).

En ce sens, il serait pertinent d'avoir une approche cartographique par série de végétation, ou encore de connaître la constitution de la banque de graines des sols (*Sébastien Gallet lors d'un entretien téléphonique, 28/04/2021*). La réalisation de fiches résumant l'association des ensembles de sols / complexes de végétation, apparaîtrait aussi utile (*Laurent & Douard, 2017*).

En outre, il s'avèrerait judicieux de prendre contact avec Agathe Mériaux, pour sa connaissance du Plan de Paysage (mené par le PNR du golfe du Morbihan) et le travail sur les arbres réalisé dans ce cadre (*Erwan De Bonduwe lors d'un entretien téléphonique, 03/05/2021*).

Deuxièmement, non considéré dans la présente étude mais considérable, le volet social est effectivement un incontournable dans ce genre de situation. Il est question, entre autres, de l'acceptation des usagers qui pourrait être facilité par l'émergence d'une sorte de maison du projet, ou encore de partenariats / conventionnements en faveur du développement local (*Erwan De Bonduwe lors d'un entretien téléphonique, 03/05/2021*). L'intérêt d'une déclaration d'utilité publique (DUP) peut être à étudier, si le projet de valorisation est remis en cause par manque d'adhésion des propriétaires de parcelles privées au sein de l'ENS (*Yolaine Bouteiller et Nathalie Morvan lors d'un entretien à la DDTM Morbihan, 07/07/2021*). Néanmoins, bien que les études faites jusqu'à aujourd'hui vont au-delà de la question foncière, elle serait être une problématique en mesure d'être résolue, notamment par la mise en œuvre d'un projet directeur (*Erwan De Bonduwe lors d'un entretien téléphonique, 03/05/2021*).

Par ailleurs, il est à prévoir de se mettre en relation avec les services départementaux d'incendie et de secours (SDIS 56), afin d'identifier les intérêts / inconvénients de cette affluence sur ce nouvel espace (*Yolaine Bouteiller et Nathalie Morvan lors d'un entretien à la DDTM Morbihan, 07/07/2021*).

Troisièmement, les impacts économiques et aspects budgétaires sont à développer (investissements, moyens financiers / humains / matériels), car ces volets sont inévitables dans les divers projets mentionnés (cf. §1.1). En effet, un certain nombre de sources de financements sont à examiner, sachant que l'enveloppe allouée à l'aménagement des ENS est essentiellement issue de la taxe d'aménagement (permis de construire). Les financements de l'Etat sont par exemple une grosse contribution pour les différents chantiers d'entretien des mégalithes (*Delphine Aubin lors d'une visite du site, 26/04/2021*). Leur classement au patrimoine mondial apporterait en outre des moyens supplémentaires, pour réussir l'intégration d'une dimension écologique concourant à la valeur du site et sa fragilité (*Ferrand, 2016*). Puis, bien que l'enjeu de production ligneuse soit moyen sur ces stations forestières du Varquez (varie en fonction des essences / saisons / sols), une valorisation du bois de coupe est envisageable (*ONF, 2016*).

Pour finir, des actions pastorales peuvent aussi être soutenues et cofinancées par les régions, via le Fonds Européen Agricole pour le Développement Rural (FEADER) (*ONF, 2021*). Au niveau européen toujours, des mesures agroenvironnementales territorialisées (MAET) encouragent les pratiques d'éco pâturage et ambitionnent l'atteinte d'objectifs, dont certains concernent les landes (*Colombet, 2006*) :

- Maintien d'une biodiversité spécifique et inféodée à des habitats naturels ;
- Défense anti-incendie des espaces de landes et pinèdes sensibles aux incendies.

Enfin, les différents cadres juridiques et réglementaires abordés ici, méritent à l'avenir une recherche plus approfondie. Il était primordial de les appréhender, mais restaient périphériques à la problématique de l'étude, orientée vers la caractérisation des sols et de la végétation.

5.3.2 Facteurs d'incertitudes sur les trajectoires de végétation

Malgré la conduite de la présente étude et les résultats qui en découlent, il persiste des incertitudes concernant plusieurs aspects et l'évaluation du potentiel des milieux. En effet, dans un écosystème tel que celui du Varquez, cohabitent différents végétaux répartis en plusieurs strates d'importance variée. Ils sont en compétition permanente pour l'eau et la lumière, mais aussi les éléments minéraux, amenant le système à un état relatif d'équilibre par sa dynamique de développement. C'est donc une évolution permanente avec des individus qui s'adaptent au niveau de ressources, mais disparition des autres. En revanche, un changement brutal de la structure du couvert végétal, qu'il soit artificiel ou naturel, modifierait les caractéristiques d'un milieu avec des conséquences sur son fonctionnement écologique. La fragilité du patrimoine naturel retrouvé et la stabilité de l'écosystème seraient ainsi facilement perturbables.

Premièrement, il est à considérer que les différents types de landes ont des productivités primaires propres à chacune (cf. §3.2.2), bien qu'elles restent les plus productives dans leur conditions écologique de référence. Les états de conservation des milieux sur ce site Er Varquez étant hétérogènes et dégradés, cela rend difficile la prédiction de cette production primaire.

Deuxièmement, le feu pouvant entamer les stock d'humus et entraîner l'érosion des sols, sa survenue pourrait être dommageable vis-à-vis des éléments biogènes (favorisant le lessivage des cations et éléments fins, cf. 3.2.2). Il s'agit donc d'être vigilant quant aux éventuels incendies. Puis dans le cas de la mise en place de campagnes de fauches / déboisement, l'exportation de biomasse est à réaliser avec réflexion. En effet, bien que la litière doive rester conséquente pour la lande, le retour de trop de phosphore dans les sols pourrait lui être néfaste. A contrario, dans le cas de sols trop riches cet export aurait pour résultat l'appauvrissement des sols et la baisse du potentiel forestier, améliorant alors la stabilité de la lande.

Troisièmement, il s'agira de l'exposition à des problématiques alors naissantes, comme dans le cas d'un couloir de vent créé par l'aménagement (*Erwan De Bonduwe lors d'un entretien téléphonique, 03/05/2021*). Les fougères maîtrisées et les pins coupés pourraient entraîner une diminution du phénomène d'acidification en cours, permettant à d'autres végétaux de s'installer / prospérer (comme la Ronce qui est acidophile). Puis la remontée du niveau de la nappe libre ou l'apparition de nappes temporaires, amènera aussi son lot de changements (*Aussenac et al, 1996*). En effet, l'enlèvement total ou partiel de peuplements, aura pour conséquence une augmentation des écoulements et de la teneur en eau des sols. Cette biomasse de résineux intercepte en réalité une grande partie des précipitations, sachant que le stockage et l'évapotranspiration est maximale en couvert fermé. Les strates herbacées / arbustives, jouent tout de même un rôle non négligeable dans le bilan hydrique des peuplements de pinèdes / chênaies. Il a par exemple été constaté que la transpiration de la Fougère aigle, pendant les périodes sèches, diminuait de façon moindre que celle de pins maritimes âgés de 20 ans. Sachant que le niveau de contrainte hydrique conditionne l'assimilation carbonée, la croissance pendant la saison d'expansion végétale est donc fonction de ce potentiel hydrique de base. Il pourrait résulter de ce déboisement des changements d'habitats, vers des gradients plus humides dans un climat océanique avec sécheresses épisodiques, au sein d'un espace naturel anciennement marécageux (cf. §3.2 et 3.3.4).

Enfin, les impacts et pressions supplémentaires dus à une possible démultiplication de la fréquentation (marche / cyclisme / équitation), sont tout autant des sources de questionnements quant à leurs conséquences sur la restauration des landes (Ferrand, 2016). L'augmentation du piétinement, par exemple, accentuera la densité de sols organiques qui seront alors fortement soumis à l'érosion et de sols minéraux plutôt compactés. Dans ces deux cas, la circulation de l'eau, de l'oxygène et des éléments minéraux est fortement altérée (Gallet & Roze, 2002). Il en est de même quant à l'aménagement des chemins / infrastructures pour le tourisme, détaillé dans le diagnostic paysager des alignements d'Erdeven (De Bonduwe, 2017).

5.3.3 Critiques méthodologiques et prise de recul sur les résultats

Il existe évidemment quelques points d'amélioration dans la conduite de ce genre de travaux. En effet, les opérations de terrain par exemple, ont mobilisé beaucoup de temps et contraint les autres jalons de travail, ce malgré des risques anticipées. Dans le cadre d'un suivi d'avancement plus appuyé et afin d'optimiser la planification, il eut été alors appréciable de créer des indicateurs accompagnant la mise en place du tableau de bord. La phase de collecte aurait en outre pu bénéficier d'une numérisation directe pendant les relevés (formulaires de saisie pré-dimensionnés), même si les fiches utilisées les ont harmonisés.

Par la suite, bien qu'une double relève fût effectuée (phytosociologie et pédologie), la précision de géolocalisation était très variable et parfois non satisfaisante (jusqu'à 32m). Les premières coordonnées étaient obtenues à l'aide d'une application sur téléphone portable, quand les secondes l'étaient par terminal GPS portatif (GARMIN ETREX 22x). Ce détail n'est donc pas à négliger, car des résultats ont pu être faussés par la proximité de certains points échantillonnés à une limite géographique (pédologie, géologie, végétation, etc.).

De surcroît, malgré des relevés phytosociologiques fait pendant la saison recommandée en termes d'expression de la flore, la hauteur de la majorité des peuplements n'était pas maximale (fougères entre autres). Cette question de saisonnalité est d'autant plus pertinente dans le cadre de recherches sur cette thématique sol-végétation. Il aurait aussi été souhaitable d'avoir des aires de relevés phytosociologiques plus importantes, pour gagner en représentativité (Delassus, 2015). Cette vigilance est également à apporter vis-à-vis de la frontière écologique entre *Ulex minor* et *Ulex gallii*, se faisant grossièrement sur l'axe St Briec / Vannes (Sébastien Gallet lors d'un entretien téléphonique, 28/04/2021). Cela a donc pu se révéler être un biais supplémentaire d'interprétation, sachant qu'ils se différencient difficilement sans niveau d'expertise suffisant.

De la même manière, la représentativité des échantillons par rapport aux types de sols, ou encore aux variations locales de profondeur, n'est pas assurée (Colombet, 2006). En effet, l'hétérogénéité naturelle de cette dernière n'est pas à exclure, surtout dans le cadre d'une cartographie précise des sols. Une répétition des sondages pédologiques par unité de végétation, aurait donc pu lever ce doute. L'attention est également attirée sur la nécessité de garder un œil critique, quant à l'attribution in-situ des couleurs d'horizons pédologiques, via la charte MUNSELL (chroma et valeur). En effet, l'état de propreté et d'usure du matériel ont pu impliquer un biais additionnel dans l'interprétation des résultats. Puis l'appareil utilisé pour effectuer les photographies témoins de profils, étant un équipement de moyenne à bas de gamme, il a rendu l'analyse de ces images difficile a posteriori (mauvais contraste).

Enfin, concernant l'analyse multi-dimensionnelles, il pourrait être plus judicieux et porteur de meilleurs résultats, de mettre en œuvre une analyse factorielle multiple pour exploiter le plein potentiel des variables quantitatives.

CONCLUSION

Finalement, il apparaît ici une relation sol / végétation difficile à appréhender, avec des influences anthropiques non négligeables. Le sol n'est de plus pas le seul facteur déterminant dans l'expression des complexes de végétation. Néanmoins, prendre en compte cette approche et ces liens, se révèle tout à fait intéressant quant aux problématiques et potentialités en écologie de la restauration. En effet, considérer ces 2 compartiments de façon indissociable est sans aucun doute très pertinent, pour mettre en évidence le plein potentiel de ces espaces naturels à restaurer et sauvegarder.

En ce sens, les potentialités de retrouver des habitats de landes au sein de la zone d'étude sont variables selon les secteurs, mais a priori réelles sur des surfaces significatives. Les caractéristiques pédologiques et conditions édaphiques actuelles, sont effectivement suffisantes pour valider cette hypothèse au sein des alignements mégalithiques. Ceci est dans une moindre mesure également le cas sur les secteurs périphériques anciennement cultivés, mais cette conclusion, sûrement valable sur l'ensemble de l'ENS et pourquoi pas au-delà, est tout de même conditionnée par le suivi et la maîtrise de certaines trajectoires végétales.

Par surcroît, il semble assez clair que la proposition d'ouverture totale de milieux semble encore pouvoir être discutée et confrontée, vis-à-vis des enjeux patrimoniaux et des intérêts écologiques, archéologiques et culturels. En effet, les landes nécessitant d'être restaurées pour leur sauvegarde, ont ici assurément un potentiel au-delà des alignements de mégalithes, bien que cela amène à d'autres questionnements. Malgré des incertitudes, le projet d'ouverture tel qu'envisagé par le bureau d'études Tiriad, mériterait donc d'être revu pour intégrer davantage cette dimension au vu de nombreuses autres possibilités. La mise en valeur et la conservation imbriquée, des monuments mégalithiques et de celle des landes, peut d'ailleurs se faire par différentes techniques complémentaires et compatibles, voir indissociables.

BIBLIOGRAPHIE

- Association Les Landes (2021a).** *Réserve Naturelle Régionale des Landes de Monteneuf : Bilan d'activité 2020.* Association Les Landes, 49p.
- Association Les Landes (2021b).** *Réserve Naturelle Landes de Monteneuf : Demande de prolongation du plan de gestion 2016-2020.* Association Les Landes. Présentation au Conseil Scientifique Régional du Patrimoine Naturel (CSRPN), 42p
- Amor RL (1974).** *Ecology and control of blackberry (Rubus fruticosus L. agg.) II.* Weed Research n°14, p231–238.
- Aussenac G, Granier A, Bréda N (1996).** *Effets des modifications de la structure du couvert forestier sur le bilan hydrique, l'état hydrique des arbres et la croissance.* INRA, Unité d'Écophysiologie forestière, Biologie et forêt, p54-62.
- Baize D, Girard M-C (2009).** *Référentiel pédologique 2008.* Association française pour l'étude du sol (AFES), Quæ, 405p.
- Belloncle J-L, Daniel F, Plus C, Lançon A, Frostin G (2010).** *Atlas de l'environnement du morbihan.* Observatoire Départemental de l'Environnement du Morbihan (ODEM), Département du Morbihan, 300p.
- Bioret F, Estève R, Sturbois A (2009).** *Dictionnaire de la protection de la nature.* Presse Université de Rennes, collection « Espaces et territoires », 537p.
- Blond C (2016).** *Espace Naturel Sensible du bois du Varquez (Erdeven) : Inventaire et cartographie de la flore et habitats de végétation.* Département du Morbihan, 45p.
- Clément B (2003).** *Landes et pelouses, 40 ans de connaissances et de conservation du patrimoine naturel en Bretagne.* Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), Université de Rennes 1, UMR6553 Ecobio, 9p.
- Clément B, Touffet J (1980).** *Répartition et évolution de la matière organique et des éléments biogènes dans la lande mésophile des Monts d'Arrée.* Bull. Ecologique vol. 11, n°3, p307-314.
- Colombet M (2006).** *Guide des stations forestières du Vannetais.* Centre Régional de la Propriété Forestière (CRPF) de Bretagne, 48p.
- Conseil General du Morbihan (2012).** *Schéma Départemental des Espaces Naturels et Sensibles du Morbihan 2013-2022.* Département du Morbihan, 150p.
- Dardignac C, Leroux V-E (2007).** *Inventaire mégalithique sur la forêt départementale d'Erdeven et ses environs - rapport de prospection archéologique.* Direction générale de l'Office national des forêts, Service régional d'archéologie de Bretagne, Département du Morbihan, 48p.
- De Bonduwe E, Luzu T (2017).** *Alignements mégalithiques sur la commune d'Erdeven : Diagnostic.* Tiriad. Etude d'aménagement et de suivi de chantier de l'ensemble mégalithique du Varquez - Kerzerho sur la commune d'Erdeven, 26p.
- Delassus L (2015).** *Guide de terrain pour la réalisation des relevés phytosociologiques.* Conservatoire botanique national de Brest, 25p + annexes.
- DRAC Bretagne (2010).** *Projet pour une candidature au Patrimoine Mondial.* Direction régionale des affaires culturelles de Bretagne, 29p.

- Fardeau J-C, Morel C, Boniface R (1988).** *Pourquoi choisir la méthode Olsen pour estimer le phosphore " assimilable " des sols ?*. Agronomie, EDP Sciences, vol.8, n°7, p577-584.
- Ferrand J-P (2016).** *Espace naturel sensible des bois du Varquez à Erdeven : Diagnostic et orientations pour la gestion*. Département du Morbihan, 78p.
- Forgeard F (1977).** *Biomasse et productivité primaire de quelques landes armoricaines*. Botanica Rhedonica, Série A, n°15, p31-35.
- Forgeard F, Frenot Y (1996).** *Effects of burning on heathland soil chemical properties : an experimental study on the effect of heating and ash deposits*. Journal of Applied Ecology, n°33, p803-811.
- Gaillard F (1881).** *Monuments mégalithiques du Morbihan : Erdeven et St-Pierre-Quiberon*. Médiathèque de l'Architecture et du Patrimoine.
- Gallet S, Rozé F (2002).** *Préconisation de gestion de la végétation du site des alignements de Carnac*. Université de Rennes 1, UMR EcoBio 6553, 133p.
- Glemarec E, Delassus L, Goret M, Guitton H, Hardegen M, Jonin M, Juhel C, Lacroix P, Lieurade A, Magnanon S, Reimringer K, Thomassin G, Zambettakis C (2015).** *Les landes du Massif armoricain, approche phytosociologique et conservatoire*. Conservatoire botanique national de Brest. Cahiers scientifiques et techniques n°2, 278p.
- Heddebaux E (2013).** *Sites mégalithiques Propriétés du département du Morbihan au titre des Espaces Naturels Sensibles, Périmètre d'étude UNESCO*. Association Paysages de Mégalithes, Département du Morbihan, 35p.
- IGN (2016).** *Légende de la carte de Cassini*. Institut national de l'information géographique et forestière, échelle 1/864 000^{ème}, 1p.
- IGN (2021).** *Légende de la carte de l'Etat-Major (1820-1866) : tableau des teintes conventionnelles, des routes et des divisions territoriales*. Institut National de l'Information Géographique et Forestière, échelle 1/20 000^{ème}, 1p.
- Jabiol B, Brêthes A, Brun J-J, Ponge J-F, Toutain F, Zanella A, Aubert M, Bureau F (2009).** *Typologie des formes d'humus forestières (sous climats tempérés)*. Association Française pour l'Étude du Sol. Référentiel pédologique 2008, Quae, p327-355.
- Laurent E, Delassus L, Hardegen M, Magnanon S, Sellin V, Dissez C (2017a).** *Aide au choix d'une méthode de cartographie des végétations*. Conservatoire botanique national de Brest, Guide méthodologique (Programme « Connaissance et cartographie des végétations sur de grands territoires : étude méthodologique »), 12 p.
- Laurent E, Delassus L, Hardegen M (2017b).** *Méthodes d'inventaire et de cartographie des groupements végétaux*. Conservatoire botanique national de Brest, Guide méthodologique (Programme « Connaissance et cartographie des végétations sur de grands territoires : étude méthodologique »), 42 p + annexes.
- Laurent E, Douard S (2017).** *Les principaux types de sols du PNR d'Armorique et leurs relations avec la végétation*. Conservatoire botanique national de Brest, Outil de référence (Programme « Connaissance et cartographie des végétations sur de grands territoires : étude méthodologique »), 89 p + annexes.
- Leblé G, Chazelle C, Grapin H, Beullier M, Faury L, Drouin C (2020).** *Etude paysagère destinée à construire la candidature UNESCO des mégalithes de Carnac et du sud du Morbihan : Phase I, diagnostic paysager*. Atelier de Paysage Claude Chazelle / Archéodunum, Association Paysages de Mégalithes, 94p.

Louvel-Glaser J, Gaudillat V (2015). *Correspondances entre les classifications d'habitats CORINE Biotopes et EUNIS*. Museum National d'Histoire Naturelle (MNHN), Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie (MEDDE), 119 p.

Mahaud J (2000). *Les boisements de conifères du Morbihan, de l'environnement au paysage : Les processus écologiques et sociaux d'acclimatation et de naturalisation de trois essences résineuses introduites*. Ecole Nationale Supérieure du Paysage (ENSP). Actes du séminaire « Etapes de recherches en paysage », n°1, p17-20.

Mahaud J (1998). *Les paysages forestiers du Morbihan, du recul à la reconquête*. Courrier de l'environnement de l'INRA, n°34, p67-74.

Ollat C, Combeau A (1988). *Méthodes de détermination de la capacité d'échange et du pH d'un sol : Relations entre le complexe absorbant et le pH*. Office de la Recherche Scientifique et Technique d'Outre-Mer, IDERT, p343-379.

ONF (2016). *Fiche d'aménagement ERD : forêt de Carnac et Erdeven*. Département du Morbihan, 37p.

Ramade F (1993). *Eléments d'écologie : écologie appliquée*. Ediscience international, 578p.

Rameau JC, Mansion D, Dumé G, Timbal J, Lecointe A, Dupont R, Keller R (2003). *Flore forestière française : guide écologique illustré, tome 1: Plaines et collines*. Institut pour le développement forestier, 1785 p.

Rivière J-M (1980). *Carte des sols d'Auray au 1/25 000^{ème}*. Carte à main levée issue de minutes de terrain + légende. Agrocampus Ouest.

Saint Cast C (2019). *Modélisation du développement architectural, de l'acclimatation au vent dominant et de l'ancrage du système racinaire du pin maritime*. Université de Bordeaux, thèse doctorale en Biodiversité et Ecologie, 216p.

Sellin V (coord.), Auguin Y, Garcia O, Guilhauma G, Hardegen M, Studerus K (2020). *Cartographie des grands types de végétation de Bretagne. Département du Morbihan : notice de la carte*. Fond Européen de Développement Régional (FEDER) / Région Bretagne / Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL) de Bretagne / Agence de l'eau Loire-Bretagne / Département du Finistère / Département d'Ille-et-Vilaine / Département des Côtes-d'Armor / Département du Morbihan / Brest métropole. Conservatoire botanique national de Brest, 102 p. + annexes.

Touffet J (1982). *Dictionnaire essentiel d'écologie*. Ouest-France, 108p.

Wehrle L, (1985). *La ronce (Rubus fruticosus L. agg.) en forêt*. Revue Forestière Française n°4, p288–304.

WEBOGRAPHIE

ACO (2015a). *Données et outils*. Agrocampus Ouest. [En ligne, consulté le 16 mars 2021], disponible sur l'URL : <http://sols-de-bretagne.fr/donnees-et-outils/view,remository/>

ACO (2015b). *Carte des Sols de Bretagne*. Agrocampus Ouest. [En ligne, consulté le 16 mars 2021], disponible sur l'URL : <http://geowww.agrocampus-ouest.fr/solsdebretagne>

ASUP (2012). *L'analyse du phosphore dans les sols*. Atelier Sols, Urbanisme et Paysages (ASUP). [En ligne, consulté le 30 juillet 2021], disponible sur l'URL : <http://solsetpaysages.canalblog.com/archives/2012/04/21/24070023.html>

BRGM (2019). *Cartes géologiques - Téléchargement des cartes géologiques départementales à 1/50 000 (BdD Charm-50)*. Bureau de Recherches Géologiques et Minières. [En ligne, consulté le 30 mars 2021], disponible sur l'URL : <https://infoterre.brgm.fr/page/cartes-geologiques>

BRGM (2021a). *Catalogues des adhérents Carmen : Catalogue des cartes de Bretagne*. Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire, Agence Française pour la Biodiversité, Système d'Information sur la Nature et les Paysages, Système d'Information sur l'Eau, Bureau de Recherches Géologiques et Minières. [En ligne, consulté le 20 avril 2021], disponible sur l'URL : <https://administration.carmencarto.fr/services/catalogue/10>

BRGM (2021b). *Localisation des différents types de roches en France*. Bureau de Recherches Géologiques et Minières. [En ligne, consulté le 10 avril 2021], disponible sur l'URL : <https://www.geoportail.gouv.fr/donnees/cartes-geologiques>

CBNB (2016). *Base d'Information Géographique (BIG) HABITATS*. CBNB, [En ligne, consulté le 22 avril 2021], disponible sur l'URL : <http://www.cbnbrest.fr/geonetwork/srv/fre/catalog.search#/metadata/11b9ce0b-d48c-42c0-be36-d60b6ada0931>

CBNB (2017). *Préserver des espèces emblématiques et leurs milieux naturels*. Conservatoire botanique national de Brest. [En ligne, consulté le 18 avril 2021], disponible sur l'URL : <https://www.pnr-armorique.fr/le-parc-en-action/le-landes-darmorique/preserver-des-especes-emblematisques-et-leurs-milieux-naturel>

CBNB (2020). *Carte des grands types de végétation par télédétection du Morbihan*. Conservatoire botanique national de Brest. [En ligne, consulté le 30 mars 2021], disponible sur l'URL : <http://www.cbnbrest.fr/observatoire-milieu/cartes-de-repartition/cgtv/carte-des-grands-types-de-vegetation-de-bretagne/la-carte-du-morbihan>

Dpt56 (2021). *Atlas de l'environnement du Morbihan : Etat de l'environnement*. Conseil scientifique de l'environnement du Morbihan, Département du morbihan. [En ligne, consulté le 2 août 2021], disponible sur l'URL : https://csem.morbihan.fr/dossiers/atlas_env/etat_environnement.php

Dambrine E (2021). *L'acidification des sols : origine, approche, enjeux et maîtrise : Acidité et acidification des sols, une introduction*. [En ligne, consulté le 30 juillet 2021], disponible sur l'URL : https://comifer.asso.fr/images/pdf/colloque_dambrine.pdf

Département du Morbihan (2021). *Missions et organisation*. Département du Morbihan. [En ligne, consulté le 30 juin 2021], disponible sur l'URL : <https://www.morbihan.fr/departement-du-morbihan/le-fonctionnement/missions-et-organisation/les-competences>

IGN (2017). *RGE ALTI*. Institut national de l'information géographique et forestière. [En ligne, consulté le 17 avril 2021], disponible sur l'URL : <https://geoservices.ign.fr/documentation/donnees/alti/rgealti>

IGN (2018). *BD ORTHO HISTORIQUE*. Institut national de l'information géographique et forestière. [En ligne, consulté le 10 avril 2021], disponible sur l'URL : <https://geoservices.ign.fr/documentation/donnees/ortho/bdorthohisto>

IGN (2021). *CONSULTATION ET IMPRESSION DE DONNÉES ANCIENNES ET ACTUELLES : COMPAREZ DES CARTES ET DES PHOTOS AÉRIENNES ANCIENNES ET ACTUELLES*. Institut national de l'information géographique et forestière. [En ligne, consulté le 16 juillet 2021], disponible sur l'URL : <https://remonterletemps.ign.fr>

INPN (2021a). *Référentiel habitats (HABREF) : Typologies*. Inventaire National du Patrimoine Naturel (INPN). [En ligne, consulté le 29 mars 2021], disponible sur l'URL : <https://inpn.mnhn.fr/telechargement/referentiels/habitats/typologies>

Météo France (2021). *Climat Bretagne : Normales et records*. [En ligne, consulté le 2 août 2021], disponible sur l'URL : <https://meteofrance.com/climat/normales/france/bretagne>

Ministère de la transition écologique et solidaire (2017). *La matière organique des sols et le stockage de carbone*. [En ligne, consulté le 12 juillet 2021], disponible sur l'URL : <http://www.donnees.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/lesessentiels/essentiels/sol-biodiversite-carbone.htm>

Paysages de Mégalithes de Carnac et du sud du Morbihan (2018). *La démarche UNESCO : où en sommes-nous ?* Paysages de Mégalithes de Carnac et du sud du Morbihan. [En ligne, consulté le 29 mars 2021], disponible sur l'URL : <http://www.megalithes-morbihan.fr/actualite/la-demarche-unesco-ou-en-somme-nous.html>

UNESCO (2021). *Les critères de sélection*. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. [En ligne, consulté le 12 juillet 2021], disponible sur l'URL : <https://whc.unesco.org/fr/criteres/>

UNIFA (2021). *Quelques clés pour comprendre les résultats d'analyse : L'analyse chimique*. UNion des Industries de La Fertilisation (UNIFA). [En ligne, consulté le 30 juillet 2021], disponible sur l'URL : <https://fertilisation-edu.fr/le-sol/en-savoir-plus.html>

GLOSSAIRE

La liste des sigles / abréviations / acronymes ainsi que leur signification, est la suivante :

- ACO: L'institut Agro – AgroCampus Ouest
- AQTA : communauté de communes Auray Quiberon Terre Atlantique
- BdD : Base de Données
- BRGM : Bureau de Recherches Géologiques et Minières
- CBNB : Conservatoire Botanique National de Brest
- D56 : Département du Morbihan
- CEC : Capacité d'Echange Cationique
- CMN : Centre des Monuments Nationaux
- CSEM : Conseil Scientifique de l'Environnement du Morbihan
- DDTM : Direction Départementale des Territoires et de la Mer
- DRAC : Direction Régionale des Affaires Culturelles
- ENS : Espace Naturel Sensible
- EUNIS : European Nature Information System
- GPS : Global Positioning System
- HIC : Habitat d'Intérêt Communautaire
- IGN : Institut National de l'Information Géographique et Forestière
- INRAE : Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement
- LGO : Laboratoire Géoscience Océan
- ONF : Office National des Forêts
- PNR : Parc Naturel Régional
- RNR : Réserve Naturelle Régionale
- RRP : Référentiel Régional de Pédologie
- RP : Référentiel Pédologique
- SIG : Système d'Information Géographique
- UBO : Université de Bretagne Occidentale
- UBS : Université de Bretagne Sud
- UMR : Unité Mixte de Recherche
- UNESCO : United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (Organisation des Nations Unies pour l'Éducation, la Science et la Culture)
- URL : Uniform Resource Locator

TABLE DES ILLUSTRATIONS

La liste des figures du présent document est présentée ci-dessous :

FIGURE 1 : PHOTOGRAPHIE AERIENNE DE L'ENS ER VARQUEZ, AVEC SA FORET ET SON ETANG	2
FIGURE 2 : DELIMITATIONS DES PERIMETRES GEOGRAPHIQUES DE L'ETUDE	3
FIGURE 3 : EXTRAIT DE LA PROPOSITION DU BUREAU D'ETUDES PAYSAGERES TIRIAD, POUR LE PROJET D'AMENAGEMENT DES ALIGNEMENTS MEGALITHIQUES D'ERDEVEN	4
FIGURE 4 : REPRESENTATION SCHEMATIQUE DES ENJEUX DU PROJET DE VALORISATION DE L'ENS ER VARQUEZ	5
FIGURE 5 : REPRESENTATION SCHEMATIQUE DES OBJECTIFS DE L'ETUDE	6
FIGURE 6 : REPRESENTATION SCHEMATIQUE DES AXES METHODOLOGIQUES DE L'ETUDE	7
FIGURE 7 : EMPRISE DE LA ZONE D'ETUDE SUR L'ENS ER VARQUEZ	8
FIGURE 8 : PLAN D'ECHANTILLONNAGE DE LA ZONE D'ETUDE ET TYPES DE CARACTERISATIONS A REALISEES	11
FIGURE 9 : PHOTO DU PROFIL PEDOLOGIQUE AU POINT 3	13
FIGURE 10 : EXTRAIT DE LA CLE DE DETERMINATION DES PRINCIPALES FORMES D'HUMUS FORESTIERES DE MILIEUX OUVERTS, CLIMATS TEMPERES	13
FIGURE 11 : MISE EN ŒUVRE D'UNE GOUGE GRADUEE POUR LES PRELEVEMENTS DE SOL	15
FIGURE 12 : SCHEMA OPERATIONNEL SUR UN POINT ECHANTILLONNE DE LA ZONE D'ETUDE	16
FIGURE 13 : PLANNING SPECIFIQUE A LA PERIODE DE TERRAIN, AXE 3 DE LA METHODOLOGIE D'ETUDE	18
FIGURE 14 : PHOTOGRAPHIE DU DOLMEN DE MANE CROC'H AU DEBUT DU XX^{EME} SIECLE	31
FIGURE 15 : PHOTOGRAPHIE DES ALIGNEMENTS D'ERDEVEN (MANE BRAZ), PRISE DE L'EST-SUD-EST	31
FIGURE 16 : COMPARAISON D'ORTHOPHOTOS AERIENNES DE L'ENS ER VARQUEZ	33
(SOURCE : EXTRAIT D'ORTHO-PHOTOGRAPHIES AERIENNES, IGN, 2021)	33
FIGURE 17 : CARTE DE L'OCCUPATION DES SOLS DE 1950-1965 DE LA ZONE D'ETUDE	34
FIGURE 18 : PHOTOGRAPHIE DES ENVIRONS DU DOLMEN DE MANE BRAZ EN 2013	36
FIGURE 19 : PHOTOGRAPHIE DES ENVIRONS DU DOLMEN DE MANE BRAZ EN 2005	36
FIGURE 20 : PHOTOGRAPHIE DES ALIGNEMENTS DE CÖET ET BLEÏ EN 2005	37
FIGURE 21 : PHOTOGRAPHIE DES ALIGNEMENTS DE CÖET ET BLEÏ EN 2012	37
FIGURE 22 : PHOTOGRAPHIE DE DIFFERENTS MILIEUX AU SEIN DU SITE MEGALITHIQUE DE MONTENEUF	42
FIGURE 23 : PHOTOGRAPHIE DE DIFFERENTS MILIEUX AU SEIN DES LANDES DE LA VRAIE CROIX	44
FIGURE 24 : PHOTOGRAPHIES D'UN HABITAT DE TYPE FOURRE MESOPHILE	45
FIGURE 25 : PHOTOGRAPHIES D'UN HABITAT DE TYPE LANDE MESOHYGROPHILE MERIDIONALE	46
FIGURE 26 : PHOTOGRAPHIES D'UN HABITAT DE TYPE LANDE MESOHYGROPHILE DEGRADEE	46
FIGURE 27 : PHOTOGRAPHIES D'UN HABITAT DE TYPE LANDE SECHE ATLANTIQUE	47
FIGURE 28 : PHOTOGRAPHIE D'UN HABITAT DE TYPE MOLINIAIE	47
FIGURE 29 : PHOTOGRAPHIE D'UN HABITAT DE TYPE PTERIDAIE	48
FIGURE 30 : PHOTOGRAPHIE D'UN HABITAT DE TYPE PRAIRIE BASALE	48

FIGURE 31 : PHOTOGRAPHIE D'UN HABITAT DE TYPE PRAIRIE DE FAUCHE	49
FIGURE 32 : REPARTITION SURFACIQUE DE LA STRATE ARBOREE ACTUELLE DANS L'EMPRISE DES UNITES HOMOGENE DE VEGETATION CARTOGRAPHIEES	50
FIGURE 33 : REPARTITION SURFACIQUE DES UNITES HOMOGENES DE VEGETATION (SOUS-BOIS)	51
FIGURE 34 : CARTE DES UNITES HOMOGENES DE VEGETATION	52
FIGURE 35 : REPARTITION SURFACIQUE DES UNITES HOMOGENES DE VEGETATION, EN FONCTION DE L'OCCUPATION DES SOLS ESTIMEE DE LA PERIODE 1950-1965	53
FIGURE 36 : REPARTITION SURFACIQUE DE LA STRATE ARBOREE ACTUELLE, EN FONCTION DE L'OCCUPATION DES SOLS ESTIMEE DE LA PERIODE 1950-1965	54
FIGURE 37 : REPARTITION SURFACIQUE DES UNITES HOMOGENES DE VEGETATION, EN FONCTION DE LA STRATE ARBOREE ACTUELLE	55
FIGURE 38 : OCCURRENCES DE CHAQUE ESPECE VEGETALE RELEVÉE SUR LA ZONE D'ETUDE, POUR L'ENSEMBLE DES CADRATS DE PHYTOSOCIOLOGIE (48 POINTS)	56
FIGURE 39 : CONTINGENCE DU NOMBRE D'ESPECES VEGETALES RELEVÉES SUR LA ZONE D'ETUDE, AU DROIT DE CHAQUE CADRAT POUR LA PHYTOSOCIOLOGIE (48 POINTS)	57
FIGURE 40 : PHOTOGRAPHIE DU PROFIL DE SOL AU POINT 40	58
FIGURE 41 : PHOTOGRAPHIE DU PROFIL DE SOL AU POINTS 29	59
FIGURE 42 : PHOTOGRAPHIE DU PROFIL DE SOL AU POINTS 28	60
FIGURE 43 : PHOTOGRAPHIE DU PROFIL DE SOL AU POINT 30	61
FIGURE 44 : PHOTOGRAPHIE DU PROFIL DE SOL AU POINT 9	62
FIGURE 45 : CARTE DES TYPES DE SOLS EN FONCTION DES HUMUS, AU DROIT DES POINTS ECHANTILLONNES	63
FIGURE 46 : CARTE DE LA PROFONDEUR D'APPARITION DE L'HYDROMORPHIE EN FONCTION DE L'ALTITUDE, AU DROIT DES POINTS ECHANTILLONNES	64
FIGURE 47 : CARTE DES PENTES ET DES PROFONDEURS DES SOLS, AU DROIT DES POINTS ECHANTILLONNES	65
FIGURE 48 : REPARTITION SURFACIQUE DES GRANDS TYPES DE SOLS ISSUS DE LA CARTOGRAPHIE DE 1980 (EMPRISE DES UNITES HOMOGENES DE VEGETATION DE LA ZONE D'ETUDE)	66
FIGURE 49 : CARTE COMPARATIVE ENTRE LES TYPES DE SOLS CARACTERISES EN 2021 AU DROIT DES POINTS ECHANTILLONNES ET CEUX PHOTO-INTERPRETES DE 1980	67
FIGURE 50 : CONTINGENCE DES TYPES DE SOLS CARACTERISES EN 2021 PAR RAPPORT A L'OCCUPATION DES SOLS ESTIMEE DE LA PERIODE 1950-1965	68
FIGURE 51 : POTENTIELS HYDROGENES (PH) ET ACIDITE D'ECHANGE, METHODES H2O ET KCL, EN FONCTION DU POINT ECHANTILLONNE, PROFONDEUR 0-10CM ET 20-40CM	70
FIGURE 52 : CARTE DE LA TENEUR EN MATIERE ORGANIQUE (MO) ET DU RAPPORT CARBONE / AZOTE (C / N), AU DROIT DES POINTS ECHANTILLONNEES, PROFONDEUR 0-10 CM	71
FIGURE 53 : TENEUR EN AZOTE TOTAL (N) ET RAPPORT CARBONE / AZOTE (CN), EN FONCTION DU POINT ECHANTILLONNE, PROFONDEUR 0-10CM ET 20-40CM	73
FIGURE 54 : TENEUR EN PHOSPHORE ECHANGEABLE (P) ET ALUMINIUM ECHANGEABLE (AL), EN FONCTION DU POINT ECHANTILLONNE, PROFONDEUR 0-10 CM ET 20-40CM	74
FIGURE 55 : TENEUR EN CATIONS ECHANGEABLES, POTASSIUM (K) / MAGNESIUM (MG) / SODIUM (NA) ET CALCIUM (CA), EN FONCTION DU POINT ECHANTILLONNE, PROFONDEUR 0-10CM ET 20-40CM	75
FIGURE 56 : TAUX DE SATURATION DE LA CEC ET CAPACITE D'ECHANGE CATIONIQUE (CEC), EN FONCTION DU POINT ECHANTILLONNE, PROFONDEUR 0-10CM ET 20-40CM	76

FIGURE 57 : CARTE DE LA CAPACITE D'ECHANGE CATIONIQUE (CEC) ET DU TAUX DE SATURATION DE LA CEC, AU DROIT DES POINTS ECHANTILLONNEES, PROFONDEUR 0-10 CM	77
FIGURE 58 : CONTINGENCE DES UNITES HOMOGENES DE VEGETATION ET TYPES DE SOLS CARACTERISES EN 2021, PAR RAPPORT A L'OCCUPATION DES SOLS ESTIMEE EN 1950-1965	79
FIGURE 59 : CARTE DES UNITES HOMOGENES DE VEGETATION ET TYPES DE SOLS DECRITS EN 2021, AVEC LES LIMITES DES SOLS DESSINEES DE 1980	80
FIGURE 60 : COEFFICIENT DE CARACTERISATION DE LA VARIABLE « HAB_UNITVEGEA » ET DE SES MODALITES	82
FIGURE 61 : CARTE DU POTENTIEL DE RESTAURATION PAR TYPE DE LANDE AU DROIT DES POINTS ECHANTILLONNES	84
FIGURE 62 : COMPARATIF DES SURFACES DE VEGETATION ESCOMPTEES SUR LA ZONE D'ETUDE (HECTARES) A HORIZON DE 10-15ANS, EN FONCTION DU SCENARIO	87
FIGURE 63 : CARTE DU SCENARIO 1 REPRESENTANT LA VEGETATION ATTENDUE SANS AUCUNE INTERVENTION SUPPLEMENTAIRE	88
FIGURE 64 : CARTE DU SCENARIO 2 REPRESENTANT LA VEGETATION ATTENDUE AVEC INTERVENTIONS MODEREES (PATRIMOINE ARCHEOLOGIQUE ESSENTIELLEMENT)	89
FIGURE 65 : CARTE DU SCENARIO 3 REPRESENTANT LA VEGETATION ATTENDUE APRES SON OUVERTURE MAXIMALE (PATRIMOINE ECOLOGIQUE + ARCHEOLOGIQUE)	90
FIGURE 66 : SYNTHESE COMPARATIVE DES AVANTAGES / INCONVENIENTS, EN FONCTION DU SCENARIO (DEJA FORMULEES DANS LES ETUDES PRECEDENTES)	92
FIGURE 67 : NOMENCLATURE DE LA CODIFICATION DE LA CARTE DES SOLS DE 1980 DE LA ZONE D'ETUDE	5
FIGURE 68 : PHOTOGRAPHIES PRESENTANT LE MATERIEL DE PRELEVEMENT DE SOL (A GAUCHE) ET LE MATERIEL DE SONDAGE POUR LE PROFIL PEDOLOGIQUE (A DROITE)	9
FIGURE 69 : FICHE DE DESCRIPTION DE LA VEGETATION, POUR CHAQUE POINT ECHANTILLONNE - RECTO	10
FIGURE 70 : FICHE DE DESCRIPTION DE LA VEGETATION, POUR CHAQUE POINT ECHANTILLONNE – VERSO	11
FIGURE 71 : FEUILLE DE DESCRIPTION DU PROFIL DE SOL UTILISEE POUR CHAQUE SONDAGE – RECTO	13
FIGURE 72 : FEUILLE DE DESCRIPTION DU PROFIL DE SOL UTILISEE POUR CHAQUE SONDAGE – VERSO	14
FIGURE 73 : FICHE DE RENSEIGNEMENTS INCLUSE DANS CHAQUE SACHET A ANALYSER EN LABORATOIRE	15
FIGURE 74 : SYNTHESE DES UTS RECENSEES DANS LA COMPOSITION DE L'UCS1047 (ERDEVEN)	25
FIGURE 75 : SURFACE DES DIFFERENTS MILIEUX DANS LE MORBIHAN	26

TABLE DES MATIERES

La synthèse de toutes les parties composant ce document est exposée ci-dessous :

REMERCIEMENTS	3
AVANT-PROPOS	5
SOMMAIRE	7
INTRODUCTION	1
1. ELEMENTS DE CADRAGE : CONTEXTE GENERAL, ENJEUX ET OBJECTIFS	2
1.1 CONTEXTE GENERAL	2
1.2 ENJEUX DU PROJET DE VALORISATION DE L'ENS	4
1.3 PROBLEMATIQUE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE DES SOLS ET DE LA VEGETATION	5
1.3.1 <i>Problématique</i>	5
1.3.2 <i>Objectifs</i>	6
2. DEMARCHE METHODOLOGIQUE DE L'ETUDE	7
2.1 STRATEGIE SUIVIE.....	7
2.2 IDENTIFICATION DE LA ZONE D'ETUDE AU SEIN DE L'ENS ER VARQUEZ.....	7
2.3 ELABORATION DU PLAN D'ECHANTILLONNAGE.....	8
2.4 COLLECTE DES DONNEES TERRAIN POUR LA PHYTOSOCIOLOGIE ET LA PEDOLOGIE.....	12
2.4.1 <i>Cadrats pour relevés de végétation</i>	12
2.4.2 <i>Sondages pour la caractérisation in-situ des propriétés de sols</i>	12
2.4.3 <i>Prélèvements pour analyses en laboratoire des paramètres physico-chimiques des sols</i>	14
2.5 RESSOURCES ET MOYENS MOBILISES	16
2.5.1 <i>Acteurs</i>	16
2.5.2 <i>Matériel et documentation</i>	17
2.5.3 <i>Planification</i>	17
2.6 CADRE CONCEPTUEL RETENU	18
2.7 LIMITES DE L'ETUDE, DIFFICULTES ET SOLUTIONS ENVISAGEES.....	18
3. ETAT DES CONNAISSANCES DISPONIBLES	19
3.1 CADRE JURIDIQUE ET REGLEMENTAIRE.....	19
3.1.1 <i>Patrimoine écologique</i>	19
3.1.2 <i>Patrimoine archéologique</i>	19
3.2 ELEMENTS D'INFORMATION CONCERNANT LES VOIETS ENVIRONNEMENTAUX.....	20
3.2.1 <i>Volet Paysager</i>	20
3.2.2 <i>Volet végétal</i>	22
3.2.3 <i>Volet pédologique</i>	26
3.2.4 <i>Volet géomorphologique et topographique</i>	27
3.2.5 <i>Volet hydrographique</i>	28
3.2.6 <i>Volet climatique</i>	28
3.3 EVOLUTION DU PAYSAGE	29
3.3.1 <i>Retour vers le paléo-environnement</i>	29
3.3.2 <i>Passage préhistorique vers l'antiquité</i>	29
3.3.3 <i>Arrêt moyenâgeux direction renaissance</i>	29
3.3.4 <i>Pause post-révolution pour injection de modernisme</i>	30
3.3.5 <i>Arrivée à nos jours</i>	35
3.4 RETOURS D'EXPERIENCES D'AUTRES PROJETS MORBIHANNAIS SIMILAIRES	38
3.4.1 <i>Carnac</i>	38
3.4.2 <i>Monteneuf</i>	40
3.4.3 <i>La Vraie Croix</i>	43

4. ANALYSE, DESCRIPTION ET SYNTHÈSE DES DONNÉES REUNIES	45
4.1 VEGETATION	45
4.1.1 Unités homogènes de végétation	45
4.1.2 Relevés phytosociologiques	55
4.2 SOLS	58
4.2.1 Caractérisation in-situ	58
4.2.2 Analyses physico-chimiques	69
4.3 ANALYSES CROISEES ET MISE EN EVIDENCE DES RELATIONS SOL / VEGETATION	78
4.3.1 Tableaux de contingence	78
4.3.2 Analyses multi-dimensionnelle	81
4.4 SYNTHÈSE SUR LES POTENTIALITES DE RESTAURATION DE LANDES	83
5. ORIENTATIONS ET DISCUSSIONS SUR LES POTENTIALITES ECOLOGIQUES	85
5.1 SCENARIOS ENVISAGEABLES SUR LA RESTAURATION DES LANDES	85
5.2 PRECONISATIONS SUR LES MODALITES ET LEVIERS DE RESTAURATION / GESTION	93
5.2.1 Restauration	93
5.2.2 Gestion	94
5.2.3 Suivi	95
5.3 PERSPECTIVES ET POINTS DE VIGILANCE	95
5.3.1 Points à développer	95
5.3.2 Facteurs d'incertitudes sur les trajectoires de végétation	97
5.3.3 Critiques méthodologiques et prise de recul sur les résultats	98
CONCLUSION	99
BIBLIOGRAPHIE	100
WEBOGRAPHIE	103
GLOSSAIRE	
TABLE DES ILLUSTRATIONS	
TABLE DES MATIERES	
ANNEXES	

ANNEXES

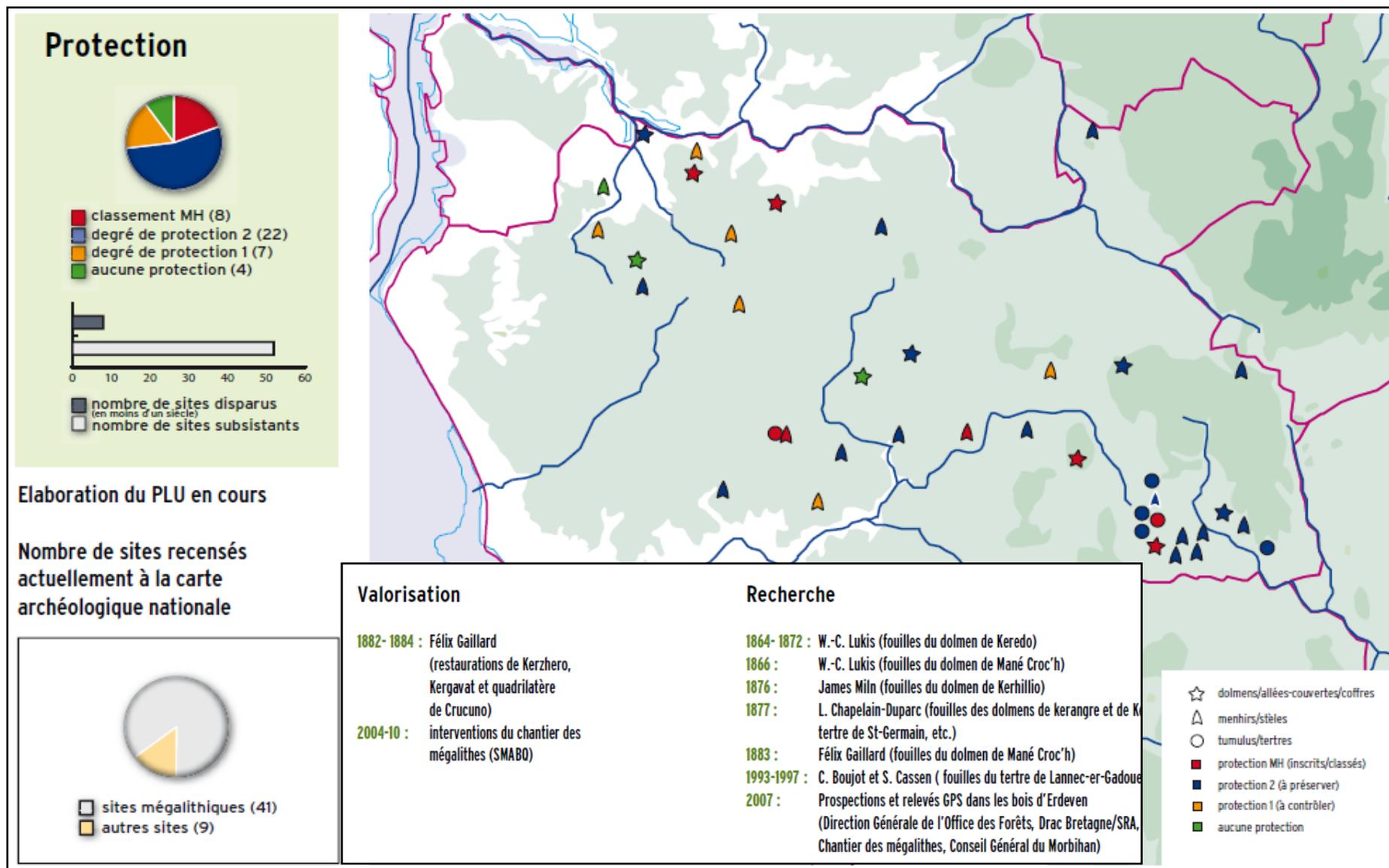
SOMMAIRE

La liste des documents additionnels, cités dans le corps du rapport d'étude, est la suivante :

ANNEXE I : FICHE « ERDEVEN » DU PROJET DE CANDIDATURE UNESCO ET PRECISIONS ARCHEOLOGIQUES	1
ANNEXE II : CARTE GEOLOGIQUE DE LA ZONE D'ETUDE	3
ANNEXE III : CARTE DES SOLS DE LA ZONE D'ETUDE EN 1980	4
ANNEXE IV : MODELE NUMERIQUE DE TERRAIN DE LA ZONE D'ETUDE	6
ANNEXE V : CARTE DES HABITATS NATURA2000 DE LA ZONE D'ETUDE	7
ANNEXE VI : CARTE DES HABITATS DE LA ZONE D'ETUDE	8
ANNEXE VII : PRECISIONS ET DOCUMENTS POUR LA CAMPAGNE DE COLLECTE DES DONNEES TERRAIN	9
ANNEXE VIII : INFORMATIONS COMPLEMENTAIRES SUR LE CADRAGE DE L'ETUDE	16
ANNEXE IX : CARTE DES PERIMETRES DE PROTECTIONS ENVIRONNEMENTALES DE LA ZONE D'ETUDE	24
ANNEXE X : COMPLEMENT D'INFORMATIONS SUR LES VOLETS ENVIRONNEMENTAUX DE LA ZONE D'ETUDE	25
ANNEXE XI : TABLEAU PHYTOSOCIOLOGIQUE BRUT	27
ANNEXE XII : INFORMATIONS SUR L'ANALYSES MULTI-DIMENSIONNELLE	28

Annexe I : Fiche « Erdeven » du projet de candidature UNESCO et précisions archéologiques

(Source : extrait du projet de candidature UNESCO des paysages mégalithiques de Carnac et du sud du Morbihan, DRAC Bretagne, 2010)



Les ensembles mégalithiques d'Erdeven étant proches de ceux très connus des alignements de Carnac, ils ont rapidement intéressé les archéologues (inventaires, fouilles, restaurations, etc.) (*Dardignac & Leroux, 2007*). En effet, depuis le milieu du XIX^{ème} siècle, leurs opérations ne cessent de confirmer que la commune d'Erdeven recèle un patrimoine mégalithique important, bien qu'il fût victime de dégradations et de destructions.

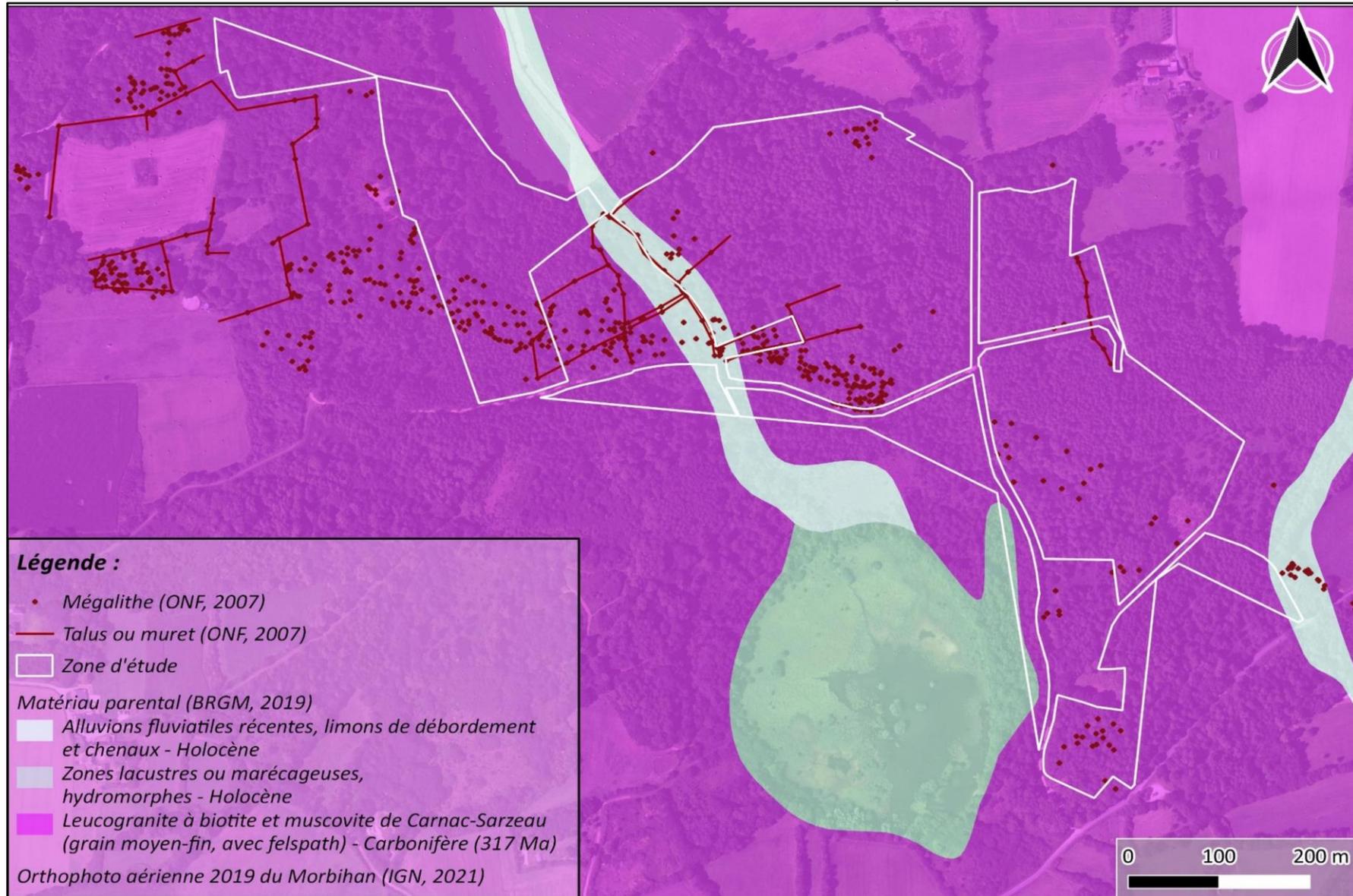
Aujourd'hui, ces ensembles remarquables de menhirs, lieux d'ésotérisme et de pratiques diverses, sont enregistrés sur la base de données archéologique PATRIARCHE (*Delphine Aubin lors d'une visite de l'ENS Er Varquez, 26/04/2021*). On y trouvera notamment des enceintes de menhirs, des dolmens (tombe à couloir), ou encore des tumulus (caveaux sous tertres) (*DRAC Bretagne, 2010*). Des liens physiques et interrelations ont également été détectés entre ces ensembles spectaculaires pour certains, mais discrets et fragiles pour d'autres. C'est ainsi qu'ils sont dorénavant considérés comme des alignements, constituant une diagonale est-ouest, dont l'emprise fait 2,7km depuis le lieux dit de Kerzerho jusqu'à celui de Bovelane.

Par ailleurs, le dernier inventaire de 2007, réalisé par les équipes de l'ONF en partenariat avec la DRAC et le CD56, a été complémentaire à ce travail historique très fourni (*Dardignac & Leroux, 2007*). Il a aussi rappelé la nécessité d'entreprendre des actions de protection, d'entretien et de mise en valeur de ces vestiges, dont certains sont classés « monument historique ». Puis grâce à l'apport des nouvelles technologies numériques, il a donné une vision globale, mais précise, du patrimoine en place (géolocalisation de chaque élément mégalithique, etc.). L'impression de majesté de ces géants dominant les champs alentours, a effectivement été perdue et leur caractère monumental très réduit. Leur lecture étant de plus perturbée à bien des aspects, ces monuments nécessitent donc un aménagement pour retrouver leurs co-visibilités perdues (*De Bonduwe et Luzu, 2017*).

Enfin, des travaux plus récents dans le cadre de la candidature UNESCO, ont confirmé ces informations et enrichi les données collectées sur la zone (*Heddebaux, 2013*). Par exemple, il y a été fait de la télédétection par LIDAR, révélant l'emprise d'une nef plus grande que connue sous Mané Croch (*Delphine Aubin lors d'une visite de l'ENS Er Varquez, 26/04/2021*). Puis l'hétérogénéité de l'état des monuments est également ressortie, avec par exemple des zones habitées mieux entretenues, ou avec l'érosion de certains sols due au piétinement des visiteurs.

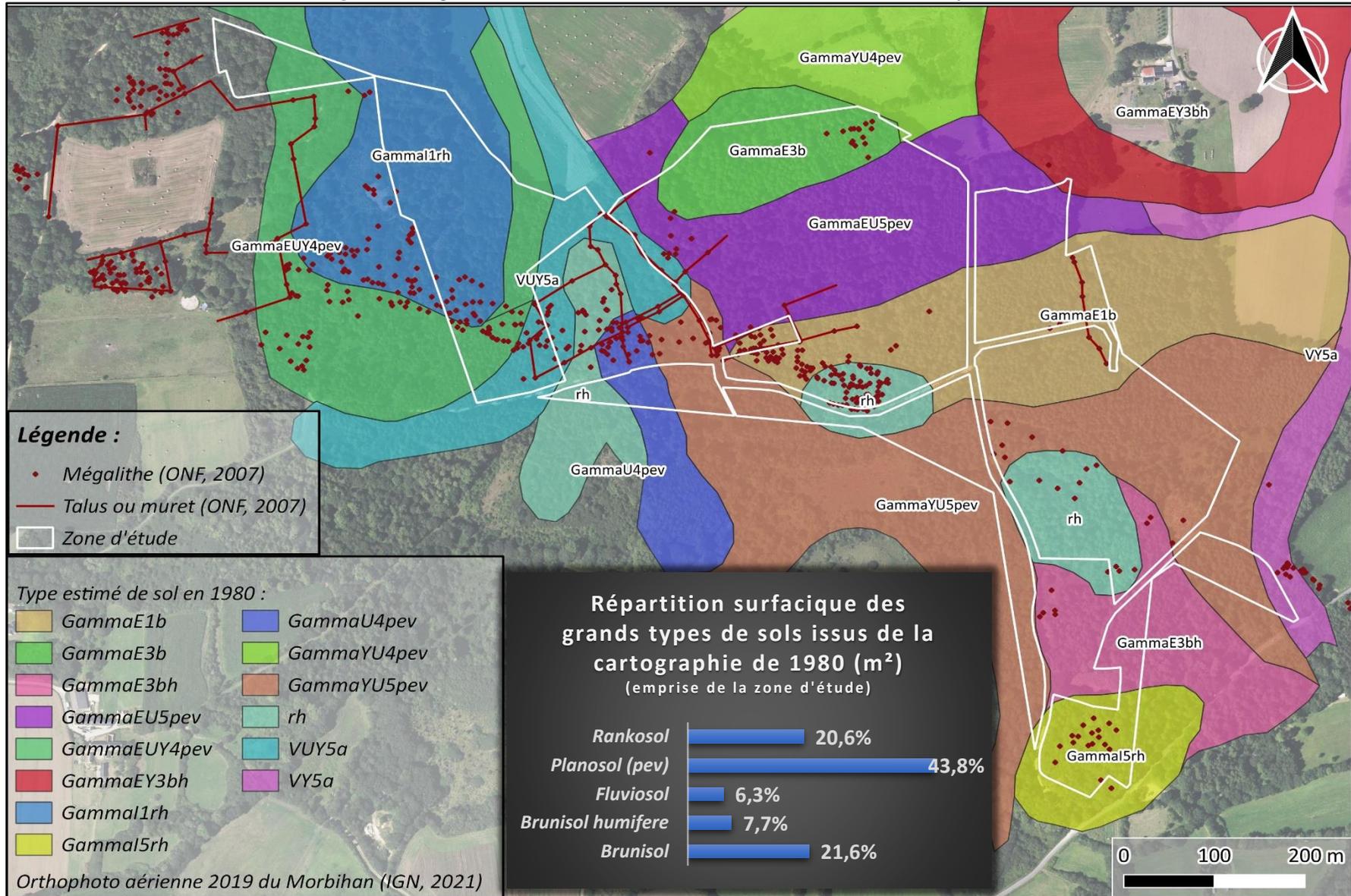
Annexe II : Carte géologique de la zone d'étude

(Source : extrait de la base de données CHARM-50, BRGM Infoterre, 2019)



Annexe III : Carte des sols de la zone d'étude en 1980

(Source : extrait photo-interprété et numérisé de la carte à main levée des sols d'Auray, J-M. RIVIERE, 1980)



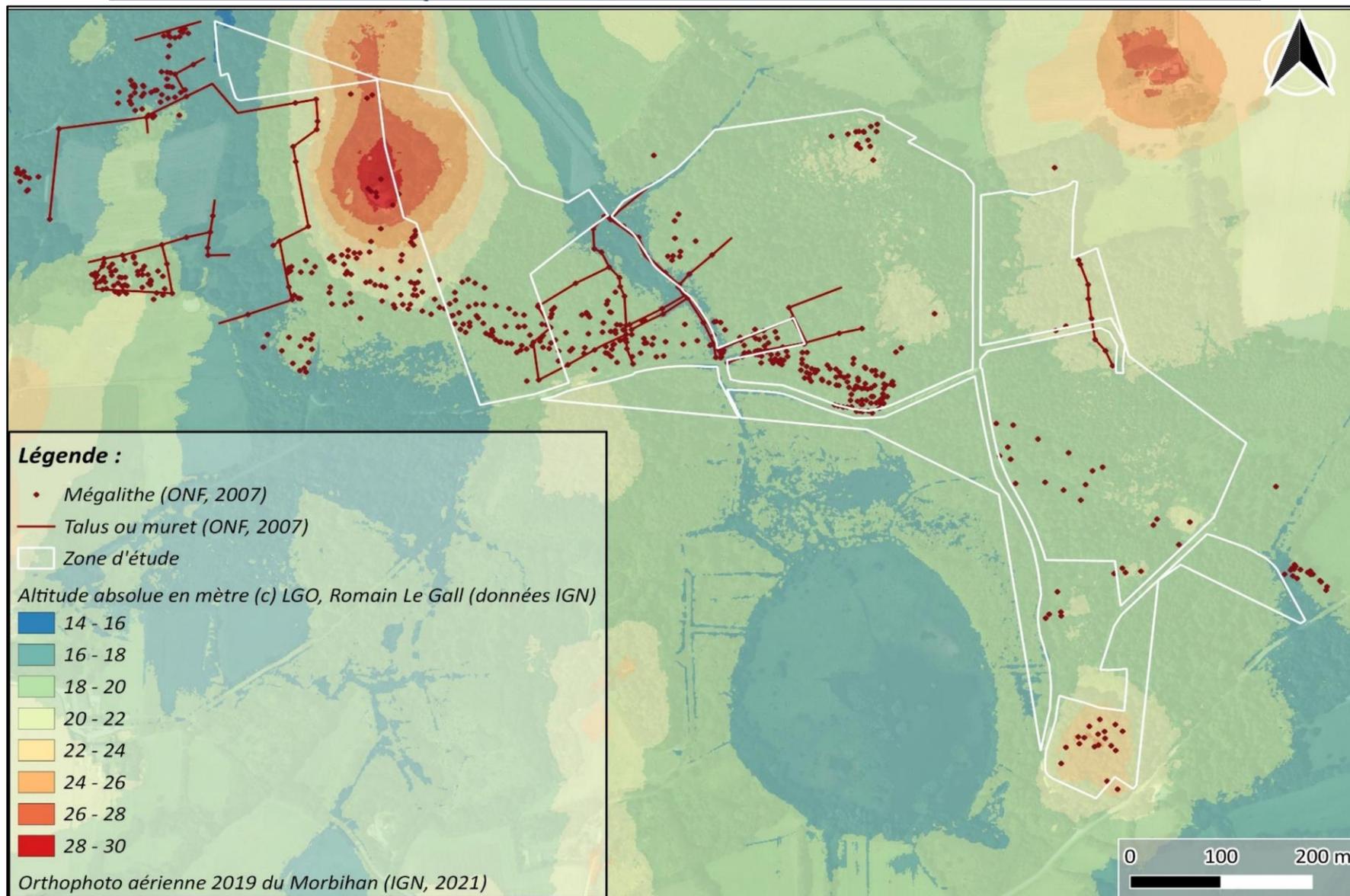
Elément de code	Signification
<i>Gamma</i>	Roche mère granitique
<i>V</i>	Alluvions
<i>U</i>	Texture Argile Sable
<i>E</i>	Texture Limon Sable
<i>Y</i>	Texture Sable Argile
<i>I</i>	Texture Sable Limon
<i>1</i>	Hydromorphie absente
<i>3</i>	Hydromorphie présente avec pseudo-gley > 40 cm de profondeur
<i>4</i>	Hydromorphie présente avec pseudo-gley < 40 cm de profondeur
<i>5</i>	Hydromorphie présente avec pseudo-gley < 40 cm de profondeur voir en surface
<i>b</i>	Sol brun
<i>bh</i>	Sol brun humifère (fréquent en zone côtière avec MO entre 5 et 8% jusqu'en profondeur, signifiant une minéralisation naturelle très lente et non par apports de fumier)
<i>pev</i>	Sol peu évolué (sans lessivage même si la texture le rappelle, signifiant que l'argile est un autre matériau issu d'un ancien sol méditerranéen à tropical, aujourd'hui appelé planosol)
<i>rh</i>	Sol type ranker humifère très peu épais avec imprégnation de MO
<i>a</i>	Sol d'apports actuels d'alluvions éoliens des dunes, des rivières ou de la mer

Figure 67 : nomenclature de la codification de la carte des sols de 1980 de la zone d'étude (Source : J-M RIVIERE, 1980)

Nota bene : Carte non répertoriée car non finalisée à l'époque, mais relevés manuels très détaillés, quoique difficiles à lire sur l'exemplaire brut. Par ailleurs, il y a eu entre temps un changement de langage via l'évolution de la réglementation française de pédologie, avec notamment des pseudo-gleys qui sont maintenant appelés horizons rédoxiques et des gleys appelés horizons réductiques.

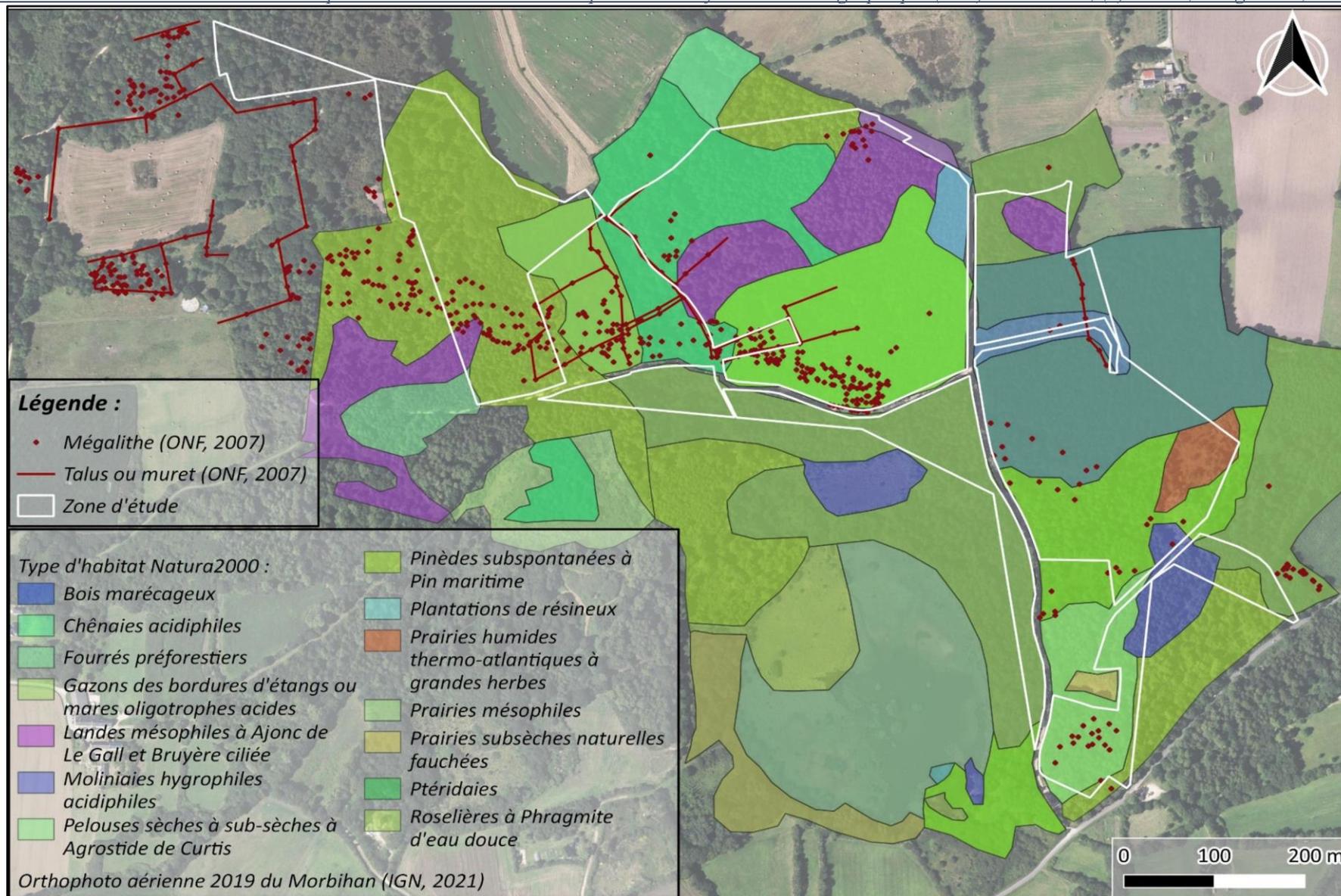
Annexe IV : Modèle numérique de terrain de la zone d'étude

(Source : extrait de la BdD numérique RGE ALTI 1m, (c) Laboratoire Géosciences Océan, Romain Le Gall, données IGN, 2017)



Annexe V : Carte des habitats Natura2000 de la zone d'étude

(Source : extrait des données numériques issues de la BdD numérique Base d'Information Géographique (BIG) HABITATS, (c) CBNB, Bougault C, 2016)



Annexe VI : Carte des habitats de la zone d'étude

(Source : extrait de l'inventaire et cartographie de la flore et des habitats de végétation, C. Blond, 2016)





Fiche de description de la végétation

INFORMATIONS DIVERSES

Projet concerné : Valorisation ENS Varquez

Commanditaire de l'étude : Conseil Départemental du Morbihan

Adresse du site d'observations : lieu-dit Er Varquez, route de Crucuno - 56410 Erdeven

DONNEES PONCTUELLES DE L'OBSERVATION

Identifiant : EVE_Vege_ **Date (jj/mm/aaaa) :** / / 2021

Coordonnées GPS : Lat = ; Long = ; Précision (m) =

Ou numéro de repère sur carte / ortho-photo aérienne au 1/5000ème :

Observateur réalisant le relevé :

Numéro de photo témoin :

DONNEES STATIONNELLES DU RELEVÉ

Surface du relevé (m²) : **Et / Ou dimensions (m) :**

Description floristico-écologique du milieu :

Physionomie du milieu : forêt fourré fourré nain

végétation herbacée végétation bryo-lichénique végétation aquatique

Morphologie / Topographie : plat / replat pente creux / dépression

fond de vallon escarpement bosse / sommet

Position dans le versant : haut mi-hauteur bas talus

Pente (°) : **Altitude (m) :**

Exposition : N NE E SE S SO O NO indifférente

Luminosité : lumière mi-ombre ombre

Maturité : juvénile mature senescent

Commentaires (marqueurs de gestion / d'actions biotiques / autres) :

Contact dynamique :

Contact écologique :

Document inspiré et adapté de la « Fiche de relevé phytosociologique » du programme « Connaissance des habitats du territoire d'agrément », Conservatoire Botanique National de Brest (Delassus, 2015 ; Laurent et al, 2015)

*Figure 69 : fiche de description de la végétation, pour chaque point échantillonné - recto
(Source : adaptée de la « Fiche de relevé phytosociologique » du programme « Connaissance des habitats du territoire d'agrément » ; Delassus, 2015 ; Laurent et al, 2015)*

Précisions relatives aux informations annotées

- Maturité = état de maturité ou de développement dans lequel l'unité de végétation homogène se trouve (prévention des biais liés aux zones transitoires de succession / régression / dégénération / régénération). Il s'agira d'une zone juvénile non saturée en espèces (absence d'individus matures / sénescents) ; ou d'une zone mature saturée en espèces (présence individus juvéniles / matures / sénescents), avec individus des espèces dominantes bien développés et accomplissent leur cycle de vie complet ; ou encore d'une zone sénescence non saturée en espèces (absence d'individus juvéniles), avec individus des espèces dominantes moribonds voire morts ;
- Commentaires = texte libre complémentaire aux informations figurant dans le reste du document, concernant des indices / marqueurs qui apporterait une aide à leur interprétation. Il peut s'agir de préciser une influence d'origine anthropique (inconnue / aucune / culture / pâturage / fauche / curage / extraction de sol / tourisme / randonnée), ou d'actions biotiques animales, de colonisation par une espèce invasive, etc. ;
- Contact dynamique = végétation en contact de la zone relevée, c'est-à-dire à moins de 25m, se développant dans les mêmes conditions écologiques mais précédant ou succédant la zone dans sa dynamique. Indiquer le groupement phytosociologique correspondant ;
- Contact écologique = végétation en contact de la zone relevée, c'est-à-dire à moins de 25m, se développant dans un contexte écologique différent (peut être à la lié topographie, l'humidité, la géologie et le type de roches mère, etc..). Indiquer la description floristico-écologique correspondante.

Précautions particulières relatives aux mégalithes présents sur la zone d'étude

Qu'ils soient dressés ou couchés, les enjeux de conservation des ensembles mégalithiques (patrimoine archéologique), impliquaient une certaine prudence dans cette campagne de terrain. Cela s'est traduit par la génération et l'application de règles, prises en compte aussi bien à l'échantillonnage, que par la suite durant la campagne terrain. Ces points d'attention et le plan d'échantillonnage ont été validés par le Service Régional d'Archéologie (C. BOUJOT).

Par conséquent, les précisions méthodologiques ci-dessous ont été formalisées pour éviter toute opération à proximité d'un quelconque mégalithe :

- La faible densité d'échantillonnage à l'échelle d'un hectare (4 trous / ha maximum), permettait de trouver facilement des zones à sonder qui étaient dépourvues de mégalithes ;
- Les points échantillonnés ont été décalés de quelques mètres par défaut sur le plan, par rapport aux mégalithes géolocalisés dans l'inventaire ONF / SRA réalisé en 2007 (données SIG utilisées) (*Dardignac et Leroux, 2007*) : la présence d'une fosse de calage en dessous et autour d'un mégalithe (pierres + terre sur un rayon variable de quelques mètres), biaiserait le sondage qui deviendrait alors inexploitable ;
- Un décalage de quelques mètres du sondage pédologique était fait lorsqu'un mégalithe, non localisé sur SIG et à proximité d'un sondage à la tarière, était repéré. Les prélèvements ayant suivi la même consigne d'éloignement (cf. §4) ;
- La présence d'une personne du service archéologique du département du Morbihan était prévue lors de cette phase, afin d'accompagner les sondages pédologiques.

Fiche de description des sols

INFORMATIONS DIVERSES ET DONNEES PONCTUELLES DE L'OBSERVATION

Projet concerné : Valorisation ENS Varquez

Commanditaire de l'étude : Conseil Départemental du Morbihan

Adresse du site d'observations : lieu-dit Er Varquez, route de Crucuno - 56410 Erdeven

Identifiant du point échantillonné : EVE_Sol_

Date du sondage : / / 2021

Coordonnées GPS du point sondé : Lat =

Long =

Précision (m) =

Ou numéro de repère sur carte / ortho-photo aérienne au 1/5000ème :

Opérateur déterminant le profil :

Numéro de photo témoin :

Environnement du point sondé :

Morphologie locale	Localisation dans le versant	Pente	Exposition	Météorologie			Caractéristiques hydriques		
				Nature	Intensité	Durée	Régime hydrique	Régime de submersion	
1. Sur une bosse 2. Dans un creux 3. Sur une pente régulière 4. Sur un replat	1. Au bas 2. Au tiers inférieur 3. A mi-hauteur 4. Au tiers supérieur 5. Au sommet	%	N, NE, E, SE, S, SO, O, NO	1. Pluie 2. Sec 3. Sécheresse 4. Variable	1. Faible 2. Moyenne 3. Forte	1. Les jours précédents 2. Les semaines précéd.	1. Saturé en permanence 2. Saturé chaque jour 3. Saturé de manière saiso. 4. Humide en perm. 5. Sec de manière saiso. 6. Continuellement sec	0. Apparemment jamais 1. De manière saisonnière 2. Chaque jour 3. En permanence	

Type d'humus :

1. Mor 1.1 Lithomor ; 1.2 Peyromor ; 1.3 Hydromor ; 1.4. Hemimor ; 1.5 Eu-mor ; 1.6 Humimor
2. Moder 2.1 Lithomoder ; 2.2 Peyromoder ; 2.3 Hydromoder ; 2.4 Hemimoder ; 2.5 Eu-moder ; 2.6 Dysmoder ; 2.7 Humimoder
3. Mull 3.1 Peyromull ; 3.2 Hydromull ; 3.3 Eumull ; 3.4 Mésomull ; 3.6 Oligomull ; 3.7 Dysmull
4. Anmoor
5. Amphimus 5.1 Litho-amphimus ; 5.2 Peyro-amphimus ; 5.3 Eu-amphimus ; 5.4 Dys-amphimus

Profil synthétique de sol :

Formes d'humus	
Epaisseur OL (cm)	
Epaisseur OF (cm)	
Epaisseur OH (cm)	
OF zoogène (O/N)	
OH zoogène (O/N)	
Horizon A biostructuré (O/N)	
Horizon A rédoxique (O/N)	
pH horizon A	

Hydromorphie		Prof. d'app.	
Prof. Appa	Intensité	Hz C	Hz R ou M
cm	0. Absence		
	1. Faible		
	2. moyenne		
	3. Forte		
cm			
cm			

Code 4 critères				
Substrat				
Hydromorphie				
Type de Solum				
Profondeur				
Type d'humus				

*Figure 71 : feuille de description du profil de sol utilisée pour chaque sondage – recto
(Source : adapté du Référentiel Régional Pédologique de Bretagne, programme « Sols de Bretagne », Agrocampus Ouest 2015)*



Fiche d'identification d'échantillon de sol

INFORMATIONS DIVERSES

Projet concerné : Valorisation ENS Varquez

Commanditaire de l'étude : Conseil Départemental du Morbihan

Adresse du site des prélèvements : lieu-dit Er Varquez, route de Crucuno - 56410 Erdeven

DONNEES PONCTUELLES DU PRELEVEMENT

Identifiant : EVE_Vege_ **Date (jj/mm/aaaa) :** / / 2021

Coordonnées GPS : Lat = ; Long = ; Précision (m) =

Ou numéro de repère sur carte / ortho-photo aérienne au 1/5000ème :

Observateur réalisant le relevé :

Profondeur de prélèvement : 0-10 cm 20-40 cm

ANALYSES A REALISER

- Granulométrie¹ + CEC² + Cations échangeables³ + Taux de saturation + Aluminium échangeable par Kcl
- Phosphore extractible⁴ + pH eau⁵ + ph KCl⁵ + Rapport C / N + C organique⁶ + N total⁷
- pH eau⁵ + ph KCl⁵ + Rapport C / N + C organique⁶ + N total⁷

1 : méthode NFX 31107

2 : méthode par chlorure de Cobalt Hexamine NF ISO23470

3 : méthode cobaltihexamine NF EN 31-130

4 : méthode Dyer NFX 31-160

5 : méthode NF ISO 10390

6 : méthode par combustion NF 19694 ou 10694

7 : méthode NF ISO 13878

Figure 73 : fiche de renseignements incluse dans chaque sachet à analyser en laboratoire

Annexe VIII : Informations complémentaires sur le cadrage de l'étude

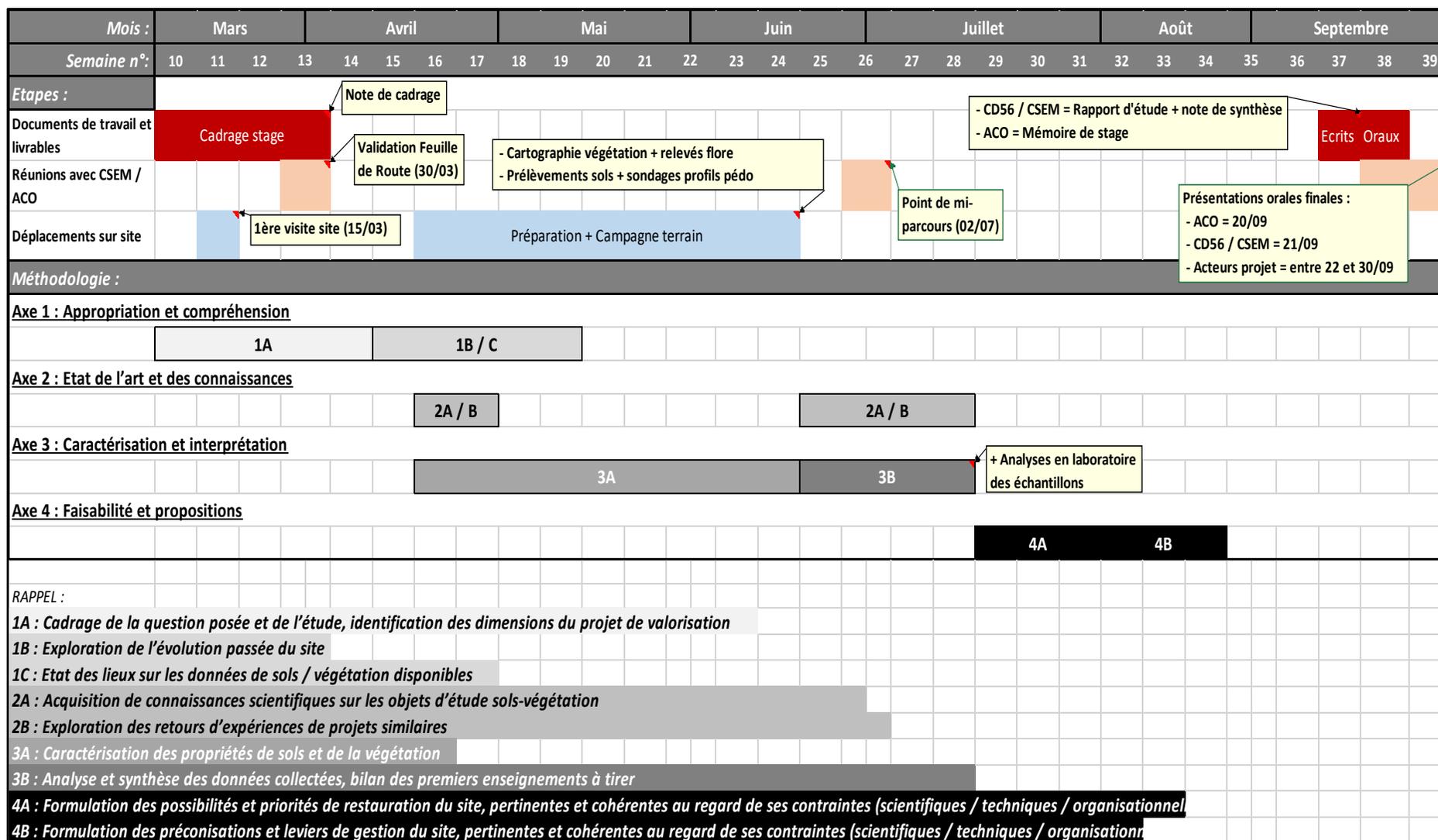
Acteurs consultés

Nom	Prénom	Fonction(s)	Structure(s)
<i>AGOGÉ</i>	<i>Olivier</i>	Administrateur des monuments nationaux de Bretagne et Directeur du Musée de la Préhistoire de Carnac : pour les retours d'expérience sur ce site et la gestion des sites mégalithiques en termes d'entretien de la végétation	Centre des Monuments Nationaux Musée de la Préhistoire de Carnac
<i>AUBIN</i>	<i>Delphine</i>	Chargée de mission culture : pour la gestion des chantiers d'insertion des mégalithes et l'entretien de la végétation de l'ENS Er Varquez	Intercommunalité Auray Quiberon Terre Atlantique
<i>BELLONCLE</i>	<i>Jean-Louis</i>	Chargé de mission milieux aquatiques : tuteur professionnel du stage	Service de l'Eau, de l'Aménagement Foncier et des Espaces Littoraux, Département du Morbihan
<i>BLOND</i>	<i>Cyril</i>	Naturaliste-écologue : pour les retours d'expérience et des données SIG, ayant réalisé l'inventaire de la flore de l'ENS Er Varquez	Indépendant
<i>BOUJOT</i>	<i>Christine</i>	Ingénieure de recherches archéologiques : pour son expertise des mégalithes et les précautions à prendre dans cette étude vis-à-vis de ce patrimoine, ayant déjà réalisé des fouilles sur les alignements d'Erdeven	Service Régional d'Archéologie, Direction Régionale des Affaires Culturelles de Bretagne
<i>BOUTEILLER</i>	<i>Yolaine</i>	Cheffe de l'unité NFC : pour les aspects juridiques / réglementaires et l'étude d'impacts	Unité Nature-Forêt-Chasse, Direction Départementale des Territoires et de la Mer du Morbihan
<i>CHAUVIÈRE</i>	<i>Romain</i>	Directeur adjoint à l'aménagement : en supervision sur le projet de valorisation de l'ENS Er Varquez	Direction des Routes et de l'Aménagement, Département du Morbihan
<i>CLÉMENT</i>	<i>Bernard</i>	Enseignant-chercheur en écologie végétale et membre du CSEM : pour son expertise en phytosociologie / indicateurs fonctionnels / dynamique des écosystèmes / landes / tourbières / ZH	Laboratoire écosystèmes-biodiversité-évolution, Université Rennes 1 Conseil Scientifique de l'Environnement du Morbihan
<i>COUESPEL</i>	<i>Thierry</i>	Chargé de mission et gestionnaire de l'ENS Er Varquez : pour ses retours d'expérience de gestion du site et son historique	Service des Espace Naturels Sensibles et Randonnées, Département du Morbihan

<i>DANIEL</i>	<i>Franck</i>	Chargé de mission milieux aquatiques : tuteur professionnel du stage	Service de l'Eau, de l'Aménagement Foncier et des Espaces Littoraux, Département du Morbihan
<i>DE BONDUWE</i>	<i>Erwan</i>	Architecte Paysagiste du projet d'aménagement des alignements mégalithiques d'Erdeven : pour ses retours d'expérience sur l'approche des problématiques liées à ce projet	Bureau d'étude TIRIAD
<i>DOUILLARD</i>	<i>Benoît</i>	Chargé de mission de l'information géographique : pour son expertise sur la réalisation de cartographies et gestion de données SIG	Service d'Information Géographique des Routes et de l'Aménagement, Département du Morbihan
<i>GALLET</i>	<i>Sébastien</i>	Enseignant chercheur en biologie : pour ses retours d'expérience du suivi écologique à Carnac et notamment sur le pâturage	Laboratoire Géo-architecture, Territoires, Urbanisation, Biodiversité, Environnement, UFR Science de l'Université de Bretagne Occidentale
<i>GOUBERT</i>	<i>Evelyne</i>	Enseignante chercheuse en géosciences marines et géomorphologie littorale : pour son expertise en géologie / géomorphologie	Laboratoire Géosciences Océan, Université de Bretagne Sud
<i>HAURY</i>	<i>Jacques</i>	Enseignant-chercheur en écologie végétale et aménagement / hydrosystèmes continentaux / invasions biologiques : référent pédagogique	UMR INRAE-Agrocampus Ouest, Ecologie et Santé des Ecosystèmes, Laboratoire Ecologie et Santé des Plantes
<i>HEDDEBAUX</i>	<i>Emilie</i>	Chargée de mission culture et restauratrice du patrimoine : pour son expertise des mégalithes dans le cadre de la candidature UNESCO	Association Paysages de Mégalithes de Carnac et du Sud du Morbihan
<i>LAURENT</i>	<i>Elise</i>	Botaniste-Phytosociologue : pour son expertise de la relation sol-végétation	Conservatoire Botanique national de Brest
<i>LEMERCIER</i>	<i>Blandine</i>	Ingénieure de recherches en science du sol : pour son expertise en cartographie des sols et bases de données SIG	UMR INRAE-Agrocampus Ouest, Sol Agro et hydrosystème Spatialisation, Laboratoire Milieu Physique / Paysage / Territoire Agrocampus ouest
<i>MEROT</i>	<i>Philippe</i>	Directeur de recherche en agronomie et hydrologie : pour son expertise en science du sol / hydrologie / bocage / ZH Membre du Conseil Scientifique de l'Environnement du Morbihan	Professeur consultant à Agrocampus Ouest CSEM
<i>MICHOT</i>	<i>Didier</i>	Enseignant-chercheur en science du sol / géophysique / gestion des déchets : référent pédagogique	UMR INRAE-Agrocampus Ouest, Sol Agro et hydrosystème Spatialisation, Laboratoire Milieu Physique / Paysage / Territoire Agrocampus ouest
<i>MORIN</i>	<i>Emmanuelle</i>	Responsable du SENSR : tuteur professionnel du stage	Service Espaces Naturels Sensibles et Randonnées, Département du Morbihan

<i>MORVAN</i>	<i>Nathalie</i>	Déléguée territoriale : pour les aspects juridiques / réglementaires et l'étude d'impacts	Service biodiversité, DDTM du Morbihan
<i>PERIGNON</i>	<i>Laurent</i>	Gestionnaires d'ENS : pour ses retours d'expérience de gestion de sites	Service Espaces Naturels Sensibles et Randonnées, Département du Morbihan
<i>SEBAG</i>	<i>Déborah</i>	Responsable du SDA : pour son expertise sur l'approche et les enjeux concernant le patrimoine archéologique	Service Départemental d'Archéologie, Département du Morbihan
<i>TAUDIN</i>	<i>Manon</i>	Agent technique ONF : pour la gestion de l'ENS Er Varquez et son suivi en lien avec le régime forestier	Office National des Forêts
<i>WALTER</i>	<i>Christian</i>	Enseignant-chercheur en science du sol, Ingénieur agronome et Directeur d'UMR	UMR INRAE-Agrocampus Ouest, Sol Agro et hydrosystème Spatialisation, Laboratoire Milieu Physique / Paysage / Territoire Agrocampus ouest

Diagramme de Gantt simplifié



Précisions sur le champ lexical :

Concept abordé	Éléments de compréhension
➤ Aménagement (<i>Bioret et al, 2009</i>)	Organisation, transformation et adaptation active d'un espace aux besoins d'un groupe d'individus et par extension de la société (nature, sol, bâti, équipements, services, activités). Il implique d'étudier ces besoins et cet espace pour en exploiter rationnellement les ressources (gestion, conservation, protection), mais aussi pour définir des objectifs cohérents et les moyens de les atteindre.
➤ Conservation (<i>Bioret et al, 2009</i>)	Planification globale et intégrée, pluridisciplinaire et multisectorielle des activités humaines, relative à l'utilisation et la préservation de quelque chose (patrimoine culturel, biodiversité et toute entité écologique d'un espace naturel, ressources).
➤ Déboisement (<i>Ramade, 1993</i>)	Pratique de destruction partielle des espèces ligneuses d'une zone donnée, dans le but de l'éclaircir ou de stimuler le reboisement (exemples : éêtage, essartage, coupe).
➤ Défrichement (<i>Bioret et al, 2009</i>)	Opération volontaire de coupe totale d'un espace boisé, conduisant à la suppression de son état boisé et sa destination forestière (exemples : mise en culture, modification de la flore). Cet acte souvent associé à la déforestation, est soumis à autorisation en fonction de la surface considérée (minimum de 0,5 à 4ha suivant l'organisme valideur).
➤ Espèce invasive (<i>CBNB, 2009 ; Bioret et al, 2009</i>)	Espèce exotique venant coloniser et nuire un nouvel écosystème / domaine géographique (exemple : Herbe de la Pampa autour de l'étang du Varquez).
➤ Espèce proliférante (<i>CBNB, 2009</i>)	Espèce autochtone envahissant et recouvrant la majorité de son habitat naturel, au dépend des autres espèces et suite à une perturbation extérieure (exemple : Fougère aigle).
➤ Gestion (<i>Bioret et al, 2009</i>)	Ensemble des démarches intellectuelles et pratiques, procédures et politiques, pour assurer la protection et la conservation d'un espace naturel et son bon fonctionnement. Elle peut être non interventionniste à totalement, adaptative / conservatoire / différenciée / intégrée.

➤ Ouverture de la végétation	Ensemble d'actions et de techniques ayant pour objectif de diminuer le taux de fermeture d'un milieu, principalement avec diminution de la surface foliaire / terrière, par débroussaillage / déboisement.
➤ Paysage (<i>Bioret et al, 2009 ; Ramade, 1993</i>)	Structure horizontale hétérogène et complexe, composé d'un ensemble d'écosystèmes interactifs, vivant et évolutif, mais finalement modelé par l'humain. Il comprend la matrice donnant la physionomie dominante, les ilots (éléments différenciés de la matrice), ou encore les corridors (éléments linéaires de connectivité ou écotone).
➤ Potentialité écologique (<i>Ramade, 1993</i>)	Possibilité d'un milieu ayant certaines conditions climatiques / édaphiques / géologiques favorables à l'implantation / accroissement naturel d'une espèce et sa population.
➤ Production primaire (<i>Bioret et al, 2009 ; Ramade, 1993</i>)	Quantité de chaleur obtenue par combustion d'une quantité de biomasse, correspondant à la quantité d'énergie reçue par le soleil (en calorie, équivalent énergétique de la photosynthèse), pour fabriquer le tissu vivant (reproduction, croissance, stockage, métabolisme, mouvement).
➤ Reboisement (<i>Ramade, 1993</i>)	Substitution de plantations monospécifiques, très souvent résineuses, à des forêts climaciques ou subspontanées.
➤ Restauration (<i>Bioret et al, 2009 ; Ramade, 1993</i>)	Correction volontaire de la trajectoire d'un écosystème dégradé / détruit par la pression anthropique, après maîtrise de la source de perturbation, pour le reconstituer et retourner à un état originel ou transitoire acceptable (réhabilitation). Elle mobilise souvent l'emploi de méthodes actives en prévention et accompagnement de la régénération naturelle (ou passive par la résilience et la mise en défense de l'espace concerné).
➤ Système landicole (<i>CBNB, 2017</i>)	Ecosystème avec la physionomie typique d'une lande, des conditions climatiques / édaphiques / géologiques lui étant favorable, mais recouvert d'une végétation plus ordinaire pouvant provenir d'un ensemencement naturel ou de réserves de diaspores rapportées (exemple : tourisme). Ces espaces sont souvent menacés par les différents usages et perturbations passées puis leur abandon, devant être entretenus après restauration active.

<p>➤ Trajectoire de végétation</p>	<p>Evolution naturelle probable d'un ensemble de végétaux défini, dans l'espace et le temps, pour des conditions spécifiques et stables d'un milieu. Elle est donnée à partir d'hypothèses et d'un scénario global concernant ce milieu, ainsi de l'aménagement et de la gestion qui en est faite.</p>
<p>➤ Unité homogène de végétation (Colombet, 2006 ; Delassus, 2015 ; Laurent et Douard, 2017)</p>	<p>Ensemble de combinaisons ou d'associations répétitives et originales de plantes (communauté végétale ou groupement végétal), réunies en une station possédant les mêmes conditions climatiques / édaphiques / géologiques (aire et milieux déterminé), respectant donc la triple homogénéité floristique / physiologique / écologique. Légèrement différent d'une station forestière définie par l'homogénéité de toutes les conditions écologiques (y compris sol et relief).</p>

Anticipation des risques :

Difficultés	Solutions
<p>➤ <i>Gestion du temps</i></p>	<p>Le cadrage et le suivi du stage mis en place par l'équipe encadrante, devaient notamment servir à identifier la compatibilité du travail demandé avec le volume horaire attribué aux différents jalons de la présente mission, conduite en quasi-autonomie.</p>
<p>➤ <i>Gestion de l'information</i></p>	<p>Le cadrage et le suivi du stage mis en place par l'équipe encadrante, devaient notamment permettre d'anticiper les phénomènes de saturation de données et d'infobésité, conséquence probable de la pluridisciplinarité de la mission et de l'éparpillement dans le travail.</p>
<p>➤ <i>Disponibilité de l'équipe encadrante</i></p>	<p>Le cadrage et le suivi du stage mis en place par l'équipe encadrante (3 structures différentes), devaient notamment être conçus pour orienter, soutenir et accompagner au mieux l'étudiant, effectuant le maximum du travail en autonomie.</p>

<p>➤ <i>Coordination du travail</i></p>	<p>L'organisation de travail pour le projet comme pour la présente étude, était prévue pour être à l'épreuve du manque de recul et de connaissances requis pour ne pas opérer de mauvais choix en amont, à propos des orientations à prendre (désaccords et malentendus dus à la multitude de profils et champs d'interprétation).</p>
<p>➤ <i>Compréhension et maîtrise des outils / référentiels / méthodes</i></p>	<p>Le recrutement et le suivi de l'étudiant devaient être construit pour s'assurer de la cohérence du travail demandé avec le profil du stagiaire (capacités / compétences inadaptées ou insuffisantes).</p>
<p>➤ <i>Comportement des acteurs</i></p>	<p>L'organisation et les moyens mis en œuvre devaient être suffisants pour prendre contact avec les acteurs identifiés et se prémunir de toute indisponibilité / impossibilité de rencontre. Sachant de plus, que l'ensemble de ces personnes était favorable à l'avancée du projet de valorisation du site, aucune hostilité n'a été perçue pour empêcher / filtrer / déformer l'information délivrée.</p>
<p>➤ <i>Travail sur le terrain</i></p>	<p>La consultation des personnes ressources devait permettre de lever les interrogations et définir les meilleures méthodes vis-à-vis des restrictions / précautions à prendre, envers le patrimoine naturel et mégalithique. Certaines journées se sont en outre faites en binôme pour les phases terrains les plus difficiles. Enfin, l'accent a été mis sur l'anticipation et la préparation pour prévenir des problèmes d'accessibilité, de collecte ou de pertes d'informations.</p>
<p>➤ <i>Contexte sanitaire</i></p>	<p>Des notes de services concernant l'organisation du travail en confinement, ainsi qu'une dérogation de déplacement étaient mise à disposition par le CD56. En cas d'aggravation de la situation sanitaire et d'un durcissement des restrictions de liberté qui aurait impacté les risques précédents (confinement total / partiel), celles-ci pouvaient être mobilisées. Par ailleurs, les entretiens devaient se faire au maximum à distance, via des outils de communication téléphoniques ou de type visioconférences (Teams, Skype, Zoom, Outlook, Framadate, etc.).</p>

Annexe IX : Carte des périmètres de protections environnementales de la zone d'étude

(Source : extrait de la base de données Patrimoine naturel de Bretagne du serveur CARMEN, BRGM, 2021a)



Annexe X : Complément d'informations sur les volets environnementaux de la zone d'étude

N°UTS	Description	Dénomination	Position dominante dans le versant	Pente (°)	Occupation du sol dominante	Etendue estimée (%)
14	Sol peu épais à horizon de surface humifère issu de granite ou gneiss peu altéré	Rankosol	Sommet peu marqués		Bois, parfois cultures	5
65	Sol moyennement profond à l'horizon de surface humifère issu de granite ou gneiss à altérite sableuse ou sablo-limoneuse	Brunisol	Replats, versants à pente faible	3	Cultures, boisements	20
101	Sol profond à l'horizon de surface humifère issu de granite ou gneiss à altérite sableuse	Brunisol	Replats, versants à pente faible	3	Cultures, boisements	15
158	Sol profond hydromorphe après 50cm à l'horizon de surface humifère issu de granite ou gneiss à altérite sableuse	Brunisol-rédoxisol	Bas de versant	3	Cultures, boisements	5
361	Sol à forte différenciation texturale, hydromorphe dès la surface, sable argilo-limoneux à argilo-sableux issu de granite fortement altéré	Planosol typique	Replat	3	Boisements, landes	45
431	Sol de fond de vallée profond, hydromorphe dès la surface, d'apport colluvio-alluvial ou alluvial	Fluviosol-rédoxisol	Bas de versant, vallée	0	Prairies, cultures	8
502	Sol souvent calcaire, sableux, dunaire ou d'arrière-dune littorale, parfois cultivé, reposant sur un sol plus ancien	Arenosol à Calcosol, sur Paleosol	Plutôt en sommet (reliquats de dunes sableuses autour d'Erdeven)	0	Cultures, prairie	2

*Figure 74 : synthèse des UTS recensées dans la composition de l'UCS1047 (Erdeven)
(Source : extrait du programme « Sols de Bretagne », ACO, 2015)*

Unités de cartographie (« Grands types de végétation »)	surface (km ²)
<i>Milieux naturels et semi-naturels</i>	2692,34
Champs d'algues marines	4,79
Rochers, falaises, sables littoraux	5,00
Végétations des marais salés	19,08
Pelouses sèches des dunes mobiles	2,13
Pelouses sèches et mésophiles des dunes fixées	13,65
Prairies et pelouses sèches et mésophiles (hors dunes)	771,76
Prairies et pelouses humides (hors marais salés)	305,57
Roselières	7,31
Landes sèches et mésophiles	36,05
Landes humides	5,04
Tourbières et groupements tourbeux associés	1,79
Fourrés secs et mésophiles	79,86
Fourrés humides	10,23
Végétations des haies et talus	320,54
Forêts sèches et mésophiles	798,09
Forêts humides	192,47
Plans d'eau, cours d'eau et végétations associées	118,98
<i>Milieux à forte influence anthropique</i>	4151,63

*Figure 75 : surface des différents milieux dans le Morbihan
(Source : extrait de la notice de la carte des grands types de végétations du
Morbihan, Sellin, 2020)*

Annexe XII : Informations sur l'analyses multi-dimensionnelle

Description des champs de la table de données utilisée

NOM DU CHAMPS	LIBELLE	NATURE VARIABLE
<i>ID_point</i>	Code d'identification du point échantillonné (texte)	Qualitative
<i>ID_vege</i>	Code d'identification du relevé phytosociologique (texte)	Qualitative
<i>ID_sol</i>	Code d'identification du sondage pédologique (texte)	Qualitative
<i>ID_photovege</i>	Numéro ou lien de la photographie de végétation type rencontrée (texte)	Qualitative
<i>DATE_relev</i>	Date du relevé botanique au point échantillonné (texte)	Qualitative
<i>DATE_sondag</i>	Date du sondage pédologique (texte)	Qualitative
<i>DATE_prelev</i>	Date du prélèvement de sol (texte)	Qualitative
<i>DATE_analys</i>	Date de l'analyse de l'échantillon de sol (texte)	Qualitative
<i>GEOG_coordx</i>	Coordonnées géographiques longitude (m)	Quantitative
<i>GEOG_coordy</i>	Coordonnées géographiques latitude (m)	Quantitative
<i>GEOG_precis</i>	Précision satellite des coordonnées géographiques (m)	Quantitative
<i>GEOM_surf</i>	Superficie du relevé botanique (m ²)	Quantitative
<i>METEO_natur</i>	Nature des conditions météo au moment du sondage du sol échantillonné (texte)	Qualitative
<i>METEO_intens</i>	Intensité des conditions météo au moment du sondage du sol (texte)	Qualitative
<i>METEO_duree</i>	Durée des conditions météo au moment du sondage du sol (texte)	Qualitative
<i>LUMI_expo</i>	Orientation par rapport au point cardinal exposant la zone échantillonnée le plus à la lumière (texte)	Qualitative
<i>LUMI_intens</i>	Intensité lumineuse reçue (texte)	Qualitative
<i>TOPO_alti</i>	Altitude du point échantillonné (m)	Quantitative modalisée
<i>TOPO_pent</i>	Pente du terrain (°)	Quantitative modalisée
<i>TOPO_form</i>	Morphologie du terrain (texte)	Qualitative
<i>TOPO_versan</i>	Situation dans le versant (texte)	Qualitative
<i>HAB_n2000cod</i>	Code correspondant de la table de classification CORINE BIOTOPE, répertorié pour la carte Natura2000 (texte)	Qualitative

<i>HAB_n2000text</i>	Texte correspondant de la table de classification CORINE BIOTOPE, répertorié pour la carte Natura2000 (texte)	Qualitative
<i>HAB_hic</i>	Code correspondant de la liste des habitats d'intérêt communautaire, répertorié pour la carte Natura2000 ou C.Blond (texte)	Qualitative
<i>HAB_cgvtv56</i>	Texte correspondant à la table de classification CORINE BIOTOPE, répertorié pour la carte des grands types de végétation du morbihan (texte)	Qualitative
<i>HAB_invent16</i>	Code correspondant de la table de classification CORINE BIOTOPE, répertorié lors de l'inventaire faune / flore par C. Blond en 2016 (texte)	Qualitative
<i>HAB_hic16</i>	Code correspondant à la table de classification CAHIER HABITAT (texte)	
<i>HAB_unitvegea</i>	Strate arborée de l'unité de végétation cartographiée dans laquelle le relevé phytosociologique a été fait (Code EUNIS) (texte)	Qualitative
<i>HAB_unitvegeh</i>	Strate herbacée de l'unité de végétation cartographiée dans laquelle le relevé phytosociologique a été fait (Code EUNIS groupement) (texte)	Qualitative
<i>MIL_florecolo</i>	Description floristico-écologique du milieu au point échantillonné (texte)	Qualitative
<i>MIL_physio</i>	Physionomie de la végétation du milieu (texte)	Qualitative
<i>MIL_matur</i>	Maturité du milieu (texte)	Qualitative
<i>MIL_humidobs</i>	Humidité observée du substrat (texte)	Qualitative
<i>CONTA_actibio</i>	Traces d'origine animale ou d'actions anthropiques, à moins de 10m du point échantillonné (texte)	Qualitative
<i>CONTA_dynam</i>	Contact dynamique à moins de 50m de l'observation au point échantillonné (texte)	Qualitative
<i>CONTA_ecolo</i>	Contact écologique à moins de 50m de l'observation (texte)	Qualitative
<i>COM_vege</i>	Commentaires sur le milieu où le type de végétation au point échantillonné (texte)	Qualitative
<i>RECOU_a</i>	Taux de recouvrement de la strate arborée au point échantillonné (%)	Quantitative modalisée
<i>RECOU_a12</i>	Taux de recouvrement de la strate arbustive (%)	Quantitative modalisée
<i>RECOU_h</i>	Taux de recouvrement de la strate herbacée (%)	Quantitative modalisée
<i>RECOU_bryo</i>	Taux de recouvrement des bryophytes (%)	Quantitative modalisée

<i>RECOU_lit</i>	Taux de recouvrement de la litière (%)	Quantitative modalisée
<i>HAUT_a</i>	Hauteur maximale de la strate arborée au point échantillonné (m)	Quantitative modalisée
<i>HAUT_a12</i>	Hauteur maximale de la strate arbustive (m)	Quantitative modalisée
<i>HAUT_h</i>	Hauteur maximale de la strate herbacée (m)	Quantitative modalisée
<i>ESPEC_land</i>	Présence d'espèce indicatrice de lande (texte)	Qualitative
<i>ESPEC_domin1</i>	Espèce herbacée / arbustive basse relevées n°1 qui est dominante dans le quadrat (texte)	Qualitative
<i>ESPEC_domin2</i>	Espèce herbacée / arbustive basse relevées n°2 qui est dominante dans le quadrat (texte)	Qualitative
<i>HISTO_1811</i>	Occupation historique du sol d'après le cadastre napoléonien de 1811 (texte)	Qualitative
<i>HISTO_1950</i>	Occupation historique du sol d'après la photographie aérienne de 1950-1965 (texte)	Qualitative
<i>HUMUS_form</i>	Forme et typologie d'humus (texte)	Qualitative
<i>HUMUS_zoohof</i>	Présence de zoogénie dans l'horizon organique fragmentaire (texte)	Qualitative
<i>HUMUS_zoohoh</i>	Présence de zoogénie dans l'horizon organique humifié (texte)	Qualitative
<i>HUMUS_biostruha</i>	Présence de biostructures dans l'horizon A au point échantillonné (texte)	Qualitative
<i>HUMUS_redoxha</i>	Présence de traits rédoxiques couvrants plus de 5 % de la surface de l'horizon A observé sur une coupe verticale (texte)	Qualitative
<i>SOL_jmrvicod</i>	Code sol, issu des minutes de terrains de J-M Rivière (1980) au point échantillonné (texte)	Qualitative
<i>SOL_jmrvitext</i>	Texte descriptif du sol, issu des minutes de terrains de J-M Rivière (1980) au point échantillonné (texte)	Qualitative
<i>SOL_cod4</i>	Code à 4 critères du profil pédologique synthétique au point échantillonné (texte)	Qualitative
<i>SOL_regimhyd</i>	Régime hydrique du sol caractérisé (texte)	Qualitative
<i>SOL_regisubm</i>	Régime de submersion du sol caractérisé (texte)	Qualitative
<i>SOL_typ</i>	Typologie de solum (texte)	Qualitative
<i>SOL_profon</i>	Classe de profondeur du sol (texte)	Qualitative
<i>SOL_profonhc</i>	Profondeur d'apparition de l'horizon pédologique d'altération (cm)	Quantitative
<i>SOL_phhA</i>	Potentiel hydrogène de l'horizon organo-minéral, mesuré sur le terrain avec sonde pH (sans unité)	Quantitative
<i>RM_typ</i>	Typologie du substrat géologique au point échantillonné (texte)	Qualitative
<i>RM_descrip</i>	Descriptif du substrat géologique au point échantillonné, issue de la couche de données géologique (texte)	Qualitative

<i>RM_profon</i>	Profondeur d'apparition du matériau géologique (cm)	Quantitative
<i>HYDMOR_profon</i>	Profondeur d'apparition de l'hydromorphie au point échantillonné (cm)	Quantitative
<i>HYDMOR_intens</i>	Intensité de l'hydromorphie (texte)	Qualitative
<i>HYDMOR_class</i>	Classe d'hydromorphie (texte)	Qualitative
<i>EPAISH_ol</i>	Épaisseur de la litière du profil pédologique au point échantillonné (cm)	Quantitative
<i>EPAISH_of</i>	Épaisseur de l'horizon organique fragmentaire (cm)	Quantitative
<i>EPAISH_oh</i>	Épaisseur de l'horizon organique humifié (cm)	Quantitative
<i>EPAISH_x</i>	Épaisseur de l'horizon X du profil pédologique (cm) (x = numéro d'horizon, nombre entier)	Quantitative
<i>HUMIDH_x</i>	Humidité de l'horizon x du profil pédologique (texte)	Qualitative
<i>COMPH_x</i>	Compacité de l'horizon x du profil pédologique (texte)	Qualitative
<i>MOH_x</i>	Abondance de matière organique de l'horizon x du profil pédologique (texte + %)	Qualitative
<i>ARACINH_x</i>	Abondance de racines de l'horizon x du profil pédologique (texte)	Qualitative
<i>ERACINH_x</i>	État des racines de l'horizon x du profil pédologique (texte)	Qualitative
<i>TEXOBSh_x</i>	Code GEPPA de la texture observée de l'horizon x du profil pédologique (texte)	Qualitative
<i>EGH_x</i>	Taux d'éléments grossiers de l'horizon x du profil pédologique (%)	Quantitative
<i>TYPOH_x</i>	Identification de l'horizon x du profil pédologique (texte)	Qualitative
<i>COULH_x</i>	Code couleur MUNSELL de l'horizon x du profil pédologique (texte)	Qualitative
<i>TACH1H_x</i>	Code couleur MUNSELL des tâches de type 1 de l'horizon x du profil pédologique (texte)	Qualitative
<i>ATACH1H_x</i>	Abondance des tâches de type 1 de l'horizon x du profil pédologique (texte)	Qualitative
<i>TTACH1H_x</i>	Type des tâches de type 1 de l'horizon x du profil pédologique (texte)	Qualitative
<i>CTACH1H_x</i>	Contraste des tâches de type 1 de l'horizon x du profil pédologique (texte)	Qualitative
<i>TACH2H_x</i>	Code couleur MUNSELL des tâches de type 2 de l'horizon x du profil pédologique (texte)	Qualitative
<i>ATACH2H_x</i>	Abondance des tâches de type 2 de l'horizon x du profil pédologique (texte)	Qualitative
<i>TTACH2H_x</i>	Type des tâches de type 2 de l'horizon x du profil pédologique (texte)	Qualitative
<i>CTACH2H_x</i>	Contraste des tâches de type 2 de l'horizon x du profil pédologique (texte)	Qualitative
<i>TFERH_x</i>	Test fer de l'horizon x du profil pédologique (texte)	Qualitative
<i>PHEAU_010</i>	Potentiel hydrogène en solution d'eau de la couche de sol 0-10cm, mesuré en laboratoire (sans unité)	Quantitative
<i>PHEAU_2040</i>	Potentiel hydrogène en solution d'eau de la couche de sol 20-40cm (sans unité)	Quantitative
<i>PHKCL_010</i>	Potentiel hydrogène en solution de chlorure de potassium de la couche de sol 0-10cm, mesuré en laboratoire (sans unité)	Quantitative

PHKCL_2040	Potentiel hydrogène en solution de chlorure de potassium de la couche de sol 20-40cm (sans unité)	Quantitative
CO_010	Teneur moyenne en carbone organique total de la couche de sol 0-10cm, mesurée en laboratoire (g/kg)	Quantitative
CO_2040	Teneur moyenne en carbone organique total de la couche de sol 20-40cm (g/kg)	Quantitative
MO_010	Teneur moyenne en matière organique totale de la couche de sol 0-10cm, mesurée en laboratoire (g/kg)	Quantitative
MO_2040	Teneur moyenne en matière organique totale de la couche de sol 20-40cm (g/kg)	Quantitative
N_010	Teneur moyenne en azote total de la couche de sol 0-10cm, mesurée en laboratoire (g/kg)	Quantitative
N_2040	Teneur moyenne en azote total de la couche de sol 20-40cm (g/kg)	Quantitative
CN_010	Rapport moyen de l'azote total sur le carbone organique total de la couche de sol 0-10cm, calculé en laboratoire	Quantitative
CN_2040	Rapport moyen de l'azote total sur le carbone organique total de la couche de sol 20-40cm	Quantitative
P_010	Teneur moyenne en phosphore extractible de la couche de sol 0-10cm, mesurée en laboratoire (mg/kg)	Quantitative
P_2040	Teneur moyenne en phosphore extractible de la couche de sol 20-40cm, mesurée en laboratoire (mg/kg)	Quantitative
AL_010	Teneur moyenne en aluminium échangeable de la couche de sol 0-10cm, mesurée en laboratoire (mg/kg)	Quantitative
AL_2040	Teneur moyenne en aluminium échangeable de la couche de sol 20-40cm (mg/kg)	Quantitative
K_010	Teneur moyenne en potassium échangeable de la couche de sol 0-10cm, mesurée en laboratoire (mg/kg)	Quantitative
K_2040	Teneur moyenne en potassium échangeable de la couche de sol 20-40cm (mg/kg)	Quantitative
CA_010	Teneur moyenne en calcium échangeable de la couche de sol 0-10cm, mesurée en laboratoire (mg/kg)	Quantitative
CA_2040	Teneur moyenne en calcium échangeable de la couche de sol 20-40cm (mg/kg)	Quantitative
MG_010	Teneur moyenne en magnésium échangeable de la couche de sol 0-10cm, mesurée en laboratoire (mg/kg)	Quantitative
MG_2040	Teneur moyenne en magnésium échangeable de la couche de sol 20-40cm (mg/kg)	Quantitative
NA_010	Teneur moyenne en sodium échangeable de la couche de sol 0-10cm, mesurée en laboratoire (mg/kg)	Quantitative
NA_2040	Teneur moyenne en sodium échangeable de la couche de sol 20-40cm (mg/kg)	Quantitative
CEC_010	Capacité d'échange cationique moyenne de la couche de sol 0-10cm, mesurée en laboratoire (meq/100g)	Quantitative
CEC_2040	Capacité d'échange cationique moyenne de la couche de sol 20-40cm (meq/100g)	Quantitative
SAT_010	Taux de saturation moyen de la couche de sol 0-10cm, mesuré en laboratoire	Quantitative
SAT_2040	Taux de saturation moyen de la couche de sol 20-40cm	Quantitative
GRANULO_010	Code granulométrique du triangle des textures de la couche de sol 0-10 cm, déterminé en laboratoire (texte)	Qualitative
GRANULO_2040	Code granulométrique du triangle des textures de la couche de sol 20-40 cm (texte)	Qualitative

Table de l'analyse des corrélations

	TOPO_alti	TOPO_pent	SOL_profon	HYDMOR_class	pH2O_010	pH2O_2040	pHKCL_010	pHKCL_2040	CO_010	CO_2040
TOPO_alti	1,00	0,57	0,38	-0,47	-0,17	-0,29	-0,17	-0,24	0,74	0,87
TOPO_pent	0,57	1,00	0,08	-0,27	0,35	0,11	0,22	-0,01	0,39	0,49
SOL_profon	0,38	0,08	1,00	-0,71	-0,46	-0,38	-0,59	-0,46	0,36	0,39
HYDMOR_class	-0,47	-0,27	-0,71	1,00	0,21	0,23	0,15	0,03	-0,50	-0,54
pH2O_010	-0,17	0,35	-0,46	0,21	1,00	0,83	0,92	0,71	-0,29	-0,13
pH2O_2040	-0,29	0,11	-0,38	0,23	0,83	1,00	0,76	0,83	-0,25	-0,27
pHKCL_010	-0,17	0,22	-0,59	0,15	0,92	0,76	1,00	0,82	-0,30	-0,08
pHKCL_2040	-0,24	-0,01	-0,46	0,03	0,71	0,83	0,82	1,00	-0,17	-0,15
CO_010	0,74	0,39	0,36	-0,50	-0,29	-0,25	-0,30	-0,17	1,00	0,62
CO_2040	0,87	0,49	0,39	-0,54	-0,13	-0,27	-0,08	-0,15	0,62	1,00
MO_010	0,74	0,39	0,36	-0,50	-0,29	-0,25	-0,30	-0,17	1,00	0,62
MO_2040	0,87	0,49	0,39	-0,54	-0,13	-0,27	-0,08	-0,15	0,62	1,00
N_010	0,73	0,48	0,38	-0,39	-0,13	-0,08	-0,21	-0,12	0,89	0,71
N_2040	0,87	0,53	0,36	-0,41	-0,10	-0,19	-0,11	-0,15	0,65	0,96
CN_010	0,09	-0,13	-0,13	-0,10	-0,38	-0,42	-0,22	-0,14	0,32	-0,15
CN_2040	0,11	-0,12	0,20	-0,57	-0,16	-0,41	0,06	0,00	0,02	0,27
P_010	-0,04	-0,06	0,26	-0,50	0,29	0,09	0,33	0,25	-0,17	0,24
P_2040	0,14	0,08	0,42	-0,64	-0,13	-0,06	-0,11	0,10	0,39	0,08
AL_010	0,26	-0,16	0,51	-0,29	-0,80	-0,56	-0,82	-0,49	0,57	0,20
AL_2040	0,75	0,32	0,48	-0,51	-0,52	-0,67	-0,48	-0,55	0,65	0,77
K_010	-0,03	0,26	0,20	-0,18	0,23	0,32	0,00	0,17	0,18	-0,15
K_2040	0,21	0,37	0,45	-0,09	0,01	-0,03	-0,23	-0,38	-0,07	0,35
CA_010	-0,03	0,42	-0,58	0,13	0,89	0,71	0,92	0,71	-0,05	-0,02
CA_2040	-0,17	0,14	-0,45	0,13	0,80	0,91	0,83	0,93	-0,16	-0,05
MG_010	-0,18	0,23	0,01	0,31	0,26	0,38	0,00	0,00	-0,05	-0,11
MG_2040	-0,23	0,11	0,03	0,42	0,18	0,31	-0,08	-0,11	-0,19	-0,15
NA_010	-0,30	-0,20	-0,21	0,36	-0,22	-0,02	-0,23	-0,16	-0,01	-0,16
NA_2040	-0,39	-0,21	-0,35	0,61	-0,04	0,14	-0,10	-0,04	-0,20	-0,26
CEC_010	0,07	0,50	-0,35	0,04	0,68	0,63	0,60	0,54	0,31	0,03
CEC_2040	0,04	0,31	-0,12	0,20	0,49	0,57	0,35	0,32	0,02	0,21
SAT_010	-0,17	0,34	-0,58	0,31	0,81	0,66	0,77	0,52	-0,21	-0,08
SAT_2040	-0,44	-0,06	-0,61	0,63	0,60	0,75	0,56	0,59	-0,43	-0,35

	MO_010	MO_2040	N_010	N_2040	CN_010	CN_2040	P_010	P_2040	AL_010	AL_2040
TOPO_alti	0,74	0,87	0,73	0,87	0,09	0,11	-0,04	0,14	0,26	0,75
TOPO_pent	0,39	0,49	0,48	0,53	-0,13	-0,12	-0,06	0,08	-0,16	0,32
SOL_profon	0,36	0,39	0,38	0,36	-0,13	0,20	0,26	0,42	0,51	0,48
HYDMOR_class	-0,50	-0,54	-0,39	-0,41	-0,10	-0,57	-0,50	-0,64	-0,29	-0,51
pH2O_010	-0,29	-0,13	-0,13	-0,10	-0,38	-0,16	0,29	-0,13	-0,80	-0,52
pH2O_2040	-0,25	-0,27	-0,08	-0,19	-0,42	-0,41	0,09	-0,06	-0,56	-0,67
pHKCL_010	-0,30	-0,08	-0,21	-0,11	-0,22	0,06	0,33	-0,11	-0,82	-0,48
pHKCL_2040	-0,17	-0,15	-0,12	-0,15	-0,14	0,00	0,25	0,10	-0,49	-0,55
CO_010	1,00	0,62	0,89	0,65	0,32	0,02	-0,17	0,39	0,57	0,65
CO_2040	0,62	1,00	0,71	0,96	-0,15	0,27	0,24	0,08	0,20	0,77
MO_010	1,00	0,62	0,89	0,65	0,32	0,02	-0,17	0,39	0,57	0,65
MO_2040	0,62	1,00	0,71	0,96	-0,15	0,27	0,24	0,08	0,20	0,77
N_010	0,89	0,71	1,00	0,82	-0,13	-0,24	-0,13	0,20	0,52	0,62
N_2040	0,65	0,96	0,82	1,00	-0,26	0,02	0,09	0,00	0,27	0,74
CN_010	0,32	-0,15	-0,13	-0,26	1,00	0,40	-0,30	0,28	0,23	0,15
CN_2040	0,02	0,27	-0,24	0,02	0,40	1,00	0,62	0,36	-0,10	0,31
P_010	-0,17	0,24	-0,13	0,09	-0,30	0,62	1,00	0,34	-0,27	0,12
P_2040	0,39	0,08	0,20	0,00	0,28	0,36	0,34	1,00	0,26	0,17
AL_010	0,57	0,20	0,52	0,27	0,23	-0,10	-0,27	0,26	1,00	0,57
AL_2040	0,65	0,77	0,62	0,74	0,15	0,31	0,12	0,17	0,57	1,00
K_010	0,18	-0,15	0,23	-0,06	-0,09	-0,33	0,04	0,21	0,15	-0,10
K_2040	-0,07	0,35	0,24	0,42	-0,64	-0,24	0,22	-0,08	0,05	0,30
CA_010	-0,05	-0,02	-0,01	-0,02	-0,09	-0,07	0,17	-0,05	-0,71	-0,34
CA_2040	-0,16	-0,05	0,01	0,00	-0,38	-0,22	0,20	-0,04	-0,55	-0,51
MG_010	-0,05	-0,11	0,24	0,07	-0,56	-0,65	-0,15	-0,19	0,01	-0,13
MG_2040	-0,19	-0,15	0,14	0,03	-0,64	-0,69	-0,19	-0,30	0,01	-0,15
NA_010	-0,01	-0,16	0,10	-0,06	-0,18	-0,38	-0,32	-0,28	0,27	0,05
NA_2040	-0,20	-0,26	-0,02	-0,13	-0,29	-0,50	-0,39	-0,43	0,11	-0,16
CEC_010	0,31	0,03	0,39	0,14	-0,10	-0,33	-0,01	0,11	-0,25	-0,12
CEC_2040	0,02	0,21	0,36	0,36	-0,65	-0,48	0,08	-0,22	-0,16	-0,01
SAT_010	-0,21	-0,08	-0,09	-0,06	-0,29	-0,20	0,12	-0,24	-0,72	-0,35
SAT_2040	-0,43	-0,35	-0,19	-0,23	-0,49	-0,56	-0,19	-0,39	-0,50	-0,68

	K_010	K_2040	CA_010	CA_2040	MG_010	MG_2040	NA_010	NA_2040	CEC_010	CEC_2040	SAT_010	SAT_2040
TOPO_alti	-0,03	0,21	-0,03	-0,17	-0,18	-0,23	-0,30	-0,39	0,07	0,04	-0,17	-0,44
TOPO_pent	0,26	0,37	0,42	0,14	0,23	0,11	-0,20	-0,21	0,50	0,31	0,34	-0,06
SOL_profon	0,20	0,45	-0,58	-0,45	0,01	0,03	-0,21	-0,35	-0,35	-0,12	-0,58	-0,61
HYDMOR_class	-0,18	-0,09	0,13	0,13	0,31	0,42	0,36	0,61	0,04	0,20	0,31	0,63
pH2O_010	0,23	0,01	0,89	0,80	0,26	0,18	-0,22	-0,04	0,68	0,49	0,81	0,60
pH2O_2040	0,32	-0,03	0,71	0,91	0,38	0,31	-0,02	0,14	0,63	0,57	0,66	0,75
pHKCL_010	0,00	-0,23	0,92	0,83	0,00	-0,08	-0,23	-0,10	0,60	0,35	0,77	0,56
pHKCL_2040	0,17	-0,38	0,71	0,93	0,00	-0,11	-0,16	-0,04	0,54	0,32	0,52	0,59
CO_010	0,18	-0,07	-0,05	-0,16	-0,05	-0,19	-0,01	-0,20	0,31	0,02	-0,21	-0,43
CO_2040	-0,15	0,35	-0,02	-0,05	-0,11	-0,15	-0,16	-0,26	0,03	0,21	-0,08	-0,35
MO_010	0,18	-0,07	-0,05	-0,16	-0,05	-0,19	-0,01	-0,20	0,31	0,02	-0,21	-0,43
MO_2040	-0,15	0,35	-0,02	-0,05	-0,11	-0,15	-0,16	-0,26	0,03	0,21	-0,08	-0,35
N_010	0,23	0,24	-0,01	0,01	0,24	0,14	0,10	-0,02	0,39	0,36	-0,09	-0,19
N_2040	-0,06	0,42	-0,02	0,00	0,07	0,03	-0,06	-0,13	0,14	0,36	-0,06	-0,23
CN_010	-0,09	-0,64	-0,09	-0,38	-0,56	-0,64	-0,18	-0,29	-0,10	-0,65	-0,29	-0,49
CN_2040	-0,33	-0,24	-0,07	-0,22	-0,65	-0,69	-0,38	-0,50	-0,33	-0,48	-0,20	-0,56
P_010	0,04	0,22	0,17	0,20	-0,15	-0,19	-0,32	-0,39	-0,01	0,08	0,12	-0,19
P_2040	0,21	-0,08	-0,05	-0,04	-0,19	-0,30	-0,28	-0,43	0,11	-0,22	-0,24	-0,39
AL_010	0,15	0,05	-0,71	-0,55	0,01	0,01	0,27	0,11	-0,25	-0,16	-0,72	-0,50
AL_2040	-0,10	0,30	-0,34	-0,51	-0,13	-0,15	0,05	-0,16	-0,12	-0,01	-0,35	-0,68
K_010	1,00	0,20	0,13	0,22	0,38	0,23	-0,08	-0,10	0,41	0,21	0,10	0,02
K_2040	0,20	1,00	-0,21	-0,10	0,59	0,65	0,15	0,20	-0,07	0,54	0,07	0,00
CA_010	0,13	-0,21	1,00	0,78	0,13	-0,01	-0,13	-0,08	0,83	0,42	0,86	0,49
CA_2040	0,22	-0,10	0,78	1,00	0,32	0,20	0,00	0,14	0,67	0,62	0,71	0,74
MG_010	0,38	0,59	0,13	0,32	1,00	0,95	0,60	0,67	0,44	0,82	0,46	0,53
MG_2040	0,23	0,65	-0,01	0,20	0,95	1,00	0,60	0,73	0,25	0,77	0,34	0,54
NA_010	-0,08	0,15	-0,13	0,00	0,60	0,60	1,00	0,89	0,12	0,44	0,26	0,38
NA_2040	-0,10	0,20	-0,08	0,14	0,67	0,73	0,89	1,00	0,10	0,55	0,30	0,61
CEC_010	0,41	-0,07	0,83	0,67	0,44	0,25	0,12	0,10	1,00	0,60	0,72	0,41
CEC_2040	0,21	0,54	0,42	0,62	0,82	0,77	0,44	0,55	0,60	1,00	0,62	0,60
SAT_010	0,10	0,07	0,86	0,71	0,46	0,34	0,26	0,30	0,72	0,62	1,00	0,66
SAT_2040	0,02	0,00	0,49	0,74	0,53	0,54	0,38	0,61	0,41	0,60	0,66	1,00

Codes de programmation utilisé (RStudio)

```
# Importation et chargement des données brutes :
```

```
EVE_TdD <- read.csv("2021 08 30 CD56 Stage Valorisation ENS Varquez Erdeven_Table AnaDo_KDL.csv", header=TRUE, sep=";", dec="," )
```

```
# Chargement et installation des packages supplémentaires nécessaires :
```

```
install.packages("Factoshiny")
```

```
library(Factoshiny)
```

```
# Contrôle des variables et de leurs quantiles :
```

```
summary(EVE_TdD)
```

F4.13	HAB_unitvegea	TOPO_alti	TOPO_pent	SOL_profon	HYDMOR_class	pHKCL_010	pHKCL_2040
E5.31	:15	Min. :18.20	Min. :0.600	Min. :2.000	Min. :0.000	Min. :3.700	Min. :3.900
F3.1 + E5.31 colo	: 6	1st Qu.:18.70	1st Qu.:1.375	1st Qu.:3.000	1st Qu.:0.000	1st Qu.:3.800	1st Qu.:4.100
F4.23 deg	: 5	Median :19.35	Median :1.850	Median :4.000	Median :5.000	Median :3.900	Median :4.150
F4.13 + E5.31 colo	: 4	Mean :19.76	Mean :2.290	Mean :3.975	Mean :3.625	Mean :4.013	Mean :4.173
6410	: 3	3rd Qu.:19.90	3rd Qu.:2.725	3rd Qu.:5.000	3rd Qu.:5.000	3rd Qu.:4.000	3rd Qu.:4.200
(Other)	: 2	Max. :26.00	Max. :8.700	Max. :5.000	Max. :6.000	Max. :6.000	Max. :6.200
	: 5					NA's :1	
Min.	MO_010	MO_2040	CN_010	CN_2040	P_010	P_2040	AL_010
1st Qu.:	: 41.50	Min. : 9.20	Min. : 9.70	Min. : 8.40	Min. : 2.000	Min. : 0.0	Min. : 8.0
Median :	57.25	1st Qu. : 12.32	1st Qu. :15.97	1st Qu. :11.65	1st Qu. : 5.000	1st Qu. : 2.0	1st Qu. :284.5
Mean :	70.60	Median : 19.75	Median :18.45	Median :14.05	Median : 5.000	Median : 3.0	Median :357.5
3rd Qu.:	75.07	Mean : 24.30	Mean :18.00	Mean :13.72	Mean : 6.075	Mean : 6.1	Mean :336.0
Max. :	79.88	3rd Qu. : 26.62	3rd Qu. :20.35	3rd Qu. :15.82	3rd Qu. : 7.000	3rd Qu. : 6.0	3rd Qu. :416.0
	164.80	Max. :137.20	Max. :24.20	Max. :18.90	Max. :22.000	Max. :44.0	Max. :535.0
						NA's :18	
Min.	AL_2040	K_010	K_2040	MG_010	NA_010	NA_2040	CEC_010
1st Qu.:	: 3.0	Min. :14.30	Min. : 5.000	Min. : 35.20	Min. : 29.70	Min. : 19.60	Min. : 3.300
Median :	157.5	1st Qu. :24.25	1st Qu. : 9.075	1st Qu. : 77.97	1st Qu. : 43.20	1st Qu. : 34.73	1st Qu. : 4.650
Mean :	214.0	Median :32.75	Median :12.150	Median : 92.25	Median : 97.25	Median : 98.30	Median : 5.800
3rd Qu.:	206.2	Mean :36.96	Mean :15.109	Mean :144.50	Mean :136.59	Mean :115.86	Mean : 6.559
Max. :	234.2	3rd Qu. :50.17	3rd Qu. :18.450	3rd Qu. :143.55	3rd Qu. :146.00	3rd Qu. :163.62	3rd Qu. : 7.300
NA's :	480.0	Max. :78.20	Max. :39.500	Max. :573.40	Max. :656.70	Max. :378.90	Max. :14.600
	18	NA's :18					
Min.	CEC_2040	SAT_010	SAT_2040				
1st Qu.:	:0.700	Min. : 2.100	Min. : 2.200				
Median :	2.250	1st Qu. : 4.900	1st Qu. : 4.725				
Mean :	2.750	Median : 6.800	Median : 9.800				
3rd Qu.:	3.491	Mean : 8.914	Mean :10.468				
Max. :	3.525	3rd Qu. :10.425	3rd Qu. :13.150				
NA's :	9.700	Max. :27.000	Max. :30.600				
	18	NA's :18	NA's :18				

Contrôle de la typologie des variables :

str(EVE_TdD)

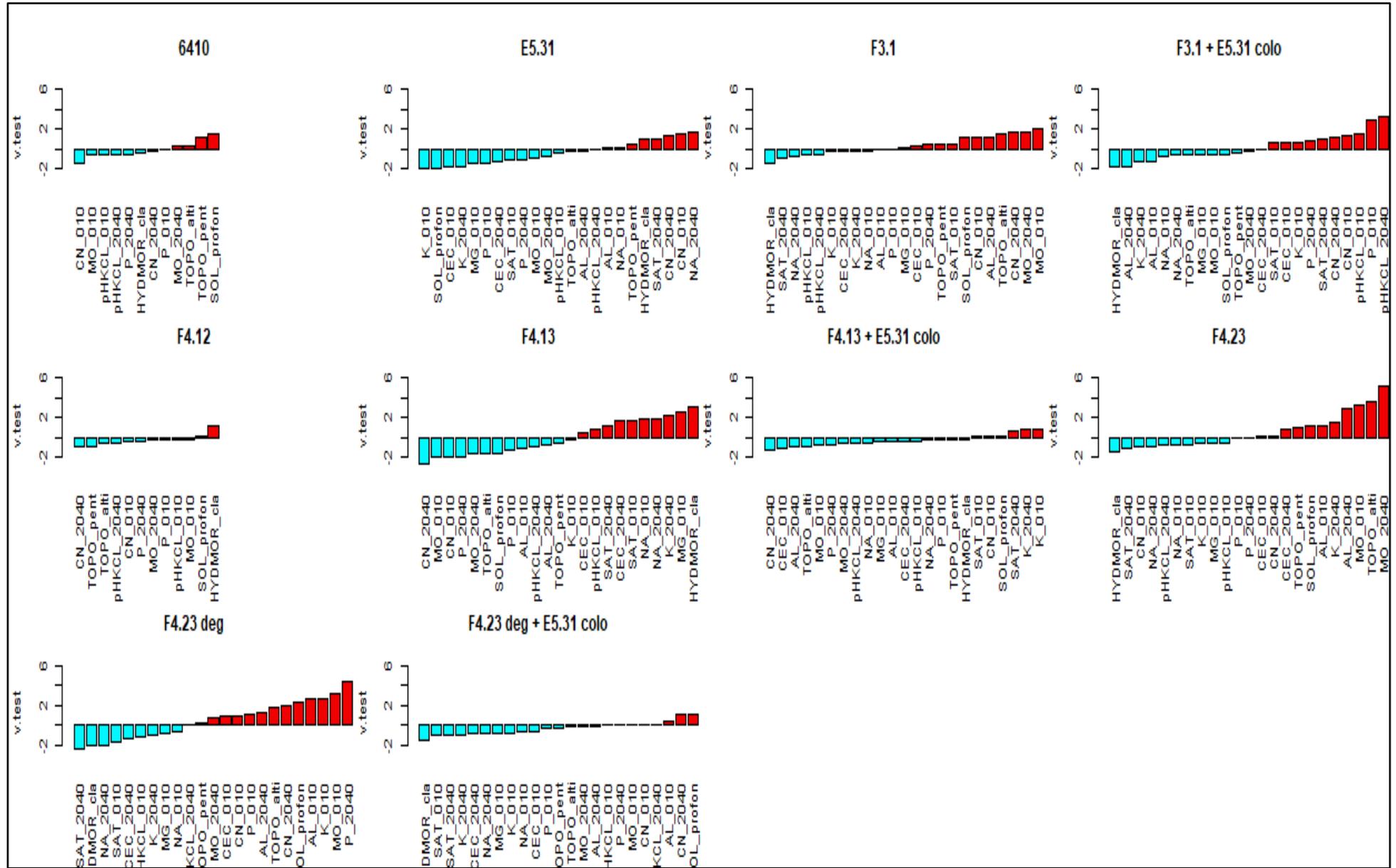
```
'data.frame': 40 obs. of 24 variables:
 $ HAB_unitvegea: Factor w/ 10 levels "6410","E5.31",...: 6 7 3 4 4 6 4 6 6 2 .
 $ TOPO_alti : num 19.7 19 22.5 22.5 18.2 18.6 19.1 18.4 18.3 19.9 ...
 $ TOPO_pent : num 1.7 3.5 3 2.9 0.9 0.7 3 2.8 2.5 1.7 ...
 $ SOL_profon : int 4 5 5 4 3 4 5 3 3 3 ...
 $ HYDMOR_class : int 6 0 0 0 5 5 0 5 6 5 ...
 $ pHKCL_010 : num 4.1 4 3.8 3.7 3.9 3.8 3.7 4 4 4 ...
 $ pHKCL_2040 : num 4.1 4.2 4 4.2 4.2 4 4.2 4.1 4.1 4.2 ...
 $ MO_010 : num 61.7 65.4 133.2 82.3 78.9 ...
 $ MO_2040 : num 11.2 12.1 63 31.3 26.3 16.6 22.9 12.8 22.2 12.5 ...
 $ CN_010 : num 17.5 21.5 21.9 18.9 23.1 18.7 20.6 15.6 13.6 20.5 ...
 $ CN_2040 : num 10.4 11.7 18.2 16 17.9 14.1 15.9 11.4 9.8 14.3 ...
 $ P_010 : int 3 7 6 7 6 5 5 5 7 4 ...
 $ P_2040 : int 1 4 10 4 5 2 18 1 8 3 ...
 $ AL_010 : int 241 NA 325 NA 385 339 425 NA NA NA ...
 $ AL_2040 : int 127 NA 318 NA 211 164 232 NA NA NA ...
 $ K_010 : num 20.1 NA 34.6 NA 19.3 25.6 66.3 NA NA NA ...
 $ K_2040 : num 16.5 NA 14.1 NA 6.7 10.1 20.2 NA NA NA ...
 $ MG_010 : num 80.9 NA 157.8 NA 96.7 ...
 $ NA_010 : num 79.5 NA 121.9 NA 224.3 ...
 $ NA_2040 : num 106.5 NA 48.7 NA 173.4 ...
 $ CEC_010 : num 4.1 NA 7.4 NA 5.5 5.1 6 NA NA NA ...
 $ CEC_2040 : num 2.9 NA 3.2 NA 2.6 2.7 2.1 NA NA NA ...
 $ SAT_010 : num 6.5 NA 12.4 NA 7.3 5 3.7 NA NA NA ...
 $ SAT_2040 : num 13.3 NA 4.5 NA 9.6 5.9 3.4 NA NA NA ...
```

Réalisation de l'ACM sur Factoshiny:

EVE_res_shiny = Factoshiny(EVE_TdD)

Diagrammes en barre des valeurs d'essai

Les valeurs d'essai sont calculées pour chaque variable ou catégorie continue d'une variable qualitative, afin de mesurer les distances entre les valeurs intra-classe et la valeur globale. Cela permet d'évaluer dans l'absolu l'éloignement entre valeurs dans la classe et la valeur dans l'ensemble des individus. Il faut pour cela calculer une valeur d'essai appelée « vtest », permettant d'ordonner les valeurs, sachant que celles à retenir sont des $vtest < -2$ ou $vtest > 2$. Cela facilite d'ailleurs la description des classes d'une partition.



Graphiques de l'ACP

