

Amélioration de la délimitation des zones humides au sein du massif forestier des Landes de Gascogne



Mathis BRASSELET

Stage effectué du 1^{er} mars au 19 août 2022

Ecosphère (Agence Sud-Ouest) – 16 avenue de Montesquieu, 33 700 Mérignac

Sous la direction scientifique de **M^{me} Marie DOUARRE**

"Le présent rapport constitue un exercice pédagogique qui ne peut en aucun cas engager la responsabilité de l'Entreprise ou du Laboratoire d'accueil"



Résumé

La définition réglementaire des zones humides réside sur la prise en compte alternative de critères environnementaux que sont les sols et les végétations. Ces études sont nécessaires pour tout projet d'aménagement. Or, au sein des Landes de Gascogne, la présence de PODZOSOLS pose des problèmes d'analyses intrinsèques aux propriétés de ces sols. De plus, la végétation est souvent soumise à une forte influence des pratiques sylvicoles qui rend difficile l'analyse de son caractère hydrophile. À travers le couplage de sondages pédologiques, de relevés phytosociologiques et de données piézométriques, la présente étude a pour objectif l'évaluation du potentiel indicateur des espèces typiques des pinèdes landaises mésohygrophiles vis-à-vis du niveau d'engorgement des sols. De ces travaux résulte que la flore ne semble répondre que très partiellement aux variations d'engorgement des sols sur le site d'étude. *Erica tetralix*, espèce hygrophile, est présente au niveau de zones non soumises au battement de la nappe. *Ulex minor* semble être une espèce intéressante par sa position intermédiaire entre les landes mésophiles et mésohygrophiles. Par ailleurs, *Molinia caerulea* semble être un indicateur médiocre puisque l'espèce se développe sur l'ensemble du site. La hauteur des touradons formés par l'espèce est partiellement corrélée à la profondeur de la nappe phréatique. Les conclusions tirées sont cependant à nuancer. L'étude doit être complétée par la mise en place du protocole sur d'autres sites afin d'affiner les résultats obtenus.

Mots-clés : Zones humides ; Landes de Gascogne ; Phytosociologie ; Indicateurs biologiques ; Pédologie ; Sylviculture

Référencement bibliographique à utiliser :

BRASSELET M., 2022 - *Amélioration de la délimitation des zones humides au sein du massif forestier des Landes de Gascogne*. Ecosphère, Mérignac, France. 35 p. + annexes.

Remerciements

J'adresse des remerciements sincères à Sébastien Roué, directeur de l'agence Sud-Ouest d'Ecosphère, pour la confiance qu'il m'a accordée. Merci de m'avoir permis de réaliser ce stage dans de bonnes conditions.

J'ai une pensée forte pour Marie Douarre, cheffe de projets et tutrice de ce stage. Merci pour ta bienveillance, ta patience et ton écoute. Merci pour ce que tu m'as apporté, scientifiquement et humainement. Ton sens de la pédagogie, ta justesse et ton humanité ont fortement contribué à faire de ce stage une étape importante de ma jeune carrière et un moment fort de ma vie.

Merci à l'agence Sud-Ouest de la CDC Biodiversité, et particulièrement à Agnès Marion, chargée de projets. Merci d'avoir rendu ce stage possible, merci pour votre temps.

Je tiens à remercier l'UPPA et particulièrement Géraldine Blin, gestionnaire de scolarité, Jean-Claude Salvado et Charlotte Recapet, responsables de la licence professionnelle, pour leur investissement dans les procédures administratives pré- et post-stage. Je remercie sincèrement l'intégralité de l'équipe pédagogique de la licence. Chacun de vos enseignements sont des outils indispensables à ma réussite professionnelle.

J'ai une pensée particulière pour chacun.e des employé.e.s de l'agence Sud-Ouest d'Ecosphère. Votre écoute, votre bienveillance et votre gentillesse ont été plus qu'essentiels à mon épanouissement professionnel et personnel au sein de la métropole bordelaise. Je suis heureux et fier d'avoir l'opportunité de prolonger cette aventure à vos côtés.

J'ai une pensée chaleureuse pour toutes celles et ceux ayant contribué.e.s à mon épanouissement personnel durant ces 6 derniers mois. En tête de file, Chris, mon ami, et Anne, ma maman, qui ont été des soutiens psychologiques de tous les instants.

Ce rapport présente mon travail de ces 6 derniers mois mais est aussi et surtout l'aboutissement de mon investissement personnel de ces 3 dernières années. Alors, je me permets quelques mots pour écrire ma fierté du chemin parcouru. Aujourd'hui, je suis heureux d'atteindre mon objectif professionnel qui est le fruit d'une renaissance personnelle. Je ne pourrai remercier assez toutes les personnes m'ayant accompagné tout au long de mon parcours universitaire (stages inclus). J'ai une pensée très particulière pour Bjorn Volkert, Damien Avril et Laurent Mahé, enseignants de l'IUT de Tours, qui m'ont tous les 3 transmis leur passion.

Avant-propos

Fondée en 1988, la société Ecosphère est un bureau d'études en écologie apportant son expertise technique et scientifique à des politiques publiques et privées depuis plus de 30 ans. La société, dont le siège est localisé à Saint-Maur-des-Fossés, dans le Bassin parisien, est composée de 9 agences et de 5 antennes.

L'agence Sud-Ouest de Mérignac, en région Nouvelle-Aquitaine, est dirigée par Sébastien Roué et compte 11 salariés.

Table des matières

Introduction	1
1. Méthodes.....	4
1.1 Site d'étude.....	4
1.1.1 Localisation et présentation	4
1.1.2 Données disponibles	4
1.2 Phase de terrain.....	6
1.2.1 Sondages conservés et modalités.....	6
1.2.2 Relevés phytosociologiques.....	8
1.2.3 Paramètres spécifiques mesurés	10
1.3 Traitement des données.....	11
1.3.1 Complétion du jeu de données	11
1.3.2 Analyses statistiques	13
1.3.3 Modifications avancées des données	14
1.3.4 Définition des végétations.....	14
1.4 Données autécologique.....	14
1.4.1 Bases de données française et européenne	14
1.4.2 Valences écologiques suisse	15
2. Résultats et discussion	16
2.1 Inertie et dimensions conservées.....	16
2.2 Espèces végétales indicatrices.....	16
2.2.1 Valeurs indicatrices et groupes d'espèces.....	16
2.2.2 Pertinence des indicateurs	19
2.3 Lien nappe - végétation	21
2.3.1 Vérification préalable de la fiabilité des données piézométriques	21
2.3.2 Occurrence des espèces végétales selon la profondeur de nappe	22
2.3.3 Hauteur des touradons et profondeur de la nappe.....	24
2.4 Végétations rencontrées	25
2.5 Impacts de la sylviculture	26
2.6 Limites de l'étude	27

2.6.1	<i>Données disponibles et site d'étude</i>	27
2.6.2	<i>Relation nappe – végétations.....</i>	28
2.6.3	<i>Précision des résultats.....</i>	29
2.7	<i>Perspectives.....</i>	29
2.7.1	<i>Impacts des résultats.....</i>	29
2.7.2	<i>Suite de l'étude.....</i>	30
Références bibliographiques		32

Table des figures

Figure 1 : Localisation du site d'étude.....	4
Figure 2 : Localisation des sondages pédologiques utilisés pour l'étude	5
Figure 3 : Localisation des piézomètres et des échelles limnimétriques du Lignan	6
Figure 4 : Assemblage théorique des individus d'associations (M. Brasselet)	8
Figure 5 : Courbe aire-espèce théorique (M. Brasselet d'après D. Avril)	8
Figure 6 : Mesure de la hauteur d'un touradon.....	10
Figure 7 : Mesure du diamètre d'un tronc de <i>Pinus pinaster</i>	11
Figure 8 : Projection des groupes d'espèces selon les dimensions 1 et 2 de l'AFC	16
Figure 9 : Moyennes des valeurs d'humidité édaphique par groupe (Julve, 1998 ; Kattge <i>et al.</i> , 2020).....	19
Figure 10 : Distribution de <i>Frangula alnus</i> dans les relevés	19
Figure 11 : Distribution de <i>Pseudarrhenatherum longifolium</i> , <i>Ulex minor</i> , <i>Ulex europaeus</i> et <i>Erica tetralix</i> (de gauche à droite et de haut en bas) dans les relevés	20
Figure 12 : Fréquences d'occurrences des taxons au sein des relevés A et B. Seuil = 3,2 mNGF	22
Figure 13 : Hauteurs des touradons en fonction de la profondeur totale de la nappe (gauche) et en fonction de la profondeur en septembre 2021 (droite)	24
Figure 14 : Faciès dégradé de l' <i>Ericetum scopario – tetralicis</i> (Rallet 1935) Géhu & Géhu-Franck 1975.....	26

Table des tableaux

Tableau 1 : Formations végétales et contexte des catégories utilisées pour le tri des sondages. Légende : <i>M.</i> = <i>Molinia</i> ; <i>F.</i> = <i>Frangula</i> ; <i>E.</i> = <i>Erica</i> ; <i>U.</i> = <i>Ulex</i> ; <i>C.</i> = <i>Calluna</i> ; <i>P.</i> = <i>Pteridium</i>	7
Tableau 2 : Sondages conservés, classés selon les catégories définies	7
Tableau 3 : Coefficients d'abondance-dominance utilisés (Barkman <i>et al.</i> , 1964 d'après Braun-Blanquet, 1928)	9
Tableau 4 : Hauteurs des différentes strates et préfixes associés pour l'analyse (Delassus, 2015).....	9
Tableau 5 : Transformations des coefficients. (Barkaman <i>et al.</i> , 1964 d'après Braun-Blanquet, 1928 ; modifié d'après De Foucault, 1980)	13
Tableau 6 : Signification des valeurs de valence écologique pour l'humidité édaphique et la luminosité (Julve, version 2022 adapté d'après Ellenberg <i>et al.</i> , 1992)	14
Tableau 7 : Dimensions conservées, valeurs propres et pourcentages associés	16
Tableau 8 : Valeurs indicatrices des espèces végétales classées par groupes (Légende : S. a. = Strate arbustive ; S. h. = Strate herbacée)	17
Tableau 9 : Conditions d'humidité édaphique par espèce ((1) Julve, 1998 ; (2) Kattge <i>et al.</i> , 2020).....	17
Tableau 10 : Formations végétales rencontrées sur le site d'étude ((1) Louvel <i>et al.</i> , 2013 ; (2) Bissardon <i>et al.</i> , 1997 ; (3) Lafon <i>et al.</i> 2018)	25

Lexique

Les termes définis sont annotés dans le texte par la présence en indice de leur position dans la liste (exemple de note dans le texte : mot défini^{n°}).

¹ Crastes : « *Fossés de drainage.* » ([Bèsbes, 1963](#)) - Retour à la citation [ici](#)

² Individu d'association : « *Communauté végétale concrète, observable sur le terrain et floristiquement, physionomiquement et écologiquement homogène.* » ([Delassus, 2015](#)) – Retour à la citation [ici](#)

³ Touradon : « *Grosse touffe (jusqu'à 1 m) résultant de la persistance des souches antérieures d'herbes cespiteuses.* » ([Jouy et de Foucault, 2019](#)) – Retour à la citation [ici](#)

⁴ Alios : « *Horizon HUMOFERRIQUE induré des POSOZOLS.* » ([Jouy et de Foucault, 2019](#) d'après [Da Lage et Métaillé, 2000](#)) – Retour à la citation [ici](#)

Liste des codes espèces

Calvul = *Calluna vulgaris*

Ericil = *Erica ciliaris*

Ericin = *Erica cinerea*

Erisco = *Erica scoparia*

Eritet = *Erica tetralix*

Fraaln = *Frangula alnus*

Lonper = *Lonicera periclymenum*

Potere = *Potentilla erecta*

Pselon = *Pseudarrhenatherum longifolium*

Querob = *Quercus robur*

Simmat = *Simethis mattiazzii*

Uleeur = *Ulex europaeus*

Ulemin = *Ulex minor*

Introduction

« Par leur richesse en habitats et en espèces, leur rôle d'infrastructure naturelle, leur place comme support d'activités et cadre de vie de qualité, les milieux humides sont des espaces à forts enjeux écologique, économique et social. » ([Ministère de la Transition écologique, 2022](#)). Aujourd'hui en France, l'intérêt majeur des zones humides pour le vivant, Homme inclus, est reconnu par l'État. Pourtant, au cours du XX^{ème} siècle, près des « *deux tiers des zones humides ont disparu en France* » ([Bernard, 1994](#) d'après [Barnaud et al., 1994](#)). Les menaces qui pèsent sur la ressource en eau et ses milieux naturels et semi-naturels associés ont conduit l'État français à adopter le 3 janvier 1992 la loi n°92-3, dite « loi sur l'eau ». Elle définit l'eau comme appartenant au « *patrimoine commun de la nation* » et affirme d'intérêt général « *sa protection, sa mise en valeur et le développement de la ressource utilisable dans le respect des équilibres naturels* ». Par ailleurs, les zones humides y sont définies comme des « *terrains, exploités ou non, habituellement inondés ou gorgés d'eau douce, salée ou saumâtre de façon permanente ou temporaire* ». Cette loi, à travers la rubrique 3.3.1.0 de l'article R214-1 du code de l'environnement, soumet tout projet induisant « [l']assèchement, [la] mise en eau, [l']imperméabilisation, [le] remblais de zones humides ou de marais » à déclaration lorsque les surfaces impactées sont comprises entre 0,1 ha et 1 ha et à autorisation lorsqu'elles excèdent 1 ha.

Introduites par la loi n°76-629, les études d'impacts visent, depuis la loi n°2016-1087 du 8 août 2016 pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages, à une « *absence de perte nette de biodiversité, voire [une tendance] vers un gain de biodiversité* ». L'emprise et les fonctionnalités des zones humides sont prises en compte au sein de ces études par l'application de la séquence Éviter-Réduire-Compenser (dite « séquence ERC »). Plus précisément, l'arrêté du 24 juin 2008 (modifié en 2009) précise les modalités d'application du décret n°2007-135 du 30 janvier 2007 fixant les critères de définition et de délimitation des zones humides. L'arrêté donne les critères de délimitation de zones humides en s'appuyant sur le sol, d'une part, et la végétation d'autre part. Concernant la végétation, une liste nationale d'espèces indicatrices ainsi qu'une liste de communautés végétales caractéristiques de zones humides figurent en annexe de l'arrêté. Elles peuvent être adaptées au niveau régional par arrêté préfectoral. L'arrêté de 2008 est accompagné de la circulaire du 18 janvier 2010 relative à la délimitation des zones humides pour en faciliter l'application. La définition réglementaire d'une zone humide réside ainsi sur la prise en compte de ces deux critères alternatifs que sont le sol et la végétation.

Les Landes de Gascogne s'inscrivent dans un contexte historique, pédologique et agricole étroitement lié à l'abondance de zones humides. En effet, les sols et les sous-sols locaux sont soumis à l'influence de la nappe phréatique épaisse de 10 à 130 mètres, parfois affleurante ou subaffleurante ([Jolivet et al., 2007](#)). Le matériel parental est un substrat sableux datant du

Pléistocène supérieur ([Klingebl et Legigan, 1985](#) ; [Jamagne et al., 2011](#)). Ces sables grossiers sont acides (pH entre 3.5 et 5.5), filtrants et oligotrophes ([Trichet et al., 1999](#) ; [Jolivet et al., 2007](#)). Les zones d’affleurement de la nappe ont conduit à la formation d’une lande hygrophile autrefois entretenue par pâturage extensif, bloquant la succession végétale au stade de lande, amplifiant la pauvreté trophique et l’acidité des sables ([Lafon, 2019](#) d’après [Duchaufour, 1948](#)). À partir du XIX^{ème} siècle dans les Landes de Gascogne, des pinèdes formées de *Pinus pinaster* furent plantées et exploitées. L’exploitation de ces cultures, dont l’un des objectifs était « l’assainissement » des landes hygrophiles, a contribué à l’assèchement de zones fortement humides par l’aménagement de crastes¹, modifiant à des échelles locales la hauteur de la nappe phréatique ([Besbès, 1963](#)). Enfin, la topographie est souvent peu marquée dans le massif. Ces paramètres font du plateau landais une entité paysagère singulière et relativement homogène. La présence d’un matériau sableux fortement perméable, la végétation acidifiante riche en *Ericaceae* (et aujourd’hui en *Pinus pinaster*), la nappe phréatique peu profonde ainsi que l’importante pluviométrie régionale passée et présente ont fait évoluer les sols selon le processus de podzolisation, formant ainsi des PODZOSOLS ([Duchaufour, 1948](#)).

Dans le cadre de l’arrêté du 24 juin 2008 modifié par l’arrêté du 1^{er} octobre 2009, les PODZOSOLS HUMIQUES et HUMO-DURIQUES sont considérés comme des « *cas particuliers* », caractéristiques de zones humides selon certaines conditions. En effet, « *l’excès d’eau [prolongé] ne se traduit pas par les traits d’hydromorphie habituels facilement reconnaissables* » ; l’analyse des caractéristiques hydrologiques est alors indispensable. *A minima*, les mesures de la « *profondeur maximale du toit de la nappe* » et de la « *durée d’engorgement en eau* » sont exigées. La mise en œuvre de ces mesures peut se faire par l’installation de piézomètres, qui est contraignante techniquement et financièrement (Comm. Pers. Douarre M.).

Historiquement, les landes à *Molinia caerulea*, faciès dégradés de landes humides, sont utilisées comme indicateur des zones humides pour le critère « *végétation* ». En effet, cette espèce est listée dans l’arrêté de juin 2008 comme « *espèce indicatrice* » de zones humides. Cependant, cette espèce sociale à multiplication végétative, semble favorisée par le travail du sol par l’éclatement de ses touffes ([Timbal et Maizeret, 1998](#)). L’utilisation du rouleau landais entraînerait une augmentation de son recouvrement de 50 à 90% ([GEREA, 1985](#)). De plus, l’espèce se développe sur des « *sol[s] pouvant présenter de grandes variations d’humidité selon l’intensité de l’hydromorphie* » ([Rameau et al., 1989](#)). Par ailleurs, d’autres espèces compétitrices à expansion parfois rapide comme *Pteridium aquilinum* ou *Pseudarrhenatherum longifolium* sont très développées au sein du massif landais et contribuent à l’homogénéisation des milieux semi-naturels de ce dernier ([Timbal et Maizeret, 1998](#)).

Ainsi, la présente étude a pour objectif de préciser le potentiel indicateur d’espèces végétales et de végétations dans ce contexte singulier. L’axe de recherche principal s’oriente vers

l'évaluation du pouvoir indicateur des espèces pour la prédiction d'un excès d'eau prolongé dans le sol. Le caractère indicateur de *Molinia caerulea*, particulièrement de son port en touradon, sera également étudié.

1. Méthodes

1.1 Site d'étude

1.1.1 Localisation et présentation

L'étude a été menée au sein du massif boisé du Lignan, situé sur la commune de Saint-Médard-en-Jalles et propriété de CDC Biodiversité ([fig. 1](#)). Le site a été choisi pour sa proximité avec les locaux de l'agence (20 km), la possibilité d'y accéder librement et pour la présence de nombreuses données utiles à l'étude, récoltées depuis 2017.

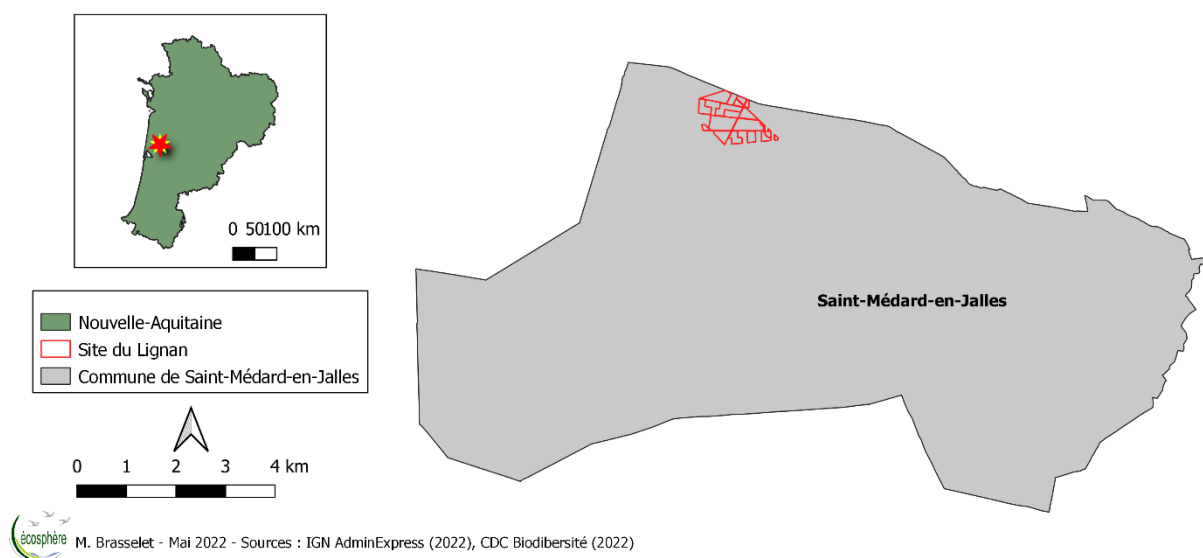


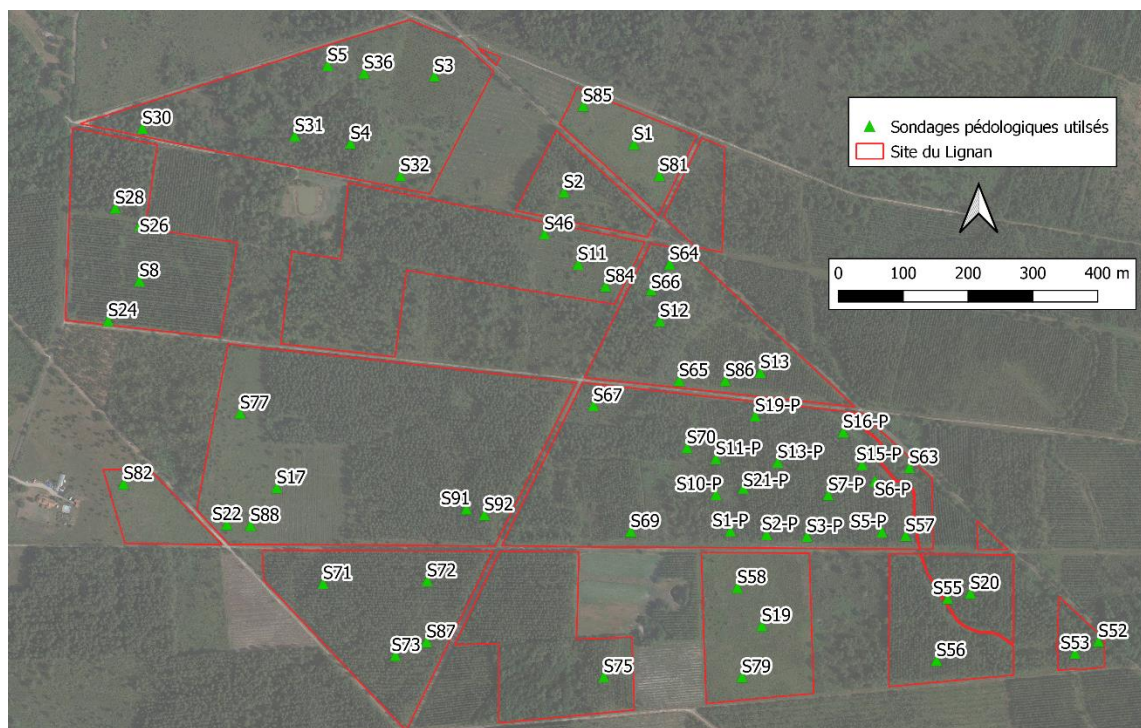
Figure 1 : Localisation du site d'étude

La propriété de CDC Biodiversité est un ensemble de parcelles de compensation pour les projets ou les futurs projets d'aménagements du territoire, ayant un impact résiduel sur la faune, la flore et les zones humides. Les compensations sont axées sur des espèces faunistiques et floristiques protégées, fréquemment rencontrées dans le massif landais : *Sylvia undata* (Fauvette pitchou), *Coenonympha oedippus* (Fadet des laïches) ou encore *Drosera intermedia* (Rossolis à feuilles intermédiaires).

Le Lignan étant également un site de compensation pour les zones humides, des investigations sur leur délimitation ont été réalisées et ont fourni des données essentielles à l'étude.

1.1.2 Données disponibles

Une cartographie des habitats du site a été réalisée par Écosphère en 2017. Elle est actualisée annuellement. De plus, Envolis (bureau d'études environnementales) a réalisé, entre 2017 et 2019, un total de 105 sondages pédologiques complétés par Biotope (bureau d'études environnementales) en 2020 avec 12 sondages. Les données issues de certains de ces sondages ont été utilisées et localisées sur la [figure 2](#).

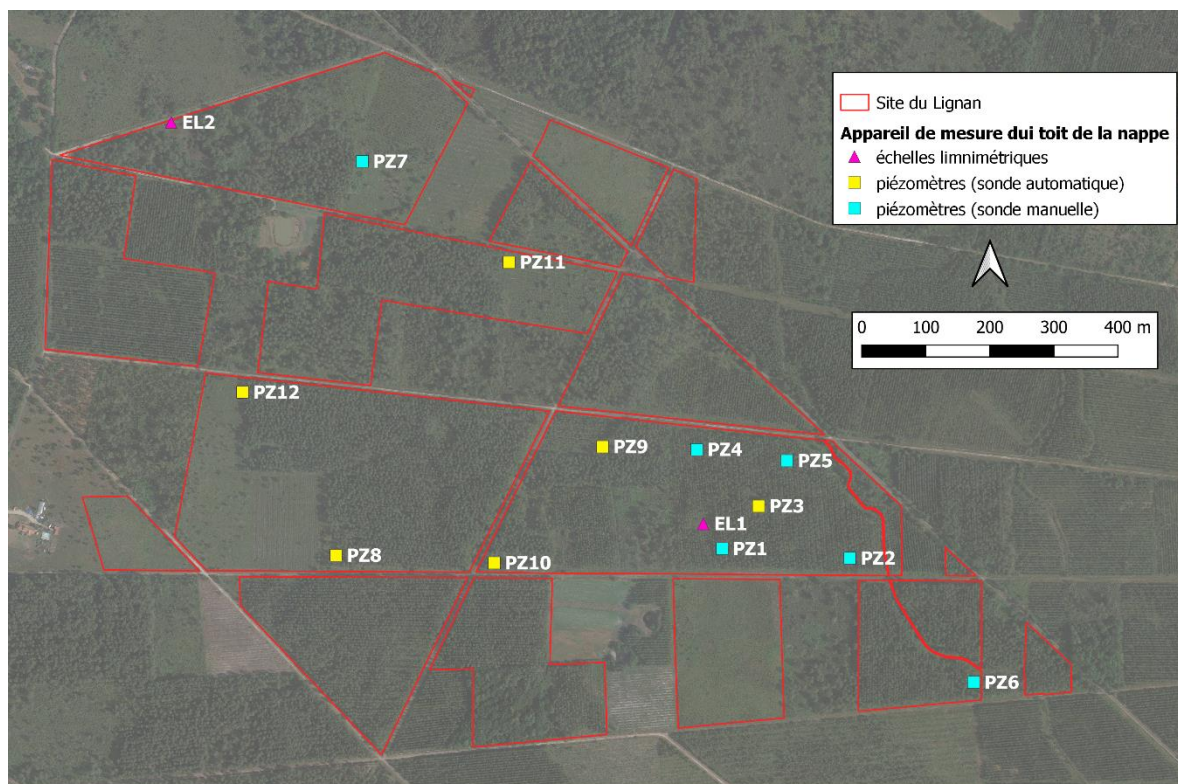


M. Brasselet - Juillet 2022 - Sources : CDC Biodiversité (2021)

Figure 2 : Localisation des sondages pédologiques utilisés pour l'étude

Les noms des sondages ont été hérités des études précédemment mises en œuvre sur le site du Lignan ; ils ont été conservés pour faciliter le traitement des données.

Ces informations ont été complétées par les 12 piézomètres installés sur le site d'étude, permettant l'acquisition des données hydrologiques nécessaires à la classification des sondages dans les « *cas particuliers* » de l'arrêté de 2008. Parmi ces piézomètres, la moitié sont automatiques et les autres sont manuels. Par ailleurs, 2 échelles limnimétriques ont été installées au niveau de lagunes ([fig. 3](#)).



M. Brasselet - Mai 2022 - Sources : CDC Biodiversité (2021)

Figure 3 : Localisation des piézomètres et des échelles limnimétriques du Lignan

Les données récoltées par les piézomètres ont été utilisées par Envolis pour réaliser le suivi de la nappe phréatique du site de décembre 2020 à décembre 2021 ([Roussel et Mendiboure, 2021](#)).

1.2 Phase de terrain

La phase de terrain a eu pour objectif d'associer un relevé phytosociologique à chacun des sondages pédologiques conservés pour l'étude. Parmi les données stationnelles, plusieurs paramètres liés aux pinèdes et à la végétation sous-jacente ont été relevés.

1.2.1 Sondages conservés et modalités

La première étape a consisté à visiter l'intégralité des sondages pédologiques réalisés sur le site afin de définir des catégories selon les végétations rencontrées et le contexte au sein duquel elles se sont développées. Au total, 11 catégories ont été définies ([tableau 1](#)).

Tableau 1 : Formations végétales et contexte des catégories utilisées pour le tri des sondages.
Légende : M. = *Molinia* ; F. = *Frangula* ; E. = *Erica* ; U. = *Ulex* ; C. = *Calluna* ; P. = *Pteridium*

Catégories	Formations végétales	Sous-modalités	Contexte
C1-a	Lande à <i>M. caerulea</i> (T)	<i>F. alnus</i> + <i>E. scoparia</i> + <i>U. europaeus</i>	Forestier
C1-b	Lande à <i>M. caerulea</i> (T)	<i>F. alnus</i> + <i>E. scoparia</i> + <i>U. europaeus</i>	Non forestier
C2	Lande à <i>M. caerulea</i> (T)	<i>F. alnus</i> + <i>E. scoparia</i>	Forestier
C3	Lande à <i>M. caerulea</i> (T)	<i>F. alnus</i> + <i>E. scoparia</i> + <i>U. minor</i>	Forestier
C4	Ourlet à <i>P. aquilinum</i>	Divers	Divers
C5-a	Lande à <i>U. europaeus</i>	Divers	Forestier
C5-b	Lande à <i>U. europaeus</i>	Divers	Non forestier
C6	Lande à <i>M. caerulea</i> (divers)	<i>C. vulgaris</i>	Forestier
C7	Lande à <i>M. caerulea</i> (non en T)		Forestier
C8	Lande à <i>M. caerulea</i> (T)	<i>E. tetralix</i> + <i>E. ciliaris</i>	Non forestier
C9	Lande à <i>M. caerulea</i> (divers)	<i>P. aquilinum</i>	Forestier

Pour chacune des modalités, un minimum de 5 sondages a été conservé ([tableau 2](#)). Pour les catégories excédant la limite de 5 sondages, l'intégralité des relevés a été réalisée pour conserver une quantité maximale d'informations.

Tableau 2 : Sondages conservés, classés selon les catégories définies

Catégories	Sondages conservés	Sondages additionnels
C1-a	8 ; 13 ; 1-P ; 86 ; 2-P	X
C1-b	12 ; 32 ; 7-P ; 19 ; 65	X
C2	5 ; 72 ; 75 ; 91 ; 36	71 ; 87
C3	55 ; 81 ; 57 ; 31 ; 56	13-P ; 15-P
C4	28 ; 20 ; 4 ; 52 ; 19-P	16-P
C5-a	3 ; 11 ; 73 ; 2 ; 84	X
C5-b*	1 ; 77 ; 24 ; 67	X
C6	22 ; 26 ; 82 ; 85 ; 79	17
C7	30 ; 69 ; 5-P ; 11-P ; 6-P	X
C8	46 ; 58 ; 64 ; 10-P ; 21-P	70
C9	53 ; 63 ; 3-P ; 66 ; 81	88

*catégorie ne respectant pas la limite minimale de 5 sondages : seulement 4 sondages pédologiques ont été réalisés au sein de ce type de végétation.

À la suite de cette première étape, les relevés phytosociologiques pour chacun des sondages conservés ont été effectués entre mi-mai et mi-juin 2022.

1.2.2 Relevés phytosociologiques

Les relevés de végétations ont été fait selon la méthode phytosociologique sigmatiste. La première étape a consisté à repérer l'individu d'association² (IA) dans lequel le sondage pédologique a été réalisé à l'aide d'un appareil utilisant l'application *ArcGIS Field Maps*. Les zones de transition entre les différents IA ont été évitées ([fig. 4](#)).

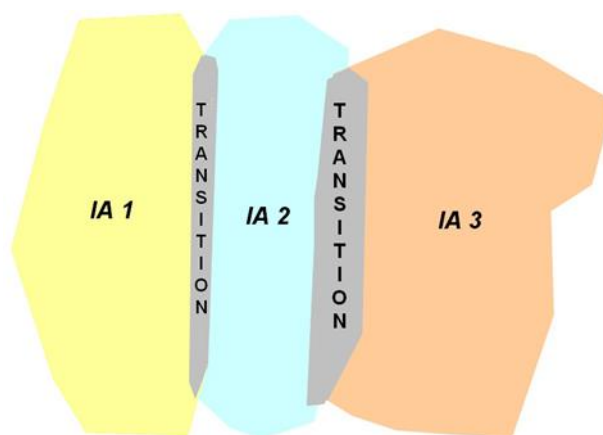


Figure 4 : Assemblage théorique des individus d'associations (M. Brasselet)

Dans un premier temps, une aire d'1 m² a été délimitée. Au sein de cette aire, l'intégralité des individus présents a été identifiée à l'espèce ou à la sous-espèce avant de doubler l'aire du relevé. Parallèlement à cette étape, la courbe aire-espèce, représentant l'augmentation du nombre d'espèces en fonction de l'aire du relevé, a été tracée pour repérer l'aire minimale du relevé ([fig. 5](#)). Le calcul de cette dernière avait été réalisé pour chacun des relevés effectués.

L'aire minimale est atteinte lorsque la courbe marque un pallier dans le nombre d'espèces, stoppant l'agrandissement de l'aire du relevé. Par ailleurs, elle est théoriquement comprise entre 100 et 200 m² pour les landes ([Gorenflot et de Foucault, 2005](#)), formations végétales dominantes du massif landais.

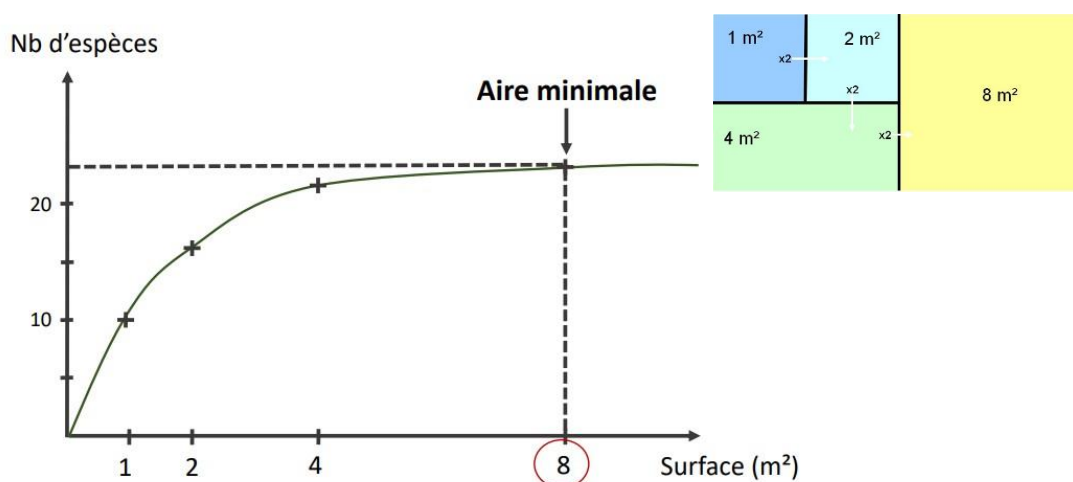


Figure 5 : Courbe aire-espèce théorique (M. Brasselet d'après D. Avril)

Pour chacune des espèces identifiées, un coefficient d'abondance-dominance a été associé. Les coefficients utilisés ont été ceux établis par [Barkman et al. \(1964\)](#) selon l'échelle de [Braun-Blanquet \(1928\)](#) ([tableau 3](#)).

Tableau 3 : Coefficients d'abondance-dominance utilisés ([Barkman et al., 1964](#) d'après [Braun-Blanquet, 1928](#))

Coefficients d'abondance-dominance	Signification
i	Taxon représenté par un individu
r	Taxon très peu abondant
+	Recouvrement <5%, taxon très peu abondant
1	Recouvrement <5%, abondant
2a	Recouvrement compris entre 5 et 15%
2b	Recouvrement compris entre 15 et 25%
3	Recouvrement compris entre 25 et 50%
4	Recouvrement compris entre 50 et 75%
5	Recouvrement >75% de la surface étudiée

L'utilisation de ces coefficients modifiés a permis de détailler le coefficient « 2 » (recouvrement entre 5 et 25% selon [Braun-Blanquet \(1928\)](#)) en deux classes de recouvrement plus précises.

Par ailleurs, pour les végétations s'articulant par strates, les hauteurs limites présentées dans le [tableau 4](#) ont été utilisées.

Tableau 4 : Hauteurs des différentes strates et préfixes associés pour l'analyse ([Delassus, 2015](#))

Strates	Hauteur de la végétation associée (en m)	Préfixes intégrés au nom d'espèce pour l'analyse
Arborescente (A)	>7	A_Nom_espèce
Arbustive (a)	1,5-3	a_Nom_espèce
Herbacée (H)	0,1-2	h_Nom_espèce
Muscinale (m)	0-0,1	m_Nom_espèce

Dans le cas d'une végétation stratifiée, les espèces représentées dans plusieurs strates se voyaient attribuer un coefficient d'abondance-dominance dans chaque strate.

Enfin, pour chacun des relevés, une fiche inventaire du Conservatoire botanique national Sud-Atlantique a été remplie ([annexe 3](#)) ([CBNSA, 2021](#)). En parallèle, d'autres paramètres spécifiques aux contextes de l'étude ont été mesurés.

Hauteur des touradons de Molinia caerulea

Tout d’abord, le port de *Molinia caerulea*, en touradon³ ou non, a été précisé. En présence de touradons, la hauteur de 5 touradons représentatifs du contexte local a été mesurée à l’aide d’un pied à coulisse. Cette mesure a été prise du sol jusqu’au sommet de l’accumulation des feuilles mortes (fig. 6).

A posteriori, la moyenne de la hauteur des 5 touradons mesurés a été calculée et intégrée au jeu de données.



Figure 6 : Mesure de la hauteur d'un touradon

Densité des parcelles et diamètre des arbres

La densité en *Pinus pinaster* a été estimée. En cas d'alignement de ces derniers, l'interligne a été mesurée ainsi que la distance entre 2 individus d'une même rangée. Ensuite, les différentes densités de troncs ont été triées selon les classes suivantes :

- Absence de pins (0)
- Densité faible (1) : Régénération naturelle créant une densité faible souvent variable dans la parcelle ou trouée dans une pinède, avec quelques individus.
- Densité moyenne (2) : Pinède à interlignes larges (> 6 m) et distance assez importante entre les pins (≥ 4 m).
- Densité assez forte (3) : Pinède à interlignes assez larges (5-6 m) et distance moyenne entre les individus d'une même rangée (2-4 m).
- Densité forte (4) : Pinède à interlignes peu larges (< 5 m) ou distance moyenne à faible entre les individus (< 2 m).

Pour les relevés au niveau de pinèdes non-rectilignes, la densité en *Pinus pinaster* a été estimée à vue.

Par ailleurs, le diamètre de 5 troncs de *Pinus pinaster* de l'aire du relevé phytosociologique ont été mesurés à 1,30 mètres du sol ([fig. 7](#)) ([ONF, 2010](#)). Une attention particulière a été accordée au choix d'un échantillon d'arbres représentatifs du contexte général de la parcelle.

L'état sanitaire des parcelles a été observé car il peut être indicateur de forte humidité édaphique (Comm. Pers. Bariteaud J.).



Figure 7 : Mesure du diamètre d'un tronc de *Pinus pinaster*

Cas particulier du genre Rubus

Le genre *Rubus* est un genre complexe, peu connu en France et dont l'identification des espèces sur le terrain est très délicate pour la majorité des botanistes français ([Ferrez et Royer, 2021](#)). Outre la difficulté d'identification des espèces de ce genre, l'absence d'études spécifiques des espèces du massif landais rend impertinent leur utilisation en tant qu'indicateur biologique. Ainsi, pour ce cas précis, les individus n'ont pas tous été déterminés à l'espèce. Seule une espèce l'a été : *Rubus caesius*, listée comme indicatrice de zones humides dans l'arrêté de juin 2008.

Les principaux critères de détermination selon *Flora Gallica* ont été observés sur le terrain. Si un doute persistait sur son appartenance à *Rubus caesius*, l'individu était récolté et identifié à l'aide d'une loupe binoculaire et des ouvrages *Flora Gallica* et *Le genre Rubus dans le nord-est de la France* ([Tison et al., 2014](#) ; [Ferrez et Royer, 2021](#)).

1.3 Traitement des données

L'ensemble des données récoltées sur le terrain a fait l'objet d'un traitement statistique après complétion du jeu de données.

1.3.1 Complétion du jeu de données

Certains paramètres essentiels à l'analyse ont été ajoutés au jeu de données après la phase de terrain. Ces données correspondent à des paramètres n'ayant pas pu être récoltés directement sur le terrain et provenant d'études précédemment initiées sur le site du Lignan.

*Âge des individus de *Pinus pinaster**

Le jeu de données a été complété par l'ajout de l'âge des individus de *Pinus pinaster* des différentes parcelles déduit à l'aide de l'itinéraire sylvicole du site ([Pereira et Marion, 2018](#)). Les classes d'âge suivantes en ont été déduites :

- Absence de *Pinus pinaster* ou repousses clairsemées, naturelles et d'âges différents (0)
- Individus très jeunes (1) : âge inférieur à 4 ans
- Individus jeunes (2) : âge compris entre 4 et 13 ans
- Individus moyens (3) : âge compris entre 14 et 23 ans
- Individus âgés (4) : âge compris entre 24 et 30 ans
- Individus très âgés (5) : âge supérieur à 30 ans

Profondeur de la nappe phréatique

La profondeur de la nappe phréatique sur le site a fait l'objet d'une étude menée en 2020-2021 à l'aide des données récoltées par les piézomètres. Cette étude a permis la production d'une carte piézométrique du site ([annexe 4](#)). Elle présente les mesures de la profondeur de la nappe relevée par les piézomètres (décembre 2020 – décembre 2021) ([annexe 5](#)) ([Roussel et Mendiboure, 2021](#)).

À l'aide des données cartographiques issues de Rge Alti® ([IGN, 2021](#)), l'altitude (en mNGF) de chacun des points a été relevée. De cette altitude a été soustraite la profondeur de la nappe (en mNGF) selon la carte piézométrique. Dans le cas d'une position intermédiaire entre 2 lignes piézométriques, la soustraction a été effectuée sur la base d'une moyenne des deux valeurs. Enfin, dans le cas d'un éloignement important des lignes piézométriques de la carte, la profondeur a été annotée selon le piézomètre le plus proche.

Une variable environnementale a été créée pour chacune des dates étudiées par [Roussel et Mendiboure \(2021\)](#) : mars 2021, Juin 2021, septembre 2021. En 2021, la pluviométrie totale a été de 885 mm, un total légèrement supérieur à la pluviométrie moyenne depuis 2000 (849 mm) ([Météo-France, s. d.](#)). Par ailleurs, une quatrième variable a été créée à partir de la somme des 3 variables précédemment énoncées.

Mise en forme du jeu de données

En vue du traitement statistique des données, les coefficients d'abondance-dominance ont été transformés à l'aide du logiciel *Excel*®. La transformation choisie a été celle de [De Foucault \(1980\)](#) qui correspond à la médiane des classes de recouvrement (2 à 5) définies par [Braun-Blanquet \(1928\)](#) ([tableau 5](#)). Cette transformation a été choisie car elle donne de l'importance aux petits coefficients (*a fortiori* aux espèces à faible recouvrement et effectif). Elle a été adaptée aux coefficients modifiés de [Barkaman et al. \(1964\)](#) en divisant l'intervalle]3,0 ; 37,5[

en deux classes (à la place d'une). Les coefficients « i » et « r » n'ont pas été pris en compte initialement dans les modifications, un coefficient transformé de 0,2 leur a été attribué pour ne pas perdre les informations portées par ces coefficients. Cette valeur (0,2) a été choisie pour garder une échelle supérieure à celle de [Gillet \(2000\)](#) qui accorde moins d'importance aux petits coefficients. Enfin, les cases vides sont remplies par des 0.

Tableau 5 : Transformations des coefficients. ([Barkaman et al., 1964](#) d'après [Braun-Blanquet, 1928](#) ; modifié d'après [De Foucault, 1980](#))

Coefficients initiaux	Coefficients transformés
5	87,5
4	62,5
3	37,5
2b	26,0
2a	14,5
1	3,0
+	0,5
i ; r	0,2

Le jeu de données a ensuite été inséré sur l'interface *RStudio* de la version 4.2.1 du logiciel *R*, utilisé pour l'analyse statistique.

1.3.2 Analyses statistiques

À l'aide du package « *ade4* » ([Dray et Dufour, 2007](#)), une analyse factorielle des correspondances (AFC) suivie d'une classification ascendante hiérarchique (CAH) ont été réalisées.

Dans un second temps, les espèces ont été séparées par groupe selon le dendrogramme issu de la CAH. Pour cela, le package « *NbClust* » ([Charrad et al., 2014](#)) a été utilisé. Il a permis de choisir le meilleur compromis entre le nombre de groupes formés et leur pertinence à travers la valeur de « *Value_Index* ». Pour chacun des groupes d'espèces formés, la valeur indicatrice pour chaque espèce a été calculée ([Dufrene et Legendre, 1997](#)). Pour cela, la fonction « *IndVal* » du package « *vegan* » ([Oksanen et al., 2022](#)) a été utilisée.

Enfin, la corrélation entre la profondeur de la nappe et la hauteur des touradons a été étudiée. Pour cela, des tests de corrélation ont été réalisés à l'aide de la fonction « *cor.test* » du package « *stats* » ([R Core Team, 2022](#)) intégré directement au logiciel *R*. Cette méthode a été utilisée car les données analysées sont indépendantes et leurs relations sont monotones. La relation n'est cependant pas linéaire, elle est donc étudiée selon le coefficient de Spearman spécifié à l'aide de l'argument « *method = "spearman"* ». Ces tests ont été réalisés sur les variables « HN », « HN_0321 », « HN_0621 » et « HN_0921 ».

1.3.3 Modifications avancées des données

Dans le but de tirer un maximum d'informations du jeu de données, différentes versions de ce dernier ont été analysées successivement. Pour formater le jeu de données selon les besoins de l'étude, les modifications suivantes ont été effectuées :

- Les espèces présentes dans 3 relevés ou moins ont été retirées. En effet, elles sont susceptibles de gêner lors de l'analyse graphique.
- Les individus non identifiés jusqu'au genre (*Rubus sp.*) ont également été retirés.
- *Molinia caerulea* a été supprimée du jeu de donnée car elle était présente dans la quasi-totalité des relevés effectués.
- *Pinus pinaster* étant déjà représenté dans les variables environnementales, il n'a pas été conservé en tant qu'espèce pour l'analyse.
- *Pteridium aquilinum* et les relevés dominés par cette dernière ont été retirés. Ils sont floristiquement trop différents et compliquent la lecture des graphiques.

Les différentes versions du jeu de données et les modifications apportées ont été consignées dans un fichier au format *.xls.

1.3.4 Définition des végétations

La liste des végétations rencontrées a été définie à l'aide des relevés phytosociologiques. Les végétations ont été nommées selon les référentiels Corine biotopes et EUNIS ([Bissardon et al., 1997](#) ; [Louvel et al., 2013](#)). Le rattachement au synsystème phytosociologique a été réalisé à l'aide de plusieurs référentiels locaux du conservatoire botanique national Sud-Atlantique ([Lafon et al., 2015](#) ; [Lafon et al., 2018](#)).

1.4 Données autécologique

À la suite des analyses statistiques, les espèces ayant un intérêt particulier selon ces analyses ont été étudiées par le biais de bases de données autécologiques.

1.4.1 Bases de données française et européenne

Les valences écologiques de [Julve \(1998\)](#) pour chaque espèce et celles de [Kattge et al. \(2020\)](#) ont été utilisées. Elles sont basées sur les indicateurs d'[Ellenberg et al. \(1992\)](#). Parmi ces valeurs, l'humidité édaphique, estimée sur une échelle de 1 à 12, ainsi que les conditions de luminosité, estimée sur une échelle de 1 à 9, ont été étudiées ([tableau 6](#)).

Tableau 6 : Signification des valeurs de valence écologique pour l'humidité édaphique et la luminosité ([Julve, 1998](#) adapté d'après [Ellenberg et al., 1992](#))

Valeurs	Humidité édaphique	Luminosité
1	Hyperxérophile	Hypersciaphile
2	Perxérophile	Persciaphile

3	Xérophile	Sciaphile
4	Mésoxérophile	Hémisciaphile
5	Mésohydrique	Héliocline à sciacline
6	Mésohygrocline	Hémihéliophile
7	Hygrophile	Héliophile
8	Hydrophile	Perhéliophile
9	Amphibie saisonnière	Hyperhéliophile
10	Amphibie permanente	X
11	Aquatique superficielle	X
12	Aquatique profonde	X

1.4.2 Valences écologiques suisse

À ces coefficients ont été ajoutés ceux de [Landolt \(1977\)](#), définis pour la Suisse. Cette aire géographique exclut un certain nombre d'espèces présentes au sein du massif landais. Par ailleurs, étant valables pour la Suisse, les coefficients ont été considérés avec réserve. Les valeurs prises par ces coefficients sont les suivantes :

- 1 : Espèces « *fréquentes sur les sols très secs, absentes des sols mouillés, incapable de concurrencer sur les sols humides. Indicatrices nettes de sécheresse.* » ([Landolt, 1977](#)).
- 2 : Espèces « *fréquentes sur les sols secs ; évitant le plus souvent les sols très secs et très mouillés ; en général incapable de concurrencer sur les sols humides. Indicatrices de sécheresse modérée.* » ([Landolt, 1977](#)).
- 3 : Espèces présentes « *sur les sols modérément secs à humides ; en général à amplitude écologique large ; évitant le plus souvent les sols très secs et mouillés. Indicatrices d'humidité moyenne (pas extrêmes, $\pm$ fraîches)* » ([Landolt, 1977](#)).
- 4 : Espèces « *à répartition principale sur les sols humides à très humides ; occasionnellement aussi sur les sols mouillés ; absentes des sols secs. Indicatrices d'humidité* » ([Landolt, 1977](#)).
- 5 : Espèces présentes « *sur les sols mouillés et détrempés ; évitant les sols moyennement humides et secs. Indicatrices des sols mouillés.* » ([Landolt, 1977](#)).

Ces coefficients peuvent être accompagnés de symboles supplémentaires précisant les caractéristiques de l'espèce. Par exemple, la lettre « w » signifie que les espèces sont présentes « *avant tout sur des sols à humidité changeante ; la valeur d'humidité indique l'humidité moyenne du sol, w signifie que le sol peut être considérablement plus humide après les précipitations et plus sec après les périodes sèches que ne l'indique la valeur d'humidité.* ». ([Landolt, 1977](#))

2. Résultats et discussion

2.1 Inertie et dimensions conservées

Les 4 dimensions retenues expliquent plus de 10% de variation entre les relevés. Au total, les 4 axes expliquent près de 55 % ([tableau 7](#)).

Tableau 7 : Dimensions conservées, valeurs propres et pourcentages associés

Dimensions	Valeurs propres (s. u.)	Pourcentages de variation expliqué (%)	Cumul des pourcentages (%)
N°1	0,40	20,10	20,10
N°2	0,28	14,07	34,17
N°3	0,21	10,55	44,72
N°4	0,20	10,05	54,77

Les deux premières dimensions expliquent près de 35% des variations dans le jeu de données. Elles seront donc préférentiellement utilisées au cours de l'analyse.

2.2 Espèces végétales indicatrices

2.2.1 Valeurs indicatrices et groupes d'espèces

Pour définir les espèces végétales indicatrices, des groupes sont formés en fonction de la proximité des espèces. Au total, 5 groupes d'espèces sont identifiés ([fig. 8](#)).

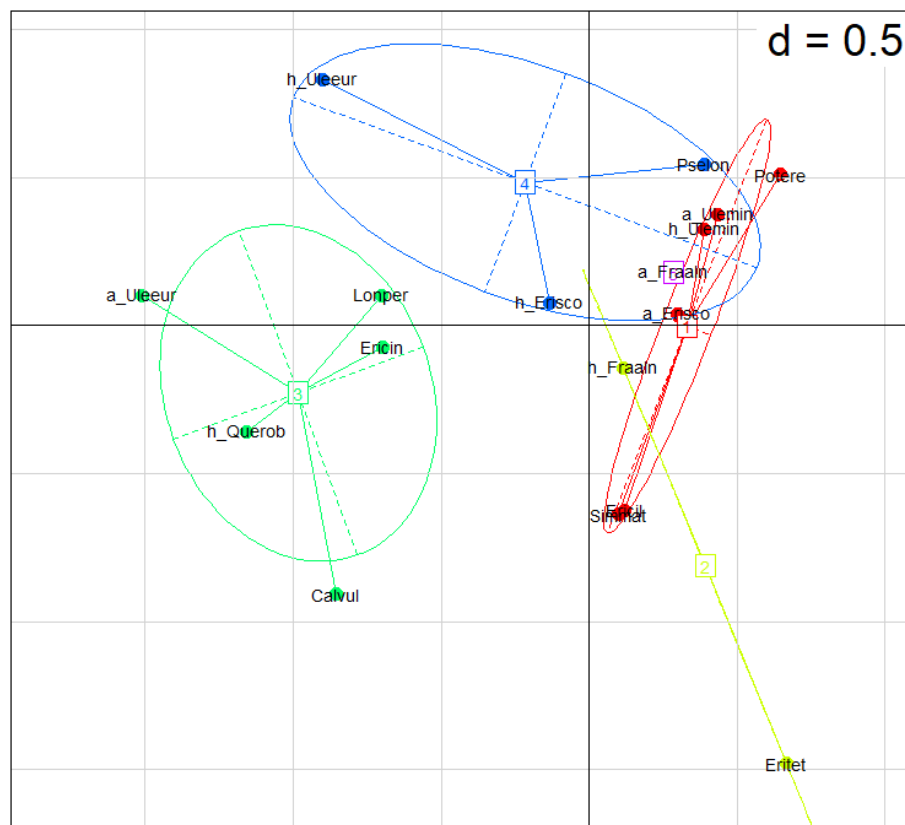


Figure 8 : Projection des groupes d'espèces selon les dimensions 1 et 2 de l'AFC

Pour chacune des espèces formant ces groupes, sa valeur indicatrice pour le groupe est calculée. Elle correspond au produit de la spécificité et de la fidélité de l'espèce pour son groupe. La valeur indicatrice de chaque espèce ainsi que sa probabilité associée sont présentées dans le [tableau 8](#). Cette dernière correspond à la probabilité d'obtenir une valeur indicatrice aussi haute dans la réalité que celle calculée sur la base des relevés de l'étude.

Tableau 8 : Valeurs indicatrices des espèces végétales classées par groupes (Légende : S. a. = Strate arbustive ; S. h. = Strate herbacée)

Espèces	Groupes	Valeurs indicatrices	Probabilités
<i>Ulex minor</i> (S. a.)	1	0,499	0,01
<i>Ulex minor</i> (S. h.)	1	0,467	0,001
<i>Erica scoparia</i> (S. a.)	1	0,416	0,001
<i>Erica ciliaris</i>	1	0,239	0,414
<i>Potentilla erecta</i>	1	0,149	0,537
<i>Simethis mattiazzii</i>	1	0,126	0,719
<i>Frangula alnus</i> (S. h.)	2	0,543	0,006
<i>Erica tetralix</i>	2	0,393	0,043
<i>Ulex europaeus</i> (S. a.)	3	0,763	0,001
<i>Quercus robur</i> (S. h.)	3	0,637	0,013
<i>Lonicera periclymenum</i>	3	0,605	0,007
<i>Calluna vulgaris</i>	3	0,453	0,013
<i>Erica cinerea</i>	3	0,226	0,271
<i>Pseudarrhenatherum longifolium</i>	4	0,419	0,059
<i>Ulex europaeus</i> (S. h.)	4	0,418	0,023
<i>Erica scoparia</i> (S. h.)	4	0,247	0,775
<i>Frangula alnus</i> (S. a.)	5	0,366	0,001

Les valeurs indicatrices obtenues sont à nuancer, les probabilités étant faibles pour un grand nombre d'espèces. Ces dernières sont classées dans ce tableau par groupe et par ordre croissant de valeurs indicatrices. Ainsi, les premières espèces de chacun des groupes sont indicatrices du groupe formé. Les 5 groupes semblent s'articuler selon un gradient selon leur valence écologique pour le critère « humidité édaphique » ([tableau 9](#)).

Tableau 9 : Conditions d'humidité édaphique par espèce ((1) [Julve, 1998](#) ; (2) [Kattge et al., 2020](#))

Espèces	Groupes	Humidité édaphique (1)	Humidité édaphique (2)
<i>Pseudarrhenatherum longifolium</i>	4	4	NA
<i>Ulex europaeus</i> (S. h.)	4	4	5
<i>Erica scoparia</i> (S. h.)	4	4	NA
<i>Ulex europaeus</i> (S. a.)	3	4	5
<i>Quercus robur</i> (S. h.)	3	5	5
<i>Lonicera periclymenum</i>	3	5	6
<i>Calluna vulgaris</i>	3	5	6
<i>Erica cinerea</i>	3	4	5

<i>Ulex minor</i> (S. a.)	1	6	6
<i>Ulex minor</i> (S. h.)	1	6	6
<i>Erica scoparia</i> (S. a.)	1	4	NA
<i>Erica ciliaris</i>	1	6	7
<i>Potentilla erecta</i>	1	5	7
<i>Simethis mattiazzii</i>	1	5	5
<i>Frangula alnus</i> (S. h.)	2	8	8
<i>Erica tetralix</i>	2	7	8
<i>Frangula alnus</i> (S. a.)	5	8	8

- Le groupe n°4 est formé d'espèces mésoxérophiles (*Ulex europaeus* (S. herbacée), *Pseudarrhenatherum longifolium*, *Erica scoparia* (S. herbacée)) ([Julve, 1998](#) ; [Kattge et al., 2020](#)).

- Le groupe n°3 est dominé par des espèces mésohydriques (*Lonicera periclymenum*, *Calluna vulgaris* et *Quercus robur* (S. herbacée)). Il comporte également des espèces mésoxérophiles (*Ulex europaeus* (S. arbustive), *Erica cinerea*) ([Julve, 1998](#) ; [Kattge et al., 2020](#)).

- Le groupe 1 est formé majoritairement d'espèces mésohygroclines (*Ulex minor* (S. herbacée et arbustive) et *Erica ciliaris*) et d'espèces mésohydriques (*Potentilla erecta* et *Simethis mattiazzii*). Cependant, ce groupe contient également *Pseudarrhenatherum longifolium* et *Erica scoparia* (S. arbustive), espèces mésoxérophiles ([Julve, 1998](#) ; [Kattge et al., 2020](#)).

- Le groupe n°2 contient *Erica tetralix*, espèce hygrophile, et *Frangula alnus* (S. herbacée), espèce hydrophile ([Julve, 1998](#) ; [Kattge et al., 2020](#)).

- Le groupe n° 5 contient uniquement *Frangula alnus* (S. arbustive), espèce hydrophile ([Julve, 1998](#) ; [Kattge et al., 2020](#)).

La différence entre une espèce hygrophile et une espèce hydrophile selon [Julve \(1998\)](#) se base sur la différence de durée d'engorgement du sol. Une espèce hygrophile se développe sur des sols avec une « *durée d'inondation* [de] *plusieurs semaines* » contre « *plusieurs mois* » pour une espèce hydrophile.

La différence de position entre les mêmes espèces se développant dans des strates différentes peut s'expliquer par la plus petite taille des jeunes individus qui peuvent ainsi survivre au sein de microtopographies favorables, notamment formées par les touradons de *Molinia caerulea*. Tous les individus de la strate herbacée n'atteindront pas forcément une taille adulte si les conditions dans lesquelles elles croissent préférentiellement ne sont pas remplies.

Les 5 groupes d'espèces semblent s'articuler selon un gradient d'humidité ([fig. 9](#)). Ce gradient est formé par les moyennes (par groupe) des valeurs d'humidité édaphique.

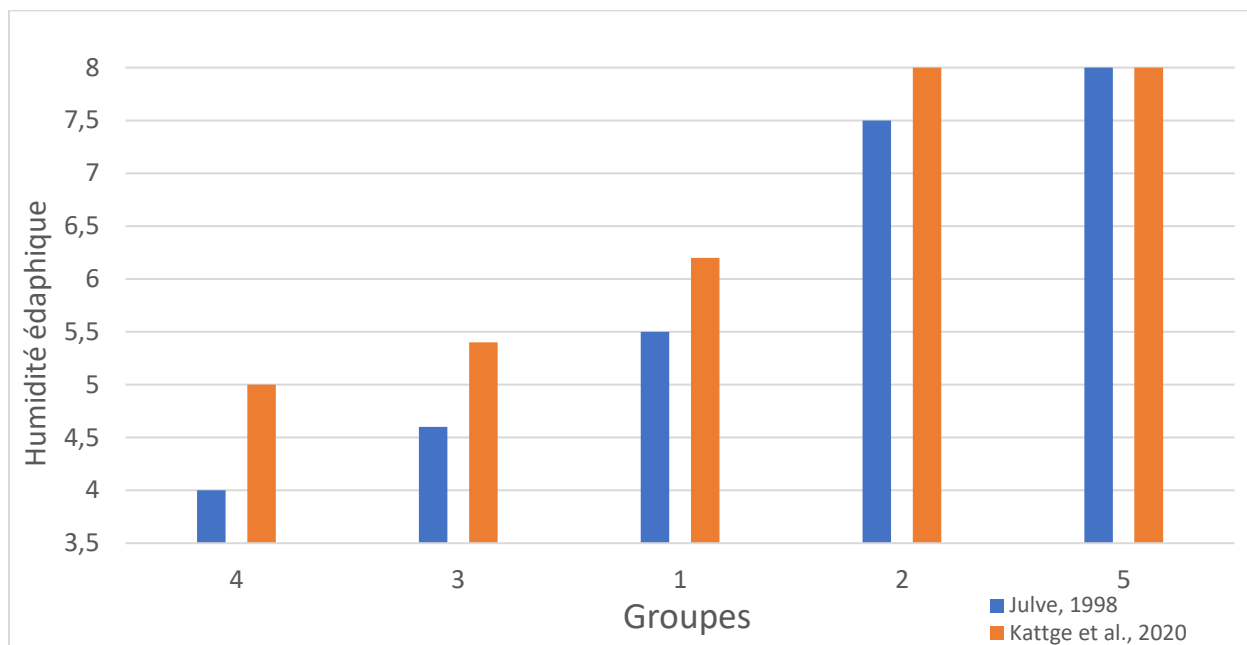


Figure 9 : Moyennes des valeurs d'humidité édaphique par groupe (Julve, 1998 ; Kattge et al., 2020)

Le palier marqué par les valeurs selon [Kattge et al. \(2020\)](#) est dû à la différence de valeurs entre les 2 bases de données utilisées.

Les valences écologiques concernant la luminosité ne semblent pas différencier clairement les groupes d'espèces. Ces derniers ont tous une valeur moyenne comprise entre 6 (espèce hémihéliophiles) et 8 (espèces perhéliophiles) sans assemblage identifiable ([Julve, 1998](#)).

2.2.2 Pertinence des indicateurs

Pour les analyses suivantes, les strates sont rassemblées pour les espèces présentes dans de 2 strates afin d'étudier leur répartition générale au sein des relevés par occurrence.

La [figure 10](#), montre que *Frangula alnus* est présente dans tous les relevés analysés. Cette observation contribue à expliquer sa forte différenciation dans les groupes. Sa présence au niveau de l'ensemble des relevés ne semble pas faire d'elle un bon indicateur. De plus, selon [Landolt \(1977\)](#) elle est « *indicatrice d'humidité* » mais est présente « *avant tout sur des sols à humidité changeante* », sur des sols « *en moyenne* » humides à très humides.

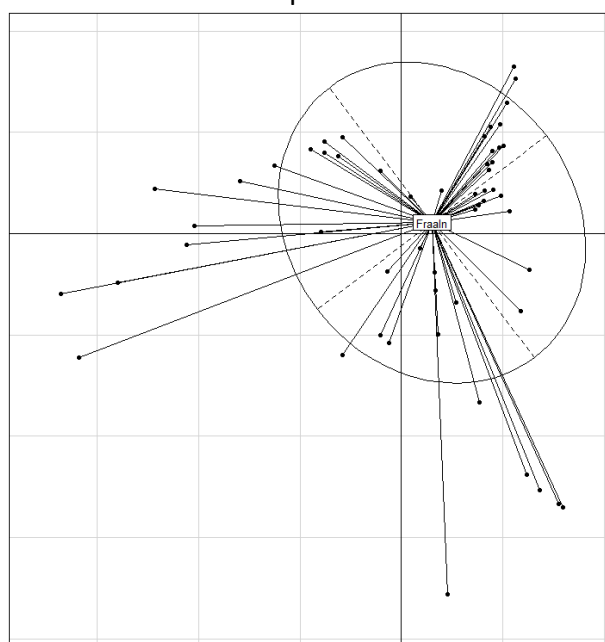


Figure 10 : Distribution de *Frangula alnus* au sein des relevés

Cette observation permet d'émettre l'hypothèse que le site présente des sols à humidité globalement marquée sur l'ensemble de sa surface. Les variations d'engorgement sont probablement peu accentuées et n'induisent pas de réponses contrastées de la végétation. Les variations observables de la flore pourraient alors être davantage conditionnées par l'itinéraire sylvicole ou la gestion écologique des milieux que par l'humidité édaphique.

La [figure 11](#) présente la distribution de 3 espèces indicatrices des groupes d'espèces définis. Seule *Erica tetralix* n'est pas indicatrice de son groupe mais est conservée pour palier à l'écartement de *Frangula alnus*. Chacun des graphiques présente la distribution d'une des espèces au sein des relevés.

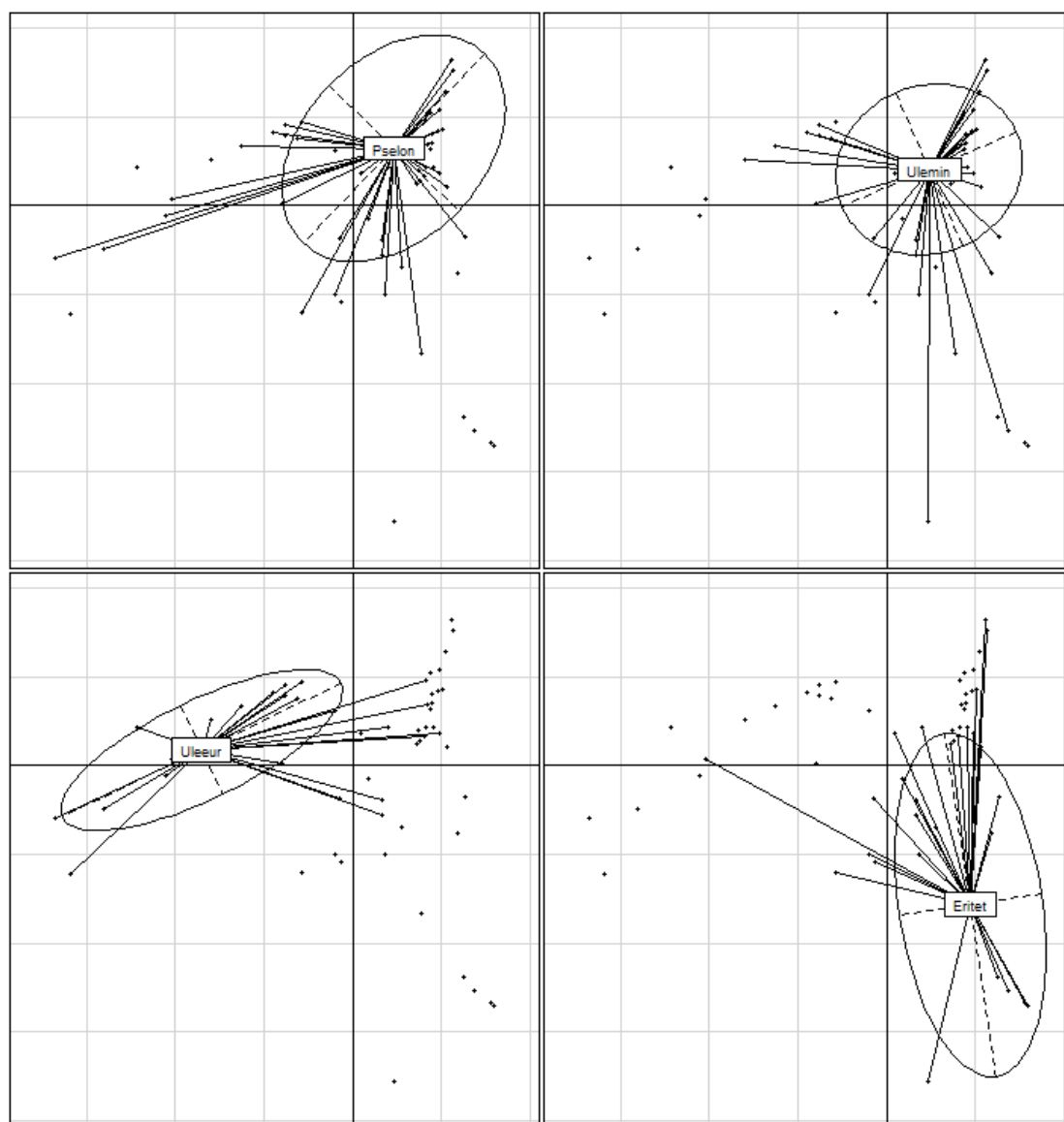


Figure 11 : Distribution de *Pseudarrhenatherum longifolium*, *Ulex minor*, *Ulex europaeus* et *Erica tetralix* (de gauche à droite et de haut en bas) dans les relevés

Pseudarrhenatherum longifolium (en haut à gauche) est présent dans un groupe de relevés proche d'*Ulex minor* (en haut à droite) mais sa présence s'étale au sein des relevés en condition plus xérique dominés par *Ulex europaeus* (en bas à droite). A contrario, *Ulex minor* se retrouve dans les relevés contenant *Erica tetralix*. À travers ce graphique, deux duos d'espèces indicatrices sont visibles : *Erica tetralix* - *Ulex minor* et *Ulex europaeus* - *Pseudarrhenatherum longifolium*. Le premier duo cité est formé d'espèces mésohygroclines à hygrophiles tandis que le second est formé d'espèces mésoxérophiles ([Julve, 1998](#)). Chacun des duos d'espèces est indicateur soit de végétations mésohygrophile à hygrophile (*E. tetralix* – *U. minor*) soit de végétations mésoxérophiles à xérophiles (*U. europaeus* – *P. longifolium*). Ces observations sont cependant à nuancer car les graphiques montrent également la présence commune d'*U. minor* et de *P. longifolium* dans de nombreux relevés. Ensuite, la réponse de la flore à la profondeur de la nappe phréatique a été étudiée. Une attention particulière sera portée, dans ce qui suit, aux espèces citées au sein de cette partie.

2.3 Lien nappe - végétation

2.3.1 Vérification préalable de la fiabilité des données piézométriques

Préalablement à toute analyse, les informations récoltées lors des sondages pédologiques par Envolis ont été confrontées à la modélisation de la nappe (issue des données des piézomètres) dans le but de vérifier leur cohérence. Certaines incohérences ont été détectées avec des sondages pédologiques présentant des traces d'hydromorphie avec une nappe présente en profondeur, à une distance importante de ces traces. Ceci peut s'expliquer par des hétérogénéités de l'aquifère qui peuvent induire des variations locales. Par ailleurs, certaines espèces hygrophiles à hydrophiles sont présentes au niveau de zones où la nappe n'est pas affleurante ou subaffleurante, ni selon les données piézométriques ni selon les sondages pédologiques.

Plusieurs hypothèses sont plausibles. Tout d'abord, le décalage entre les années de réalisation des sondages pédologiques et de récolte des données piézométriques peut expliquer certaines différences. À cela, il faut ajouter les relevés phytosociologiques réalisés sur une année différente. La seconde hypothèse est que le forage par les piézomètres a pu transpercer l'alias⁴ sur certaines zones conduisant au déversement de la nappe perchée au sein de la nappe sous l'alias par gravité ou inversement à la remontée de la nappe sous pression sous l'alias. Cette hypothèse inclue la possibilité de présence d'une nappe perchée.

Ainsi, les résultats de cette partie de l'analyse, essentielle au sujet, doivent être étudiés mais **nuancés** au vu des incertitudes autour de la fiabilité des données récoltées. Par ailleurs, il serait pertinent de savoir si les relevés piézométriques ont été réalisés à l'équilibre hydrostatique.

2.3.2 Occurrence des espèces végétales selon la profondeur de nappe

La valeur du premier quartile de la profondeur totale de la nappe est utilisée en tant que seuil pour séparer les relevés en 2 groupes : les relevés A dont la somme est inférieure à 3,2 mNGF et les relevés B. Les relevés A correspondent donc à des relevés sur des zones au sein desquelles la nappe est plus affleurante.

La [figure 12](#) est basée sur l'occurrence des espèces dans les relevés. La droite (d'équation $y=x$) sépare les espèces présentes préférentiellement dans les relevés A (en haut) de celles des relevés B (en bas).

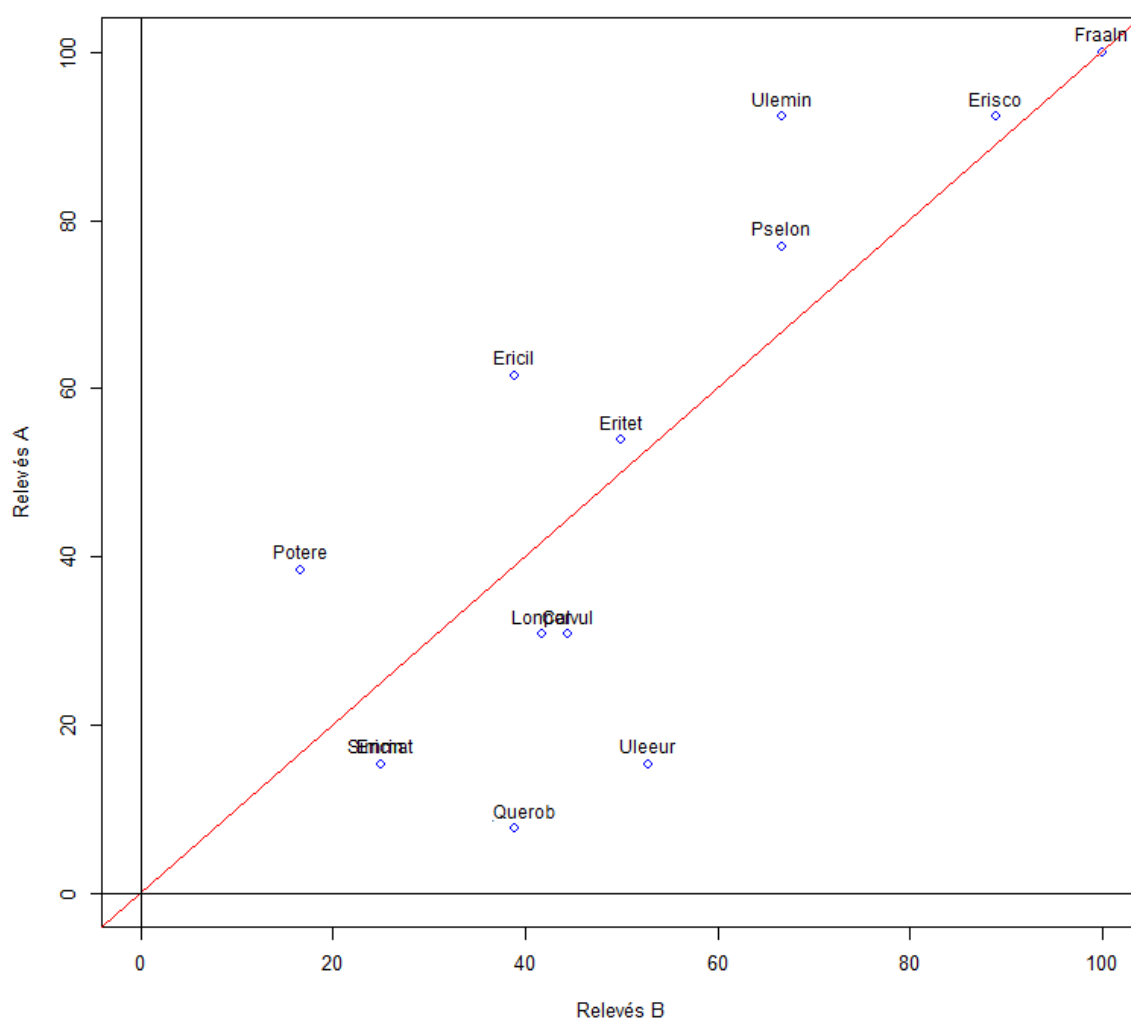


Figure 12 : Fréquences d'occurrences des taxons au sein des relevés A et B. Seuil = 3,2 mNGF

Frangula alnus se trouve sur la droite car elle est présente parmi tous les relevés conservés. Cette observation appuie les affirmations précédentes : sur le site du Lignan, *Frangula alnus* n'est pas un indicateur pertinent. *Erica scoparia* est également présente dans un très grand nombre de relevés des deux groupes. Ces observations ne sont pas surprenantes, les espèces sont fortement développées dans le massif landais et particulièrement sur le site d'étude.

Erica tetralix est centrale et proche de la ligne, montrant qu'elle est présente dans un nombre de relevés équivalents pour les 2 groupes. Cette observation questionne quant à la fiabilité des données utilisées. En effet, l'espèce est connue pour être strictement inféodée à des sols à hydromorphie marquée. *A contrario*, la position centrale de *Pseudarrhenatherum longifolium* peut s'expliquer par son fort pouvoir multiplicateur, particulièrement dans un contexte de travail du sol important ([Timbal et Maizeret, 1998](#)).

Ulex europaeus et *Quercus robur* semblent former un pôle d'espèces présentes préférentiellement dans les relevés B. Elles sont présentes dans un relatif grand nombre de relevés de ce groupe et dans peu de relevés du groupe A. Leur présence pourrait alors être un indicateur de sécheresse. À l'inverse, *Lonicera peryclimenum*, *Calluna vulgaris*, *Erica cinerea* et *Simethis mattiazzii* présentent des positions relativement centrales malgré leur préférence pour les relevés B.

Ulex minor possède une position intéressante. L'espèce est fortement présente dans les relevés A. Elle l'est également dans les relevés B mais dans une moindre mesure. Cette espèce serait à suivre au vu des premiers résultats obtenus. Elle est également l'une des plus présente parmi les relevés B. Ce fort développement dans des relevés et sa tendance à se développer majoritairement au sein de zones plus humides font d'elle une espèce dont il serait intéressant d'étudier les propriétés plus en détail.

Potentilla erecta est près de deux fois plus présente parmi les relevés A que les relevés B. Cette position est intéressante malgré une relativement faible présence globale sur le site d'étude.

En résumé, une part importante des espèces présentent une position centrale avec des préférences faiblement marquées. Parmi les espèces citées, *Ulex europaeus* et *Quercus robur* semblent former un pôle d'espèces se développant préférentiellement au sein des relevés B. Ces espèces pourraient indiquer une certaine sécheresse édaphique. *Potentilla erecta* est l'espèce dont la position est la plus indicatrice d'une affinité pour une humidité édaphique marquée. Cependant, sa faible abondance semble être un frein à son utilisation en tant qu'indicateur. Enfin, *Ulex minor*, se développant dans un grand nombre de relevés, semble présent à une position intermédiaire avec une préférence pour les relevés plus humides. Ainsi, après confirmation, l'espèce pourrait être utilisée comme indicatrice de conditions mésophiles à mésohygrophiles.

2.3.3 Hauteur des touradons et profondeur de la nappe

La corrélation entre la hauteur des touradons de *Molinia caerulea* et la profondeur de la nappe a été étudiée. Au total, 4 tests de corrélation selon le coefficient de Spearman ont été réalisés. Pour l'ensemble de ces tests de corrélation, les hypothèses de test sont les suivantes :

- H_0 : Les deux variables ne sont pas corrélées
- H_1 : Les deux variables sont corrélées

Parmi ces 4 tests, 2 présentent une p-value strictement inférieure au seuil de 0,05. Pour ces 2 tests, H_0 est rejetée au risque $\alpha = 0,05$ d'être dans l'erreur. Les nuages de points correspondant à ces deux tests sont présentés sur la [figure 13](#).

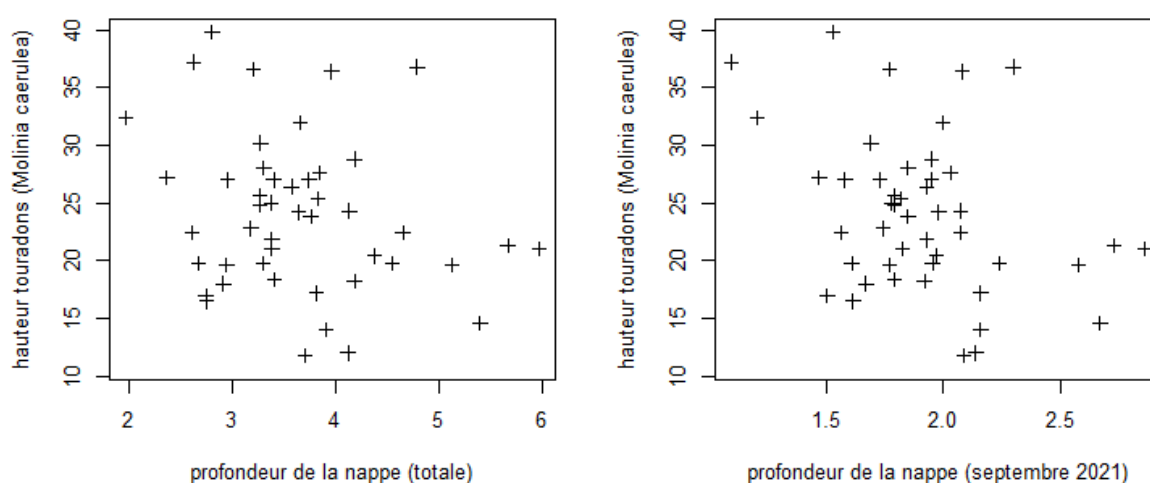


Figure 13 : Hauteurs des touradons en fonction de la profondeur totale de la nappe (gauche) et en fonction de la profondeur en septembre 2021 (droite)

- Pour la profondeur totale de la nappe : la statistique de test est d'environ -2,06 avec 48 degrés de liberté. La hauteur des touradons et la profondeur totale de la nappe sont significativement corrélées de manière négative. Le coefficient de corrélation est compris dans l'intervalle de confiance à 95% [- 0,52 ; - 0,01]. Il est d'environ -0,29, signifiant qu'environ 29% de la variation de la hauteur des touradons est expliquée par la profondeur totale de la nappe.

- Pour la hauteur de la nappe (septembre 2021) : la statistique de test est d'environ - 2,69 avec 48 degrés de liberté. La hauteur des touradons et la profondeur de la nappe en septembre 2021 sont significativement corrélées de manière négative. Le coefficient de corrélation est compris dans l'intervalle de confiance à 95% [- 0,58 ; - 0,09]. Il est d'environ - 0,36, signifiant qu'environ 36% de la variation de la hauteur des touradons est expliquée par la profondeur de la nappe en septembre 2021.

Pour les deux autres tests de corrélation, la p-value est supérieure au seuil α , les deux variables ne sont donc pas corrélées.

Les résultats obtenus sont à considérer avec prudence au vu de la différence entre les périodes. Cependant, ils sont intéressants et encouragent à approfondir l'étude de cette relation à travers des travaux complémentaires.

2.4 Végétations rencontrées

Les relevés phytosociologiques ont permis de nommer les végétations rencontrées selon différents référentiels ([tableau 10](#)).

Tableau 10 : Formations végétales rencontrées sur le site d'étude. Légende : ■ = Alliance ((1) [Louvel et al., 2013](#) ; (2) [Bissardon et al., 1997](#) ; (3) [Lafon et al. 2018](#))

Eunis (1)	Corine biotopes (2)	Rattachement phytosociologique (3)
E5.31 : Formations à <i>Pteridium aquilinum</i> subatlantiques	31.86 : Landes à Fougères	■ <i>Holco mollis</i> – <i>Pteridion aquilini</i> H. Passarge (1994) 2002
F3.15 : Fourrés à <i>Ulex europaeus</i>	31.85 : Landes à Ajoncs	■ <i>Frangulo alni</i> – <i>Pyrion cordatae</i> M. Herrera, Fern. Prieto & Loidi 1991
F4.13 : Landes humides à <i>Molinia caerulea</i>	31.13 : Landes humides à <i>Molinia caerulea</i>	■ Faciès dégradés de l'■ <i>Ulicion minoris</i> Malcuit 1929

Les 3 alliances citées sont notées *pro parte* au sein de la réglementation signifiant que les habitats de niveaux inférieurs ne sont pas tous humides. Dans ces cas, « une expertise des sols ou des espèces conformément aux modalités énoncées aux annexes 1 et 2.1 » de l'arrêté du 24 juin 2008 est nécessaire.

Le fort impact anthropique dû à la sylviculture et à la gestion des parcelles compensatoires a fortement dégradé les végétations. Ces dernières présentent un degré de naturalité faible qui complexifie leur rattachement au synsystème phytosociologique ainsi qu'aux référentiels habituellement utilisés. Le rattachement est possible mais avec une faible précision, présentant donc un faible intérêt dans le cadre de cette étude.

Un rattachement phytosociologique plus fin nécessiterait d'être plus familier avec les végétations du massif landais, de connaître les associations typiques et de savoir les reconnaître. De tels compétences pourraient permettre de faire le lien entre les différents faciès dégradés observés et des associations végétales déjà décrites.

La [figure 14](#) montre un faciès dégradé de l'*Ulicion minoris*, qui semble être une lande de l'*Ericetum scopario – tetralicis* (Rallet 1935) Géhu & Géhu-Franck 1975. La formation végétale est floristiquement dégradée par le développement de *Molinia caerulea*, co-dominante au sein du relevé au détriment d'espèces caractéristiques de l'association végétale typique (*Erica tetralix*, *E. scoparia*, *E. ciliaris*). Ainsi, la formation ne correspond pas au *typicum* mais pourrait constituer une variante à *Molinia caerulea*.



Figure 14 : Faciès dégradé de l'*Ericetum scopario – tetralicis* (Rallet 1935) Géhu & Géhu-Franck 1975

Ce travail de rattachement d'un faciès dégradé a été principalement fait pour l'exercice pédagogique qu'il représente plus que pour l'intérêt qu'il revêt pour l'étude, n'ayant pas été réalisé sur l'ensemble des relevés.

2.5 Impacts de la sylviculture

Le travail du sol pour l'exploitation des pinèdes accentue l'hétérogénéité topographique des parcelles. Ces microtopographies compliquent fortement l'analyse des végétations avec parfois des changements à des échelles très fines. Par exemple, dans certaines pinèdes, les traces d'engins créent des zones favorables à une accumulation d'eau temporaire. Au sein de ces zones se développent particulièrement *Erica tetralix* et *Erica ciliaris*. En revanche, au niveau des rangées de *Pinus pinaster*, la topographie est plus élevée et des communautés à *Ulex europaeus* se développent.

En plus de favoriser l'homogénéisation des végétations sous-pinède ([Timbal et Maizeret, 1998](#)), le broyage et le travail du sol compliquent la mise en place d'études basées sur les végétations. En effet, les touradons de *Molinia caerulea* ne sont plus visibles après le passage des engins. Sur certaines zones récemment fauchées du site, *Molinia caerulea* ne formait pas de touradons, alors qu'elle en formait quelques mètres plus loin, sur des zones non fauchées. Ainsi, la date du dernier broyage est une donnée qui s'avère essentielle pour appréhender correctement le milieu et avoir la bonne interprétation du port de l'espèce.

Outre l'influence de la sylviculture, les mesures de gestion semblent impacter fortement les végétations. En effet, ces mesures récentes visent essentiellement à favoriser *Molinia caerulea*, plante hôte de *Coenonympha oedippus*. Ces mesures peuvent expliquer partiellement l'obtention de résultats peu nets. Ainsi, le choix du site est discutable pour cette étude. Cependant, il est tributaire des contraintes d'un bureau d'études qui est rarement gestionnaire de sites.

2.6 Limites de l'étude

L'étude présente des limites certaines, parfois intrinsèque aux problématiques abordées, et parfois aux choix méthodologiques.

Tout d'abord, il est important de rappeler que l'étude des zones humides est régie par une législation stricte. Ainsi, en l'absence de travaux validés et modifiant la législation nationale (pour le contexte local), les observations réalisées et les doutes émis au sujet des indicateurs biologiques actuels ne seront utiles que dans un cadre réflexif.

2.6.1 Données disponibles et site d'étude

Le choix de réutiliser des données acquises dans le cadre d'études antérieures est un choix fort motivé par la volonté de valoriser les données à disposition, particulièrement pertinentes pour aborder le sujet. L'utilisation de données dont on maîtrise peu la méthodologie d'acquisition a posé des problèmes majeurs au travers du croisement de relevés de végétations réalisés sur une année exceptionnellement sèche (2022) et de données pédologiques (2017-2019) et piézométriques (2020-2021) issues d'années moins sèches. Le décalage de ces dates d'observation était difficilement évitable. Par ailleurs, les obligations universitaires n'ont pas pu permettre l'utilisation des données piézométriques de 2022 qui ne seront disponibles qu'en 2023. Une des solutions serait de réitérer les analyses lors de la réception de ces données.

Par ailleurs, ces études n'ont pas été mises en place par l'entreprise. Ainsi nous ne connaissons ni la précision, ni la rigueur des données d'entrée. De plus, la réutilisation des sondages pédologiques impose de se rendre sur les points de sondages à partir d'un GPS. Or, en contexte forestier, l'appareil utilisé était parfois imprécis, complexifiant la phase de terrain et dégageant un certain nombre de doutes vis-à-vis de la véracité des informations récoltées.

De plus, le site retenu pour l'étude ne semble que partiellement adapté. En effet, l'impact anthropique est très fort sur le site. D'une manière générale, il l'est au sein du massif mais, pour le Lignan, les impacts liés à la gestion des parcelles compensatoires s'ajoutent à ceux de la sylviculture. Le cumul de ces impacts a pour conséquence directe la présence de végétations à faible degré de naturalité.

Enfin, le site semble présenter une humidité édaphique assez marquée. Peu de faciès de lande mésoxérophiles à xérophiles ont été observés. Dans le massif landais, les sols sont majoritairement sableux. Or, sur le site du Lignan, de nombreux sondages présentent des horizons fortement argileux, minimisant le problème de la lecture des traces d'hydromorphie lié aux sols sableux (particulièrement pour les PODZOSOLS). Dans ces cas, la pédologie semble plus pertinente que l'étude des végétations, en particulier si l'on ajoute à l'équation les biais évoqués précédemment.

2.6.2 Relation nappe – végétations

D'après [Bèsbes \(1963\)](#) et [Guillot \(2011\)](#), la composition spécifique du sous-bois des pinèdes n'est influencée que « *très partiellement* » par le niveau de la nappe. Les espèces considérées aujourd'hui comme indicatrices (*Molinia caerulea*, certaines *Ericaceae*) peuvent être influencées par d'autres facteurs biotiques et ainsi constituer de médiocres indicateurs, particulièrement pour distinguer les landes humides des mésophiles. Les résultats de l'étude tendent à nuancer ces affirmations. En effet, si *Molinia caerulea* semble constituer un indicateur parfois médiocre au vu de l'influence de la sylviculture sur sa distribution ([GEREA, 1985](#) ; [Timbal et Maizeret, 1998](#)), d'autres espèces fournissent des informations sur l'hydromorphie du sol (*Erica tetralix*, *Ulex europaeus*, *Ulex minor*). Il est cependant courant de trouver des espèces théoriquement caractéristiques de milieux secs se développer en compagnie d'espèces inféodées strictement aux zones humides. Par exemple, *Erica cinerea* (mésoxérophile) se développe parfois en **mélange intime** avec *Erica tetralix* (hygrophile).

Les méthodologies employées couramment ne semblent pas complètement adaptées au contexte des Landes de Gascogne. En effet, des variations des végétations sont observables à l'échelle des microtopographies dans les parcelles. Particulièrement parmi celles exploitées pour lesquelles des « *sillons* » se forment lors du travail du sol. Au sein de ces derniers, des espèces inféodées à des zones plus humides que le reste de la parcelle se développent (*Erica tetralix* et *E. ciliaris* particulièrement). *A contrario*, des microbuttes peuvent également être observées et sont souvent dominées par des espèces inféodées à des conditions édaphiques plus xérophiles. Par exemple, *Ulex europaeus* se développe au sein de ces zones semblant plus sèche.

Ce problème peut être contrebalancé par l'augmentation de la résolution des cartographies d'habitats pour l'étude des zones humides. Cependant, cette action entraîne des répercussions importantes sur le temps consacré à leur élaboration donc au coût des études et, *a fortiori*, sur la compétitivité tarifaire de l'entreprise. Par ailleurs, augmenter la résolution demande également moyens de géolocalisation précis sur le terrain. Or les GPS actuels, même performants, le sont moins en sous-bois. Il est en outre difficile de se repérer en pinède pour compléter ou vérifier l'acquisition satellitaire de la localisation.

2.6.3 Précision des résultats

L'étude ayant été menée sur un site unique, les conclusions tirées peuvent constituer une voie de réflexion intéressante mais doivent être considérées avec méfiance. Elles ne doivent en aucun cas être transposées à l'ensemble des Landes de Gascogne voire à d'autres contextes.

Par ailleurs, bien qu'ils aient été pris en compte lors de la phase terrain, les conclusions tirées ne s'appliquent pas aux ourlets de l'*Holco mollis* – *Pteridion aquilini* H. Passarge (1994) 2002, formations homogènes, parfois monospécifiques. Étant classées en *pro parte* dans le cadre de l'arrêté de 2008, ces végétations peuvent ainsi être étudiées uniquement selon la pédologie et l'étude des propriétés hydrologiques locales.

Enfin, les bases de données sur la flore utilisées sont des bases nationale ([Julve, 1998](#)) et européenne ([Kattge et al., 2020](#)). Or, les espèces végétales peuvent croître dans des conditions différentes au sein de zones géographiques plus restreintes. Des données concernant l'autécologie locale permettraient d'affiner l'interprétation des résultats.

2.7 Perspectives

Il est important de rappeler que, d'un point de vue réglementaire, les observations et les conclusions n'ont aucune portée. Ainsi, l'utilisation des travaux amorcés doit être parcimonieuse et adaptée aux attentes des services l'État.

2.7.1 Impacts des résultats

Impact sur les études environnementales

Au vu des résultats obtenus, le critère végétation, basé principalement sur la présence de *Molinia caerulea* semble peu adapté à la délimitation des zones humides. Ainsi, malgré sa complexité d'interprétation, le critère « *sol* » semble essentiel à ces études. Par ailleurs, un complément par des piézomètres semble particulièrement intéressant, l'étude hydrologique est d'ailleurs obligatoire pour certains PODZOSOLS. Une attention doit être portée à la flore et aux végétations des sites d'études mais la présence de *Molinia caerulea* ne permet pas d'affirmer **avec certitude** la présence de zones humides. Lorsque l'espèce s'y développe sous forme de touradons hauts et en compagnie d'espèces hygrophiles peu influencées par le travail du sol, elle reste pertinente en tant qu'indicateur biologique.

Il s'avère intéressant de porter une attention particulière à la présence ou l'absence des espèces du pôle hygrophile (*Erica tetralix*, *Frangula alnus*) ainsi qu'aux espèces semblant indicatrices de conditions mésohydriques à mésohydroclines (*Ulex minor*, *Erica ciliaris*, *Potentilla erecta*).

Avis personnel

Selon moi, une étude de la profondeur de la nappe phréatique est la méthode la plus pertinente pour l'étude des zones humides du massif landais. En effet, les difficultés de classification des sondages pédologiques et l'impact fort de la sylviculture sur les végétations rendent, à mon sens, insuffisantes les études classiques. Cependant, l'étude de la nappe phréatique est compliquée techniquement et fait appel à des compétences spécifiques en hydrologie. Une étude rigoureuse devrait pouvoir utiliser plusieurs années de suivis piézométriques pour limiter l'impact des variations interannuelles de la pluviométrie. Cependant, un délai de plusieurs années ne semble pas être envisageable pour des évaluations environnementales. Par ailleurs, le rythme de récolte des données piézométrique devrait être quasiment journalier pour améliorer la précision. Enfin, il serait intéressant d'initier des travaux ayant pour objectif la production d'un référentiel sur la durée d'engorgement à partir duquel on considère chaque type de sol comme caractéristique de zones humides.

2.7.2 Suite de l'étude

La complexité du sujet et les réponses trop partielles de cette étude aux interrogations internes nous poussent à envisager des poursuites des travaux amorcés en 2022. Des réflexions sont en cours et visent à clarifier les modalités de la suite de ce travail.

Autres sites

Pour confirmer ou infirmer les résultats obtenus, des études complémentaires doivent être menées sur d'autres sites du massif landais, présentant une hétérogénéité plus marquée en matière d'humidité édaphique pour dégager des tendances plus claires. En effet, malgré l'apparente homogénéité de ce dernier, il existe une pluralité de contextes qu'un seul site ne peut représenter. Les modalités de la complétion des travaux doivent être étudiées. Plusieurs possibilités sont envisageables. Premièrement, la création d'une base de données interne à l'entreprise serait intéressante. Elle serait complétée par l'ajout de relevés sur d'autres sites d'études, permettant ainsi de représenter une plus grande variété de contextes. Le protocole mis en place lors du stage pourrait être adapté en fonction du temps consacré à ces études complémentaires. L'autre option est la mise en place d'une thèse sur le sujet. Cette dernière a été simplement évoquée et constitue une réflexion personnelle plus qu'une réelle alternative.

Site d'étude

L'étude pourra être réitérée ultérieurement sur le site d'étude, avec l'accord de la CDC Biodiversité. En effet, Ecosphère y réalise des suivis annuels. De nouvelles études sur ce site pourraient permettre de séparer les impacts liés à la sylviculture de ceux liés à la gestion des parcelles compensatoires.

La réponse de la flore aux changements climatiques globaux, et particulièrement aux sécheresses accrues, pourrait également être étudiée. Ces études complémentaires pourraient fournir des éléments de réflexion quant à la modification des protocoles de délimitation des zones humides dans un contexte de multiplication et d'intensification des épisodes de sécheresse.

Autres formations

Les résultats ne permettant pas de délimiter les zones humides au sein de toutes les formations végétales (ourlets de l'*Holco mollis* – *Pteridion aquilini* H. Passarge (1994) 2002), il serait intéressant d'étudier la différence entre les ourlets totalement homogènes et ceux abritant d'autres espèces, particulièrement lorsque *Frangula alnus* s'y développe. La présence de cette espèce pourrait permettre de différencier les ourlets selon l'hydromorphie du sol.

Références bibliographiques

BARKMAN J.-J., DOING H., SEGAL S., 1964 – Kritische bemerkungen und vorschläge zur quantitativen vegetationsanalyse. *Acta Botanica Neerlandica*, **13** (3), 394-419.

BARNAUD G., BAZIN P., BIGAN M., LAURENCE A., 1994 – Ramsar : l'étape de Kushiro. *Zones humides Infos*, **3**, 2-5.

BERNARD P. (coordination), 1994 – *Les zones humides : Rapport de l'instance d'évaluation*. Comité interministériel de l'évaluation des politiques publiques. La documentation Française, Paris, France. 391 p.

BESBES H., 1963 - *Etude hydrogéologique : La nappe phréatique du Bassin de l'Eyre entre Beliet, Saint-Magne et Argelouse (Gironde et Landes)*. Thèse, Université de Bordeaux : Faculté des sciences, Bordeaux, France. 99 p.

BISSARDON M., GUIBAL L., RAMEAU J.-C., 1997 - *CORINE biotopes : version originale, types d'habitats français*. École nationale du génie rural, des eaux et des forêts (ENGREF). Nancy, France. 175 p.

BRAUN-BLANQUET J., 1928 – *Pflanzensoziologie : Grundzüge der Vegetationskunde*. 3^e ed. Springer Vienna, Vienne. 866 p.

DA LAGE A., & METAILE G., 2000 – *Dictionnaire de biogéographie végétale*. CNRS, Paris, France. 579 p.

DELASSUS L., 2015 – *Guide de terrain pour la réalisation des relevés phytosociologiques*. Conservatoire botanique national de Brest, Brest, France. 25 p. + annexes (document technique).

DUCHAUFOR P., 1948 – Recherches écologiques sur la chênaie atlantique française. *Annales de l'Ecole Nationale des Eaux et Forêts et de la Station de Recherches et Expériences Forestières*, **11** (1), 7-332.

DUFRENE M. & LEGENDRE, P. 1997 - Species assemblages and indicator species : the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecol. Monogr.*, **67** (3), 345-366.

ELLENBERG H., WEBER H.E., DÜLL R., WIRTH V., WERNER W., PAULISSEN D., 1992 – Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. *Scripta Geobotanica*, **18**, 1-258.

FERREZ Y. & ROYER J.-M., 2021 – *Le genre Rubus dans le nord-est de la France*. Société botanique de Franche-Comté, Conservatoire botanique national de Franche-Comté – Observatoire régional des Invertébrés, GREFFE. 362 p.

FOUCAULT (DE) B., 1980 – Les prairies du bocage virois (Basse-Normandie, France). Typologie phytosociologique et essai de reconstitution des séries évolutives herbagères. *Doc, Phytosoc., N.S.*, **5**, 1-109.

GILLET F., 2000 – *La phytosociologie synusiale intégrée, Guide méthodologique*. Documents du Laboratoire d'écologie végétale. Université de Neuchâtel : Institut de Botanique, Neuchâtel, Suisse. 68 p.

GEREA, 1985 - *Intérêt écologique et fragilité des zones humides des Landes de Gascogne*. Ministère de l'Environnement, Ecole nationale du Génie Rural et des Eaux et Forêts, Bordeaux, France. 96 p.

GORENFLOT R. & FOUCAULT (DE) B., 2005 - Initiation à la phytosociologie. Complément au chapitre 23. *Biologie végétale, les Cormophytes*, Dunod éd., 1-27.

GUILLLOT M., 2011 – *Analyse rétrospective des relations nappe-végétation de sous-bassins versants forestiers de la rivière Leyre*, Thèse, Université de Bordeaux : Faculté des sciences, France, 311 p.

JAMAGNE M., EIMBERCK M., DESBOURDES S., 2011 - *Grands paysages pédologiques de France*, Editions Quae., Versailles, France, 535 p.

JOLIVET C., AGUSTO L., TRICHET P., ARROUAYS D., 2007 - Les sols du massif forestier des Landes de Gascogne : formation, histoire, propriétés et variabilité spatiale. *Revue forestière française*, **LIX** (1), 7-30.

JOUY A. & FOUCAULT (DE) B., 2019 – *Dictionnaire illustré de Botanique*. Biotope éditions, Mèze, France. 471 p.

KLINGEBIEL A. & LEGIGAN P., 1985 - Histoire géologique de la Grande Lande. *Actes du colloque de Sabres 27-29 novembre 1981*. La Grande Lande, histoire et géographie historique : 13-30.

LAFON P., 2019 – La succession végétale dans les Landes de Gascogne et la position de l'Avoine de Thore (*Pseudharrhenatherum longifolium*), *Exaviana* **6**, 131-150.

LAFON P., AIRD A., BEUDIN T., LE FOULER A., LEVY W., ROMEYER K., BELAUD A., CAZE G., 2018 – *Catalogue des végétations de la Gironde. Synsystématique, répartition, écologie et cortège typique*. Conservatoire botanique national Sud-Atlantique, Audenge, France. 209 p.

LAFON P., LE FOULER A., CAZE G., 2015 - *Typologie des végétations des landes et tourbières acidiphiles d'Aquitaine, parties planitaires et collinéennes* (Calluno vulgaris - Ulicetea minoris, Oxycocco palustris – Sphagnetes magellanici, Scheuchzeria palustris - Caricetea fuscae).

Version 2.0. Conservatoire Botanique National Sud-Atlantique, Audenge, France. 99 p. + annexes.

LANDOLT E., 1977 – *Oekologische Zeigwerte zur Schweizer Flora*. Veröffentl. Geobot. Inst. ETH, Stift. Rübel 64, 208 p.

LOUVEL J., GAUDILLAT V., PONCET L., 2013 – *EUNIS : European Nature Information System. Système d'information européen de la nature. Classification des habitats. Traduction française. Habitats terrestres et d'eau douce*. MNHN-DIREV-SPN-MEDDE. Paris, France. 289 p.

OFFICE NATIONALE DES FORETS, 2010 – Orientations nationales d'aménagement et de gestion pour les forêts des collectivités, 40 p.

PEREIRA V. & MARION A., 2018 – *Itinéraire sylvicole adapté aux objectifs de compensation « zones humides » et « espèces » sur le site du Lignan (33)*. CDC Biodiversité. Bordeaux, France, 10 p.

RAMEAU J.-C., MANSION D., DUME G., 1989 - *Flore forestière française : guide écologique illustré*. Institut pour le développement forestier, Paris, France. 1785 p.

ROUSSEL, F. & MENDIBOURE, T., 2021 - *Compte-rendu de suivi de nappe : expertise hydrologique sur le site du Lignan*, Envolis, Gujan-Mestras, France. 13 p.

TIMBAL J. & MAIZERET C., 1998 - Biodiversité végétale et gestion durable de la forêt landaise de Pin maritime : bilan et évolution. *Revue forestière française*, Paris, France, **50** (5), 403-424.

TISON J.-M., FOUCAULT (DE) B., GUIOL F., 2014 – *Flora Gallica : flore de France*. Société botanique de France, Biotope édition, Mèze, France. 1195 p.

TRICHET P., JOLIVET C., ARROUAYS D., LOUSTAU D., BERT D., RANGER J., 1999 – La maintien de la fertilité des sols forestiers landais dans le cadre de la sylviculture intensive du pin maritime : Revue bibliographique et identification des pistes de recherches. *Étude et Gestion des Sols*, Bordeaux, **6** (4), 197-216.

- Packages R

CHARRAD M., GHAZZALI N., BOITEAU V., NIKNAFS A., 2014 – NbClust : An R Package for Determining the Relevant Number of Clusters in a Data Set. *Journal of Statistical Software*, **61** (6), 1-36.

DRAY S. & DUFOUR A., 2007 - The ade4 Package : Implementing the Duality Diagram for Ecologists. *Journal of Statistical Software*, **22** (4), 1-20.

OKSANEN J., SIMPSON G., BLANCHET F., KINDT R., LEGENDRE P., MINCHIN P., O'HARA R., SOLYMOS P., STEVENS M., SZOEC S., WAGNER H., BARBOUR M., BEDWARD M., BOLKER B., BORCARD D., CARVALHO G., CHIRICO M., DE CACERES M., DURAND S., EVANGELISTA H., FITZJOHN R., FRIENDLY M., FURNEAUX B., HANNIGAN G., HILL M., LAHTI L., MCGLINN D., OUELLETTE M., RIBEIRO CUNHA E., SMITH T., STIER A., TER BRAAK C., WEEDON J., 2022 – *vegan : Community Ecology Package*. R package version 2.6-2.

R CORE TEAM, 2022 - *R : A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. [en ligne] : <https://www.R-project.org/> - Consulté le 08 août 2022

- Sites internet

METEO-FRANCE, s. d. - *Climatologie globale à Bordeaux-Mérignac*. [en ligne] : <https://www.infoclimat.fr/climatologie/globale/bordeaux-merignac/07510.html> - Consulté le 10 mai 2022

MINISTERE DE LA TRANSITION ECOLOGIQUE, 2022 - *Protection des milieux humides*. [en ligne] : <https://www.ecologie.gouv.fr/protection-des-milieux-humides> - Consulté le 01 avril 2022.

- Fiche de terrain

CONSERVATOIRE BOTANIQUE NATIONAL SUD-ATLANTIQUE, 2021 – *Bordereau d'inventaire phytosociologique Aquitaine / Poitou-Charentes*, Version 4.0, Disponible sur : <https://obv-na.fr/ressources#flore> – Consulté le 02 mai 2022.

- Données cartographiques

INSTITUT NATIONAL DE L'INFORMATION GEOGRAPHIQUE ET FORESTIERE, 2021 – *Rge Alti® : Le modèle numérique de terrain (MNT) maillé qui décrit le relief du territoire français à grande échelle*. [Téléchargement en ligne] : <https://geoservices.ign.fr/rgealti> - Consulté le 09 juillet 2022.

- Bases de données

JULVE PH., 1998 – *Baseflor. Index botanique, écologique et chorologique de la Flore de France*. Version [juillet 2022]. Programme Catminat, [en ligne] : <https://www.tela-botanica.org/projets/phytosociologie/porte-documents/> - Consulté le 1^{er} juillet 2022.

KATTGE J., BOENISCH G., DIAZ S., 2020 - *TRY plant trait database - enhanced coverage and open access*, Glob Change Biol, 26 : 119-188. [en ligne] : <https://www.try-db.org/TryWeb/Home.php> - Consulté le 1^{er} juillet 2022.

Table des annexes

- [Annexe 1](#) : Tableau des tâches
- [Annexe 2](#) : Calendrier de stage
- [Annexe 3](#) : Fiche d'inventaire phytosociologique ([CBNSA, 2021](#))
- [Annexe 4](#) : Carte piézométrique du Ligna ([Roussel et Mendiboure, 2021](#))
- [Annexe 5](#) : Niveaux de nappe relevés par les piézomètres (décembre 2020 – décembre 2021) ([Roussel et Mendiboure, 2021](#))

Annexe 1 : Tableau de tâches

Intervenants	Idée originale	Bibliographie	Collecte des données	Analyses	Rédaction	Relecture
Principaux	MD ; SR	MB	MB	MB	MB	MD
Secondaires				MD		MB ; DP

MB : Mathis BRASSELET (Stagiaire) – mathis.brasselet@ecosphere.fr

MD : Marie DOUARRE (Tutrice ; Cheffe de projets) – marie.douarre@ecosphere.fr

SR : Sébastien ROUÉ (Directeur d'agence)

DP : Divers proches

Annexe 2 : Calendrier de stage

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20	S21	S22	S23	S24	S25
Bibliographie																									
Collecte des données																									
Analyses																									
Rédaction																									
Préparation soutenance																									
Réunions (nombre)*	2	1	0	1	1	0	0	2	0	1	1	1	0	1	1	0	0	2	1	0		2	3	0	0
Autres missions**																									

S = Semaine

* Réunions concernant le sujet de stage

** Semaines **complètes** consacrées à d'autres missions

 : Semaine non travaillée

Annexe 3 : Fiche d'inventaire phytosociologique ([CBNSA, 2021](#)) - Retour à la citation : [ici](#)



BORDEREAU D'INVENTAIRE PHYTOSOCIOLOGIQUE
Aquitaine / Poitou-Charentes

Conservatoire Botanique National Sud-Atlantique
Domaine de Certes - 33980 AUDENGE - Tél. 05 57 76 18 07 - Courriel : contact@cbnsa.fr

Site de l'Observatoire de la biodiversité végétale de Nouvelle-Aquitaine (OBV) : www.obv-na.fr

IDENTIFIANT source (champs obligatoires)

Nom(s) (Organisme)* : _____

Programme (sous-programme) : _____

IDENTIFIANT relevé (champs obligatoires)

Date* : _____ / _____ / _____

Numéro (PN00x) : _____ **P**

Code photo : _____

LOCALISATION (champs obligatoires)

Coordonnées GPS (WGS 84)* : N _____ E / W (Entourer la bonne position) : _____

Précision (m) : _____ Code pointage : _____ N° carte : _____

Département : _____ Commune : _____ Lieu-dit : _____

Géométrie :

☐ Ligne

☐ Ponctuel

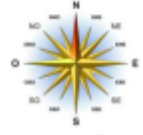
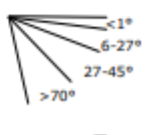
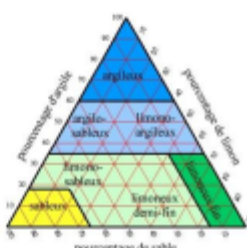
☐ Polygone

En l'absence de pointage GPS, le formulaire doit être accompagné d'un extrait de carte IGN (1/5 000ème) sur laquelle la station est délimitée.

INFORMATIONS STATIONNELLES (champs optionnels)

Topographie stationnelle : ☐ Terrain plat ☐ Haut de versant ☐ Milieu de versant ☐ Replat de versant ☐ Bas de versant ☐ Dépression ouverte ☐ Dép. fermée ☐ Paroi naturelle ☐ P. artificielle ☐ Pied de paroi ☐ Sommet vif ☐ Escarpement ☐ Sommet arrondi ☐ Hétérogène

Exposition (à entourer) Pente de la station (à entourer) Altitude (m) : inf. _____ / sup. _____

Texture horizon A (à ordonner) : ☐ Argileuse ☐ Limoneuse ☐ Sableuse

Éléments grossiers horizon A : ☐ Gravier (0.2-2cm) ☐ Cailloux (2-5) ☐ Pierres (5-20) ☐ Blocs (> 20)

% en éléments grossiers horizon A : _____ Réaction HCl horizon A : oui/non Acidité (pH) : _____

Forme d'humus : ☐ Absent ☐ Mor ☐ Moder ☐ Mull ☐ Autres : _____

Rec. litière (%) : _____ Type de sol (réf. pédo., 2008) : _____

Profondeur du sol (m) : _____ Roche mère : _____ Bois morts (≥30cm) : ☐ Présence ☐ Absence

Premières tâches d'oxydo-réduction (m) : _____ / Horizon rédoxyque (pseudogley) (m) : _____ / Horizon réductique (gley) (m) : _____

Durée d'immersion : ☐ Absente ☐ Indéterminée ☐ Périodique courte (semaines) ☐ Périodique longue (mois) ☐ Permanente

Vitesse de l'eau : ☐ Stagnante ☐ Peu courante ☐ Courante ☐ Torrentielle Niveau d'eau (m) : _____

Taille du cours d'eau : ☐ Suintement ☐ Ruisseau ☐ Petite rivière ☐ Grande rivière Eclaircissement : ☐ Ombre ☐ Demi-ombre ☐ Lumière

DESCRIPTION GENERALE (physionomie, écologie...) (champs optionnels)

Type physionomique : ☐ Forêt ☐ Fourré ☐ Lande/Garrigue/Cistace ☐ Ourlet/Mégaphorbiaie ☐ Caricaie/(Parvo)Roselière ☐ Végétation riveraine basse ☐ Prairie (☐ fauchée ☐ pâturée) ☐ Pelouse ☐ Herbier ☐ Végétation rupicole ☐ Friche herbacée ☐ Végétation adventice

Type biologique dominant : ☐ Hydrophytaie ☐ Thérophytaie ☐ Géophyte ☐ Hémicryptophyte ☐ Hélophytaie ☐ Chaméphytaie ☐ Nanophanérophytaie ☐ Phanérophytaie ☐ Epiphytaie

Trophie : ☐ Oligotrophile ☐ Oligomésotrophile ☐ Mésotrophile ☐ Mésio-eutrophile ☐ Eutrophile ☐ Hypertrophile ☐ Dystrophile

Hydrologie : ☐ Aquatique ☐ Amphibie ☐ Hydrophile ☐ Hygrophile ☐ Méschyrophile ☐ Mésophile ☐ Mésoxérophile ☐ Xérophile

Acidité : ☐ Hyperacidophile ☐ Acidophile ☐ Acidoclinophile ☐ Neutrophile ☐ Basiphile ☐ Hyperbasiphile

Salinité : ☐ Glycophile ☐ Oligohalophile ☐ Mésahalophile ☐ Euhalophile

Enneigement : ☐ Hyperchionophile ☐ Chionophile ☐ Mésochionophile ☐ Non concerné

Thermie : ☐ Cryophile ☐ Mésocryophile ☐ Psychophile ☐ Mésothermophile ☐ Thermocline ☐ Thermophile

Description libre : _____

Végétations en contacts : _____

SUIVI BDD (champs réservés CBNSA)

* Champ obligatoire

Valid. cohérence	Date	Auteur	Commentaires	Saisie	Date	Auteur	Id. Labelia
☐	___ / ___ / ___			☐	___ / ___ / ___		

CBNSA - Version 4.0 2021

TPOLOGIE

Syntaxon :

☐ Com. basale (BC) ☐ Com. dérivée (DC) : Taxon dominant (BC/DC) : ☐ Com. fragm.

Type de relevé* : ☐ Sigmatiste ☐ Synusial ☐ Phyto de suivi ☐ Floristique ☐ Aucun ☐ Esp. à enjeu

Commentaires :

Typicité flor. : ☐ Bonne / ☐ Moyenne / ☐ Mauvaise / ☐ Non évaluée **Typicité struct. :** ☐ Bonne / ☐ Moyenne / ☐ Mauvaise / ☐ Non évaluée

Codifications européennes

Natura 2000 :

EUNIS :

CORINE Biotopes :

Surface du relevé* (m²) :

Forme du relevé : ☐ Linéaire / ☐ Surfacique

☐ Fragmenté

STRUCTURE

Rec. strate arborée* (%) : **H. mod. inf. (m) :** **H. mod.* (m) :** **H. mod. sup. (m) :**

Classe(s) de diamètre représentant au moins % des tiges : ☐ PB ☐ BM ☐ GB ☐ TGB ☐ TTGB

Rec. strate arbustive* (%) : **H. mod. inf. (m) :** **H. mod.* (m) :** **H. mod. sup. (m) :**

Rec. strate herbacée* (%) : **H. mod. inf. (m) :** **H. mod.* (m) :** **H. mod. sup. (m) :**

Rec. bryophytique (%) : **Rec. lichenique (%) :** **Rec. algale (%) :** **Rec. sol nu (%) :**

Qualité du relevé

Exhaustivité
oui / non

Période de passage

Trop tôt ☐

Optimal ☐

Trop tard ☐

	Taxons	A	a	h	m		Taxons	A	a	h	m
1						31					
2						32					
3						33					
4						34					
5						35					
6						36					
7						37					
8						38					
9						39					
10						40					
11						41					
12						42					
13						43					
14						44					
15						45					
16						46					
17						47					
18						48					
19						49					
20						50					
21						Schéma :					
22											
23											
24											
25											
26											
27											
28											
29											
30											

A : espèces supérieures à 7 m / a : espèces d'environ 1,5-2 à 7 m de hauteur / h : espèces inférieures à environ 1,5-2 m / m : espèces bryolicheniques

Indice d'abondance - dominance

5 : Recouvrement > 75% de la surface de référence

4 : Recouvrement de 50-75% de la surface de référence

3 : Recouvrement de 25-50% de la surface de référence

2 : Individus très nombreux mais recouvrement < 5 %, ou nombre d'individus quelconques mais recouvrement de 5 à 25 %

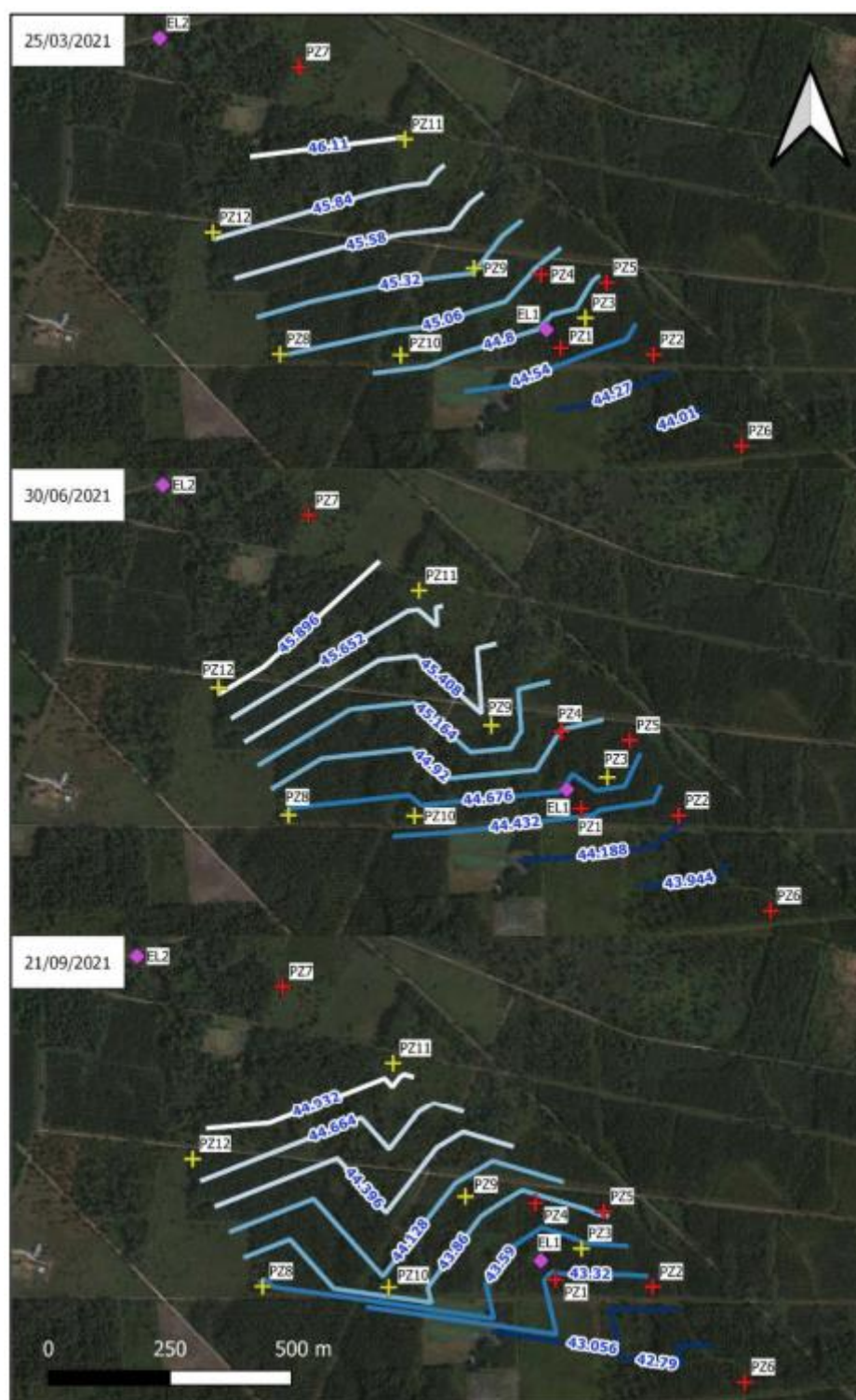
1 : Individus nombreux mais recouvrement < 1 %, ou nombre d'individus quelconques mais recouvrement de 1 à 5 %

+ : Peu d'individus, avec très faible recouvrement

r : Très peu abondant, recouvrement très faible

i : Individu unique

Annexe 4 : Carte piézométrique du Lignan ([Roussel et Mendiboure, 2021](#)) - Retour à la citation : [ici](#)



Annexe 5 : Niveaux de nappe relevés par les piézomètres (décembre 2020 – décembre 2021)
 (Roussel et Mendiboure, 2021) - Retour à la citation : [ici](#)

	Niveau piézométrique (m/TN)									
	16/12/2020		25/03/2021		30/06/2021		21/09/2021		09/12/2021	
	m/TN	mNGF	m/TN	mNGF	m/TN	mNGF	m/TN	mNGF	m/TN	mNGF
PZ1	0,37	44,89	0,64	44,62	0,78	44,48	1,99	43,27	2,09	43,17
PZ2	0	44,4	0	44,4	0,18	44,22	1,17	43,23	0,97	43,43
PZ3	0,08	45,08	0,26	44,9	0,31	44,85	1,62	43,54	1,09	44,07
PZ4	0,14	45,31	0,44	45,01	0,54	44,91	1,71	43,74	1,81	43,64
PZ5	0,18	45,01	0,45	44,74	0,4	44,79	1,29	43,9	0,83	44,36
PZ6	0,4	43,98	0,63	43,75	0,68	43,7	1,86	42,52	1,97	42,41
PZ7	0,09	46,6	0,32	46,37	0,55	46,14	1,49	45,2	1,46	45,23
PZ8	0,57	45,34	0,84	45,07	1,27	44,64	2,36	43,55	2,42	43,49
PZ9	0,23	45,64	0,55	45,32	0,51	45,36	1,88	43,99	0,4	45,47
PZ10	0,29	45,11	0,49	44,91	0,85	44,55	1,33	44,07	-	-
PZ11	0	46,34	0,24	46,1	0,59	45,75	1,31	45,03	0,96	45,38
PZ12	0,11	46,11	0,34	45,88	0,28	45,94	1,35	44,87	0,22	46