

Etat des lieux du projet Trees for future: Adaptation stationnelle théorique d'essences résistantes à la sécheresse

Auteur : Eloy, Eve

Promoteur(s) : Claessens, Hugues

Faculté : Gembloux Agro-Bio Tech (GxABT)

Diplôme : Master en bioingénieur : gestion des forêts et des espaces naturels, à finalité spécialisée

Année académique : 2021-2022

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/15615>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.



LIÈGE université
Gembloux
Agro-Bio Tech

ETAT DES LIEUX DU PROJET *TREES FOR FUTURE* :
ADÉQUATION STATIONNELLE THÉORIQUE
D'ESSENCES RÉSISTANTES À LA SÉCHERESSE

EVE ELOY

TRAVAIL DE FIN D'ÉTUDES PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME DE
MASTER BIOINGÉNIEUR EN GESTION DES FORÊTS ET DES ESPACES NATURELS

ANNÉE ACADÉMIQUE 2021-2022

PROMOTEUR : HUGUES CLAESSENS

©Toute reproduction du présent document, par quelque procédé que ce soit, ne peut être réalisée qu'avec l'autorisation de l'auteur et de l'autorité académique¹ de Gembloux Agro-Bio Tech.

Le présent document n'engage que son auteur.

¹ Dans ce cas, l'autorité académique est représentée par le(s) promoteur(s) membre du personnel(s) enseignant de GxABT



LIÈGE université
Gembloux
Agro-Bio Tech

ETAT DES LIEUX DU PROJET *TREES FOR FUTURE* :
ADÉQUATION STATIONNELLE THÉORIQUE
D'ESSENCES RÉSISTANTES À LA SÉCHERESSE

EVE ELOY

TRAVAIL DE FIN D'ÉTUDES PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME DE
MASTER BIOINGÉNIEUR EN GESTION DES FORÊTS ET DES ESPACES NATURELS

ANNÉE ACADÉMIQUE 2021-2022

PROMOTEUR : HUGUES CLAESSENS

Organisme d'accueil

Ce travail a été réalisé au sein de la Société Royale Forestière de Belgique

Remerciements

J'aimerais commencer par remercier la Société Royale Forestière de Belgique pour ces mois de stage passés à leurs côtés. J'ai appris énormément de choses en peu de temps. Vous m'avez transmis du savoir mais aussi vos valeurs et votre hospitalité. J'aimerais remercier Philippe qui a toujours des bons conseils et qui nous pousse à donner le meilleur de nous-même. Je remercie aussi Nicolas avec qui j'ai passé beaucoup d'heures sur le terrain et qui m'a transmis une infime partie de son savoir. Je voudrais aussi dire merci à tous les volontaires et stagiaires qui sont venus creuser des fosses et qui ont rendu les journées de terrain meilleures. Et pour finir, j'aimerais dire un grand merci à Raphaële, ma maîtresse de stage. Elle a su rendre ce stage exceptionnel et elle a su rendre les journées les plus difficiles joyeuses. Son expérience en recherche m'a appris énormément et elle a toujours été de bon conseil tout au long de cette aventure. Je suis fière d'avoir travaillé avec elle et peut-être, on ne sait jamais, que cela se reproduira encore.

J'aimerais aussi remercier tout particulièrement mon promoteur, Monsieur Claessens, pour ses conseils et pour m'avoir transmis la passion pour la forêt.

Merci à l'université de Gembloux pour m'avoir formé et guidé dans mes choix de carrière. Il y a 3 ans, je n'aurais jamais pensé avoir les capacités pour réaliser un travail de cette envergure et j'aurais encore moins pensé me sentir prête à rentrer dans le monde du travail.

Je remercie également mes amis Gembloutois pour ce superbe voyage de sylviculture et je remercie aussi Pauline sans qui ces 3 années n'auraient pas été aussi belles.

Je voudrais aussi remercier ma famille et mes proches qui m'ont toujours soutenue durant mes années d'étude.

Enfin, je remercie tout particulièrement Tristan qui, malgré ses connaissances en sciences, a su être de bon conseil et d'une grande aide dans la réalisation de ce travail. Merci pour ce soutien durant ces mois intenses, pour tes rires et pour l'avenir qui s'offre à nous.

Résumé

Ces dernières années, nos essences forestières de production ont connu des dépérissements suite au changement climatique. Les arbres sont fragilisés par des épisodes de sécheresse plus fréquents et certains ravageurs en profitent. C'est dans ce contexte que le projet *Trees for future* a été mis en place. Son réseau de parcelles réparties à travers la Belgique a pour objectif de tester des essences et des provenances résistantes à la sécheresse qui pourraient produire du bois de qualité dans le futur. Cette étude vise à faire, pour la première fois, un état des lieux du projet et une adéquation stationnelle théorique des essences qui met en avant la disponibilité en eau. Pour ce faire, des sondages pédologiques ont été réalisés dans tous les sites du projet et des recherches bibliographiques ont été menées sur les besoins édaphiques et les mécanismes de résistance à la sécheresse de chaque essence. Les résultats montrent qu'une partie des sites présentent des risques en terme d'adaptation à la sécheresse des essences. Et dans une partie des sites, les essences ne sont pas en optimum ou en tolérance sur la station à cause du niveau hydrique. Les résultats ne visent cependant pas à prédire le comportement des essences mais bien à expliquer la possible cause d'un problème qui surviendrait plus tard. En parallèle, une adéquation climatiques des essences entre le climat belge et le climat dans leur aire de répartition naturelle a montré une correspondance dans la majorité des cas sauf pour des essences telles que *Quercus cerris*, *Pinus pinaster*, *Liquidambar styraciflua*, *Cedrus deodara*, *Quercus pubescens*, *Metasequoia glyptostroboides* et *Sequoia sempervirens*. De plus, le métaséquoia et le séquoia sempervirent semblent, selon la littérature, sensibles à la sécheresse et donc non adaptés aux situations climatiques futures avec des vagues de sécheresse plus fréquentes.

Mots-clés : adéquation stationnelle ; sécheresse ; adaptation ; *Trees for future* ; essences d'avenir

Abstract

In recent years, our production forest species have suffered from climate change. Trees are weakened by more frequent droughts and certain pests take advantage of this. It is in this context that the *Trees for future* project was set up. Its network of parcels across Belgium aims to test drought-resistant species and provenances that could produce quality wood in the future. This study aims to make, for the first time, an assessment of the project and a theoretical site suitability of the species that emphasizes the availability of water. To do this, soil surveys were carried out at all the project sites and bibliographic research was carried out on the edaphic needs and drought resistance mechanisms of each species. The results show that some of the sites present risks in terms of drought adaptation of the species. And in some sites, the species are not at optimum or tolerant levels because of the water level. However, the results do not aim to predict the behaviour of the species but to explain the possible cause of a problem that would occur later. In parallel, a climatic matching of the species between the Belgian climate and the climate in their natural range showed a match in most cases except for species such as *Quercus cerris*, *Pinus pinaster*, *Liquidambar styraciflua*, *Cedrus deodara*, *Quercus pubescens*, *Metasequoia glyptostroboides* and *Sequoia sempervirens*. In addition, *Metasequoia* and *Sequoia sempervirens* seem, according to the literature, to be drought-sensitive and therefore not adapted to future climatic situations with more frequent drought waves.

Key words: site suitability; drought; adaptation; *Trees for future*; species of the future

Table des matières

1.	Introduction.....	1
2.	Contexte	1
2.1.	Trees for future.....	1
2.2.	Les essences.....	2
2.3.	Stratégies d'adaptation à la sécheresse.....	3
2.3.1.	Les stratégies	3
2.3.2.	Les essences	5
2.4.	La disponibilité en eau	14
2.4.1.	Réserve utile et contraintes	15
2.4.2.	La topographie.....	17
2.4.3.	Le climat	19
2.4.4.	Bilan hydrique.....	20
2.5.	Niveau trophique	23
2.6.	Adéquations édaphiques des essences.....	24
3.	Matériel et méthode	28
3.1.	Dispositifs <i>Trees for future</i>	28
3.1.1.	Localisation des parcelles	28
3.1.2.	Le contrat.....	29
3.1.3.	Plantation	29
3.1.4.	Les suivis annuels	30
3.1.5.	Répartition des essences au sein des arboreta	31
3.2.	Adéquation climatique.....	33
3.3.	Elaboration du protocole de caractérisation de la station.....	34
3.3.1.	Objectifs.....	34
3.3.2.	Protocole	35
3.3.3.	Fiche de terrain.....	35
3.4.	Estimation de la réserve utile et des contraintes à l'enracinement.....	36
3.5.	Analyse de l'adéquation stationnelle des essences	38
3.6.	Corrélation entre le niveau hydrique et la réserve utile	41
4.	Résultats	42
4.1.	Adéquation climatique.....	42
4.2.	Adéquation des essences.....	45
4.3.	Corrélation entre niveau hydrique et réserve utile.....	49
5.	Discussion	50
5.1.	Adéquation climatique et choix des essences	50

5.2.	Adéquation stationnelle des essences	50
5.3.	Corrélation entre niveau hydrique et réserve utile.....	52
5.4.	Protocole et fiche de terrain	52
5.5.	Etat des lieux du projet.....	53
5.6.	Contribution personnelle	54
6.	Conclusion	54
Bibliographie.....		55
Annexes		59

Liste des figures

Figure 1 : Schéma représentant la théorie de la tension-cohésion qui explique le déplacement de la sève brute au sein de l'arbre © Pearson Education, Inc., Publishing as Benjamin Cummings.....	4
Figure 2 : Graphique des valeurs de pression de la fermeture des stomates (Cochard, s. d.).....	6
Figure 3 : Evolution au cours de la journée de la conductance stomatique (g_w) et du potentiel hydrique Ψ des feuilles pendant une période de pré-sécheresse (cercle vide) et de sécheresse (cercle plein) de <i>Liquidambar styraciflua</i> (Pezeshki and Chambers, 1986).	7
Figure 4 : Graphique des valeurs de Ψ_{50} (Cochard et al., 2016)	8
Figure 5 : courbe de vulnérabilité à l'embolie de <i>Sequoia sempervirens</i> adultes (Burgess et al., 2006) 8	
Figure 6 : Evolution du potentiel de base et du potentiel minimum en phase de sécheresse chez <i>Cedrus atlantica</i> , <i>Pinus nigra</i> et <i>Pseudotsuga menziesii</i> (Aussenac, 1984).....	9
Figure 7 : conductance stomatique de plusieurs population de <i>Quercus robur</i> et de <i>Tilia cordata</i> dans 3 conditions : condition de contrôle où les plants sont bien hydratés, condition de sécheresse rapide (FDD), condition de sécheresse progressive (SDD).	11
Figure 8 : conductance stomatique en fonction du potentiel matriciel du sol de <i>Acer pseudoplatanus</i> , <i>Fagus sylvatica</i> , <i>Fraxinus excelsior</i> , <i>Carpinus betulus</i> et <i>Tilia cordata</i>	11
Figure 9 : Relation entre les paramètres et facteurs liés au sol, à la topographie et au climat actuel et leur influence sur la croissance, l'habitat et la production (Claessens, 2020)	14
Figure 10 : Modèle hydrologique, sans influence de la topographie (Ridremont et al., 2012)	15
Figure 11 : Relation entre types d'eau, porosité, accessibilité, rétention et types d'humidité (Baize, Jabiol et Delecour cité dans Ridremont et al., 2012)	16
Figure 12 : courbe de rétention d'un sol argilo-limoneux (Ehinger, 2019)	17
Figure 13 : situations topographiques et sous-secteur associé (Claessens, 2020)	18
Figure 14 : classes d'apport d'eau en fonction de la topographie	19
Figure 15 : carte du bilan hydrique climatique (P-ETP, mm) en Wallonie (Van der Perre et al. cité dans Claessens, 2020)	19
Figure 16 : Echelle des niveaux hydriques possibles d'une station (Petit et al., 2017)	21
Figure 17 : Clé de détermination des niveaux hydriques possibles d'une station (Petit et al., 2017) ..	22
Figure 18 : Echelle des niveaux trophiques possibles d'un sol (Petit et al., 2017)	23
Figure 19 : clé dichotomique de détermination du niveau trophique d'une station.....	24
Figure 20 : arbre à choix qui permet de classer une essence comme étant en optimum, en tolérance, en tolérance élargie ou en exclusion sur une station (dans une optique de production de bois de qualité).....	25
Figure 21 : Gamme de niveaux trophiques des essences pour être en optimum ou en tolérance sur une station. Les chiffres représentent le niveau trophique.....	25
Figure 22 : Gamme de niveaux hydriques des essences pour être en optimum ou en tolérance sur une station. Le chiffre représente le niveau hydrique	27
Figure 23 : Carte des communes dans lesquelles se trouvent des parcelles du projet	28
Figure 24 : exemple d'un dispositif en plein réalisée sur Oxygis ©Raphaèle Van der Perre	30
Figure 25 : exemple d'un dispositif en îlots nommés « klumps » © Raphaèle Van der Perre.....	30
Figure 26 : Schéma d'un klump composé de 25 plants (point au centre des carrés). Les points verts représentent les plants de la placette permanente, le point rouge représente le piquet avec le code UG, les points oranges représentent les bambous de fin de ligne, et les flèches représentent le sens de suivi.....	31
Figure 27 : Répartition des parcelles wallonnes étudiée sur la carte des zones bioclimatiques	34
Figure 28 : Triangle de Jamagne des textures belges.....	37
Figure 29 : Valeurs de réserve utile avec les contraintes et commentaires associés (Claessens, 2020).	39

Figure 30 : Arbre à choix adapté aux paramètres étudiés dans l'étude et qui classe les essences en optimum, en tolérance ou en zone à risque.	40
Figure 31 : Gammes de précipitations moyennes annuelle (mm/an) des essences déjà plantées (dans leur aire de répartition naturelle) et des zones bioclimatiques wallonnes.	42
Figure 32 : Gammes de température moyenne des essences déjà plantées (dans leur aire de répartition naturelle) et des zones bioclimatiques wallonnes.	43
Figure 33 : Gammes des extrema de température des essences déjà plantées (dans leur aire de répartition naturelle) et des zones bioclimatiques wallonnes.	43
Figure 34 : Fiche d'adéquation essence-station de l'arboretum de Creppe	45
Figure 35 : Graphique circulaire du pourcentage d'UG classées en optimum, en tolérance et en zone à risque.....	47
Figure 36: Graphique circulaire des indicateurs qui ont fait passer des UG dans la catégorie "A risque"	47
Figure 37 : Graphique en boîte à moustache de la réserve utile (mm) en fonction du niveau hydrique	49

Liste des tableaux

Tableau 1 : Nom latin et nom vernaculaire des essences du projet. Les essences soulignées ne sont pas encore plantées actuellement	3
Tableau 2 : Potentiel de base critique d'essences méditerranéennes (Ducrey, 1998)	10
Tableau 3 : Classement de sapin d'après leur résistance à la dessication (Aussenac cité dans Ducrey, 1998)	10
Tableau 4 : résumé (non exhaustif) des mécanismes d'adaptation et de la résistance à la sécheresse des essences déjà plantées	13
Tableau 5 : classement des essences en fonction de leur sensibilités ou non aux sols compacts	27
Tableau 6 : Tableau récapitulatif de l'ensemble des essences plantées dans chaque site. Les chiffres indiquent le nombre de provenances plantées par essence.	32
Tableau 7 : Moyenne des principaux indicateurs climatiques des zones bioclimatiques Wallonnes (Van der Perre et al, 2015)	33
Tableau 8 : Tableau récapitulatif des coefficients R(h) de l'horizon A (selon Lucot et al., 2014) et de l'horizon B selon Lucot et al. (2014) et selon Franc (cité dans Claessens 2020) associés aux textures belges	37
Tableau 9 : Indices de compaction du sol et les observations de terrain qui leur sont associées.....	38
Tableau 10 : Adéquation climatique des essences au sein du projet. Les cases vertes indiquent une adéquation climatique, les cases oranges indiquent un écart entre les conditions climatiques belges et celles de l'aire de répartition naturelle des essences. La lettre P indique s'il s'agit d'un écart au niveau des température, la lettre P indique s'il s'agit d'un écart au niveau des précipitations.....	44
Tableau 11 : Tableau reprenant les paramètres de station de chaque site du projet.....	46
Tableau 12 : Adéquation des essences sur chaque site selon les 3 catégories: optimum (vert foncé), tolérance (vert clair) et à risque (rouge). Les chiffres indiquent le nombre de contraintes rencontrées par l'essence sur le site.	48

Glossaire

Potentiel hydrique : Dans un végétal, le potentiel hydrique représente le travail à fournir pour faire passer l'eau contenue dans les tissus sous forme d'eau libre. Le potentiel hydrique est donc nul ou négatif et il décroît en cas de stress hydrique où l'eau est davantage retenue dans la plante (Ducrey, 1998).

Déficit hydrique édaphique: Déficit en eau du sol qui se produit lorsque la quantité d'eau utilisée ou évaporée est plus importante que la quantité d'eau reçue par le sol.

Densité de flux de sève (SFD) : Valeur du flux de sève qui traverse les vaisseaux des racines vers les feuilles sur un temps donné. Elle s'exprime en $\text{dm}^3 \cdot \text{dm}^2 \cdot \text{h}^{-1}$ (Zapater, 2009).

Le potentiel de base (PB) : Potentiel hydrique de la plante en fin de nuit. Il reflète normalement le potentiel du sol avec qui il est en équilibre avant le lever du jour. Il s'exprime en MPa (Ducrey, 1998).

Potentiel de base critique : Potentiel hydrique atteint par la plante lorsque, dans une période de stress hydrique, la différence entre le potentiel de base (atteint en fin de nuit) et le potentiel minimum (atteint en journée) se confondent avec une différence inférieure à 0,4 MPa (Ducrey, 1998).

Cavitation : Apparition de bulles d'air dans les vaisseaux causée par une augmentation de la pression de la colonne d'eau. Elle peut se produire lors d'une diminution du potentiel hydrique due à la sécheresse.

Embolie : Mort des vaisseaux via un remplissage d'air suite à la cavitation et qui empêche donc la conduction de la sève.

Ψ_{50} : Valeur de potentiel hydrique pour laquelle 50% de la conductivité a déjà été perdue à cause de l'embolie (Cochard et al., 2016). Elle s'exprime en MPa

1. Introduction

Ces dernières années, nos essences forestières de production ont connu des dépérissements suite au changement climatique. Les arbres sont fragilisés par des épisodes de sécheresse plus fréquents et certains ravageurs en profitent : le frêne subit les dégâts de la chalarose, l'épicéa subit des scolytes et les hêtres meurent des sécheresses à répétition. C'est dans ce contexte que le projet *Trees for future* a vu le jour. Il a pour objectif de donner des pistes pour le choix des essences qui produiront du bois de qualité dans le futur. Pour ce faire, différentes essences et différentes provenances sont testées dans un réseau de parcelles réparties partout en Belgique et appartenant à des propriétaires privés.

Trois années se sont écoulées depuis les premières plantations et ce travail de fin d'étude propose un état des lieux du projet et vise plus particulièrement à étudier la relation entre le sol et les essences plantées. Ces essences ont été sélectionnées pour leur résistance à la sécheresse mais n'ont pas toutes la même stratégie pour s'en protéger. Tenir compte des besoins édaphiques des essences est primordial pour assurer la croissance et la qualité des arbres mis en place. Pour ce faire, des relevés pédologiques sous forme de fosses et/ou de micro-fosses ont été réalisés afin de caractériser la réserve utile en eau, d'identifier les possibles contraintes à l'enracinement et de déterminer les niveaux hydrique et trophique. Les objectifs principaux sont donc de faire un état des lieux du projet en passant par une description des sites et en réalisant une adéquation stationnelle théorique des essences mises en place. Et finalement, les objectifs secondaires sont d'établir un protocole de terrain accessible aux propriétaires et d'établir le lien entre la réserve utile en eau et le niveau hydrique.

2. Contexte

2.1. Trees for future

Le projet a vu le jour en 2018 sous le nom de « projet Arboretum » à l'occasion des 125 ans de la Société Royale Forestière de Belgique (SRFB). Cette dernière est une association à but non lucratif (Asbl) qui vise à aider des propriétaires forestiers privés dans la pratique d'une gestion durable de la forêt via différents services et formations.

Trees for future est un réseau de parcelles appartenant à des propriétaires privés et qui vise à tester différentes essences et provenances adaptées aux climats actuel et futur. Le but est de donner des pistes pour le choix des essences de production de bois de qualité dans le futur et ce dans un objectif de forêt durablement gérée, comme le prône la SRFB.



Pour ce projet, 29 essences (18 résineux et 11 feuillus) ont été sélectionnées sur base de 5 critères². Les parcelles expérimentales du projet servent à tester des essences et des provenances différentes dans des conditions réelles et à les évaluer sur plusieurs critères : l'adaptation au climat actuel et futur, la résistance aux ravageurs et agents pathogènes, la qualité et la productivité du bois ainsi que les effets sur la biodiversité (*Trees For Future / Objectifs et méthodologies*, 2021).

Pour chacune des essences, une, deux voire trois provenances ont été sélectionnées et plantées afin de tester différents matériels génétiques (Annexe 1). De surcroît, le projet a pour avantage de planter les essences sur une multitude de sites répartis à travers la Belgique afin de les tester dans différentes conditions. Pour le moment, les parcelles sont suivies chaque année pour mesurer les plants (hauteur et diamètre) et pour en faire l'état sanitaire. A l'avenir, ce sont aussi les techniques sylvicoles qui feront l'objet d'analyses et d'essais afin de définir les méthodes de gestion idéales pour ces essences parfois nouvelles chez nous. Les premières plantations ont commencé en 2018-2019 et se poursuivront chaque année jusqu'en 2023-2024.

Derrière ce projet innovant se cache aussi un comité scientifique avec qui les grandes lignes directrices et scientifiques du projet se décident telles que le choix de la liste d'essences ou encore les suivis à réaliser et leurs périodes associées. Dans ce comité de concertation se trouve, entre autre, l'Observatoire wallon de la santé des forêts (OWSF) à qui la SRFB partage ses observations sanitaires faites lors des suivis annuels. Aussi, ce projet dépasse les frontières et fait partie d'une collaboration avec la France. En effet, le projet *FuturForEst* est l'équivalent Français de *Trees for future*. Il est mené par l'Office National des Forêts de la région Grand Est et s'inscrit dans le cadre du projet ESPERANCE qui vise à établir un réseau expérimental dans le but d'améliorer nos connaissances sur le comportement de nouvelles essences forestières (*FuturForEst*, 2021).

2.2. [Les essences](#)

Aujourd'hui, 22 essences ont été plantées parmi les 29 sélectionnées (Tableau 1). La majorité des essences est d'origine méridionale dans le but de pratiquer la migration assistée. Elle consiste à aider la migration d'essences ou de provenances qui auraient pu migrer jusqu'à chez nous sous la pression d'un changement climatique progressif (*Trees For Future / La migration assistée*, 2021). La migration assistée de provenances signifie que l'espèce est déjà présente chez nous mais qu'une autre provenance poussant dans des régions plus sèches, dans le cas de ce projet, est importée. C'est le cas pour le hêtre commun qui pousse déjà chez nous mais dont la provenance du massif central du sud est testée. Cela permet d'introduire de potentiels gènes de résistance à la sécheresse mais aussi d'introduire de la diversité génétique au sein des populations. La migration assistée d'essences est l'introduction d'essences qui ne sont pas encore présentes chez nous mais dont les

²Les 5 critères sont : les débouchées pour le produit bois, l'absence de caractère envahissant, l'absence de bioagresseurs problématiques en Belgique, le potentiel d'adaptation au climat futur et la facilité d'accès aux graines (*Trees For Future / Objectifs et méthodologies*, 2021).

conditions climatiques dans leur aire de répartition sont similaires aux futures conditions belges (*Trees For Future* / *La migration assistée*, 2021).

Tableau 1 : Nom latin et nom vernaculaire des essences du projet. Les essences soulignées ne sont pas encore plantées actuellement

Nom latin	Nom vernaculaire	Nom latin	Nom vernaculaire
Indigène		Amérique du Nord	
<i>Fagus sylvatica</i>	Hêtre commun	<i>Liquidambar styraciflua</i>	Copalme d'Amérique
<i>Quercus petraea</i>	Chêne sessile	<i>Liriodendron tulipifera</i>	Tulipier de Virginie
<i>Tilia cordata</i>	Tilleul à petites feuilles	<i>Sequoia sempervirens</i>	Séquoia toujours vert Séquoia sempervirent
<i>Quercus pubescens</i>	Chêne pubescent	<i>Calocedrus decurrens</i>	Calocèdre
Europe		<i>Pseudotsuga menziesii</i>	Douglas vert
<i>Quercus cerris</i>	Chêne chevelu	<i>Liquidambar styraciflua</i>	Copalme d'Amérique
<i>Pinus pinaster</i>	Pin maritime	<i>Metasequoia glyptostroboides</i>	Métaséquoia
<i>Quercus frainetto</i>	Chêne de Hongrie	Asie (Turquie -> Himalaya)	
<i>Pinus sylvestris</i>	Pin sylvestre	<i>Abies bornmuelleriana</i>	Sapin de Bornmuller
<i>Pinus nigra corsicana</i>	Pin laricio	<i>Abies nordmanniana</i>	Sapin de Nordmann
<i>Pinus heldreichii</i> <i>Pinus leucodermis</i>	Pin de Bosnie	<i>Fagus orientalis</i>	Hêtre d'orient
<u><i>Pinus peuce</i></u>	<u>Pin de Macédoine</u>	<i>Corylus colurna</i>	Noisetier de Byzance
<u><i>Abies cephalonica</i></u>	<u>Sapin de Céphalonie</u>	<i>Cedrus deodara</i>	Cèdre de l'Himalaya
<u><i>Alnus cordata</i></u>	<u>Aulne de Corse</u>	<u><i>Picea omorika</i></u>	<u>Epicéa de Serbie</u>
Afrique du Nord		<u><i>Abies cilicica</i></u>	<u>Sapin de Cilicie</u>
<i>Cedrus atlantica</i>	Cèdre de l'Atlas	<u><i>Picea orientalis</i></u>	<u>Epicéa d'Orient</u>

2.3. [Stratégies d'adaptation à la sécheresse](#)

2.3.1. Les stratégies

Les essences sélectionnées ont principalement été choisies pour résister à la sécheresse qui cause des dégâts aux actuelles essences de production et qui risque de s'accroître dans les

années à venir. Mais pour que ces essences puissent résister à la sécheresse, il est nécessaire de connaître quels sont les traits et mécanismes qui leur procurent cette résistance et les conditions édaphiques qui en découlent. En effet, toutes les essences n'utilisent pas les mêmes stratégies pour résister au stress hydrique édaphique ou atmosphérique engendré par des sécheresses importantes.

Avant de parler des mécanismes de résistance à la sécheresse, il convient de comprendre le mécanisme de déplacement de l'eau dans l'arbre. La théorie de la tension-cohésion est la théorie selon laquelle la sève circule dans l'arbre des racines jusqu'aux feuilles via des différences de potentiel entre le sol, l'arbre et l'atmosphère (Figure 1). Au sein du xylème, la sève circule via les phénomènes de cohésion et de tension au travers de la colonne.

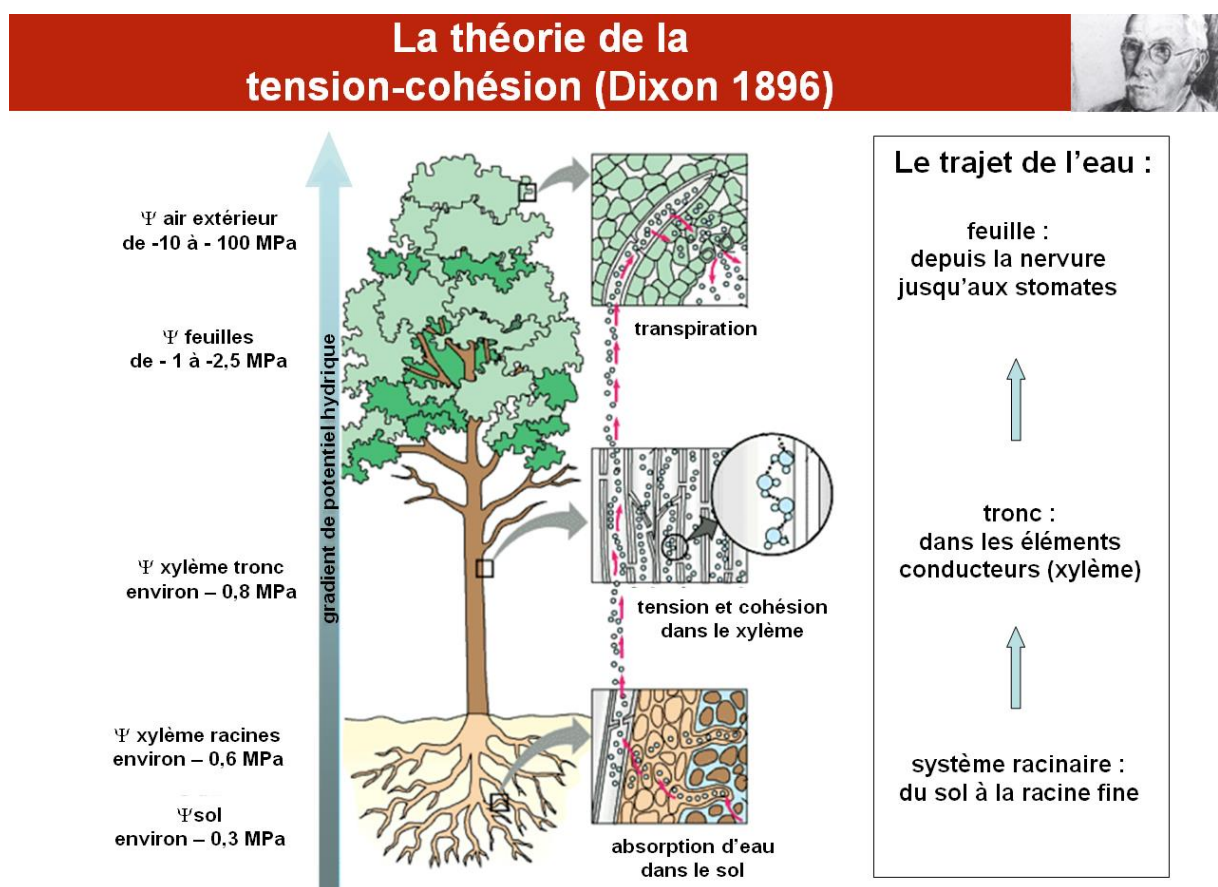


Figure 1 : Schéma représentant la théorie de la tension-cohésion qui explique le déplacement de la sève brute au sein de l'arbre © Pearson Education, Inc., Publishing as Benjamin Cummings

L'adaptation à la sécheresse peut se faire via trois grandes stratégies selon (Brendel & Cochard, 2011) et (Zapater, 2009):

1. Stratégie d'évitement. La stratégie d'évitement, comme son nom l'indique, est une stratégie qui vise à éviter les dégâts de la sécheresse. Les essences utilisant cette stratégie sont par nature peu résistantes à l'embolie car leur vaisseaux s'embolisent à des pressions très peu faibles. C'est pourquoi, la fermeture des stomates se fait précocement (Brendel &

Cochard, 2011). De cette manière, l'eau est conservée dans la plante qui n'évapotranspire plus. En contrepartie, sa productivité diminue car elle ne capte plus de carbone et ne peut donc plus faire de photosynthèse. Ces essences présentent généralement un enracinement superficiel (Zapater, 2009):. Durant la période de stress hydrique, ces essences vivent donc sur leur réserve et utilisent le moins d'énergie possible.

2. Stratégie de tolérance. Elle se caractérise par un maintien de la circulation de la sève malgré le déficit hydrique croissant (Brendel & Cochard, 2011). Les stomates restent donc ouverts et la photosynthèse continue de se faire pour continuer à produire du carbone pour la plante. La stratégie peut se faire de deux manières:

-Une tolérance à la déshydratation peut se faire via un ajustement osmotique des cellules et via une augmentation de la résistance à l'embolie grâce aux propriétés mécaniques des vaisseaux du xylème (Brendel & Cochard, 2011). Cette augmentation de la résistance à la cavitation et à l'embolie demande une allocation du carbone plus importante et peut se faire au détriment du développement du système racinaire.

-L'évitement de la déshydratation peut se faire en réduisant la surface foliaire, en augmentant l'épaisseur des feuilles et de leur cuticule ou encore en augmentant la masse racinaire et en prospectant en profondeur (Brendel & Cochard, 2011). Ces stratégies d'adaptations morphologiques prennent du temps comparé à la fermeture des stomates ou à l'ajustement osmotique des cellules qui sont les mécanismes les plus rapides. Pour les essences qui développent leur système racinaire en profondeur pour faire face à la sécheresse, il est donc primordial d'avoir un sol profond et une réserve utile suffisante.

3. Stratégie intermédiaire. Il existe plusieurs stratégies se situant entre l'évitement et la tolérance avec différents gradients d'adaptation. Par exemple, les essences méditerranéennes présentent généralement des seuils critiques de cavitation à très basse pression mais ferment leurs stomates bien avant de les atteindre. Elles évitent donc les pertes d'eau mais restent tolérantes en terme de pression dans le xylème. Les stomates ne restent donc ouverts qu'une partie de la saison de végétation lorsque l'eau est disponible.

Il ressort donc de ces stratégies que certains traits peuvent procurer cette résistance à la sécheresse : un enracinement profond, une régulation stomatique efficace, une bonne résistance à la cavitation et une allocation du carbone dans les racines ou dans les feuilles.

2.3.2. Les essences

Une diversité de stratégies est présente au sein des espèces sélectionnées pour le projet. La littérature donne des indications sur les stratégies adoptées par des essences forestières grâce à plusieurs paramètres quantitatifs.

Pour commencer, la valeur de pression de fermeture des stomates (en MPa) indique les essences qui ferment rapidement leurs stomates en cas de stress hydrique. C'est le cas de *Fagus sylvatica* qui est l'essence du projet avec la fermeture la plus rapide parmi celles de la figure 2. C'est une essence connue pour adopter la stratégie d'évitement et pour être sensible aux sécheresses. Ensuite, *Quercus petraea*, lui, est légèrement plus tolérant que *Fagus sylvatica* car il ferme ses stomates à plus basse pression. Et dans les espèces

xérophiles, qui ferment leurs stomates encore plus tardivement, se trouve *Cedrus atlantica*. La stratégie d'adaptation de *Calocedrus decurrens* peut se comparer à celles du genre *Cupressus* qui sont des espèces particulièrement tolérantes au déficit hydrique (Moran et al., 2017) et qui ferment leurs stomates tardivement (Figure 2). A l'inverse, le copalme d'Amérique adopte une stratégie d'évitement via une fermeture rapide des stomates (Pezeshki and Chambers, 1986). Il baisse sa conductance stomatique et il est en plus capable de maintenir un potentiel hydrique élevé dans ses feuilles (Figure 3).

Le chêne chevelu se situe dans une stratégie de tolérance avec une fermeture stomatique tardive (Nardini et al., 1999) et il en est de même pour le chêne de Hongrie. Ces deux espèces sont capables de faire baisser leur teneur en eau dans les feuilles la journée et supportent la déshydratation (Wolkerstorfer et al., 2011). De manière générale, les chênes développent des systèmes racinaires profond pour faire face au stress hydrique.

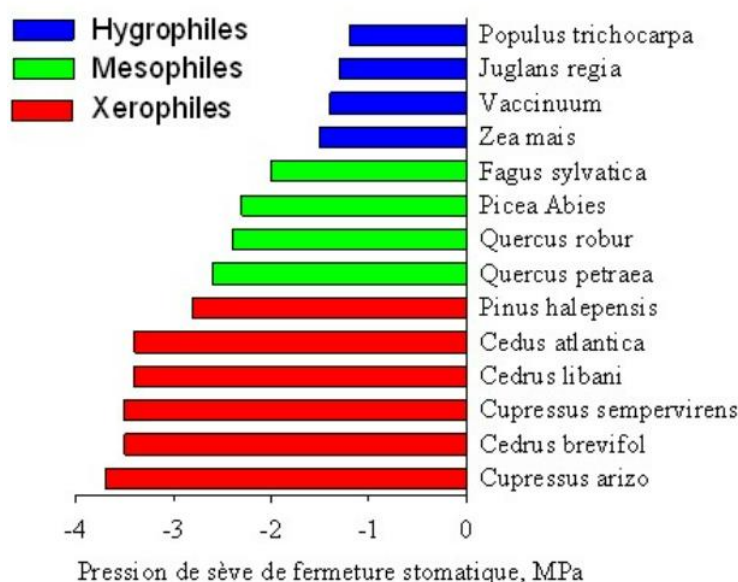


Figure 2 : Graphique des valeurs de pression de la fermeture des stomates (Cochard, s. d.)

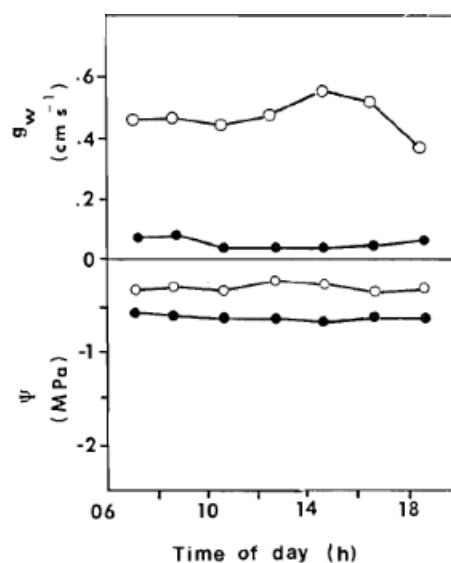


Figure 3 : Evolution au cours de la journée de la conductance stomatique (g_w) et du potentiel hydrique Ψ des feuilles pendant une période de pré-sécheresse (cercle vide) et de sécheresse (cercle plein) de *Liquidambar styraciflua* (Pezeshki and Chambers, 1986).

Un autre paramètre qui peut donner des indications sur le comportement de l'essence est la vulnérabilité à l'embolie (Figure 4). Plus le Ψ_{50} est négatif, plus les vaisseaux sont résistants à l'embolie et plus la sève peut continuer à circuler à fort déficit hydrique. La tendance qui se dégage de la figure 4 est une vulnérabilité à l'embolie intermédiaire (valeur de Ψ_{50} entre -2,5 et -4 MPa) pour le pin sylvestre, le pin maritime, le chêne sessile, le hêtre commun et le douglas. La vulnérabilité à l'embolie est à mettre en lien avec la fermeture des stomates : plus une essence est résistante à l'embolie, plus elle va pouvoir fermer ses stomates à plus faible déficit hydrique.

Le *Sequoia sempervirens* se trouve dans une aire de répartition naturelle restreinte. En effet, il se trouve le long des côtes de Californie dans des zones à fortes pluies et à brouillard courant qui permet de garder une humidité de l'air importante. Dans une étude portant sur des juvéniles, la courbe de vulnérabilité à l'embolie de *Sequoia sempervirens* montre un Ψ_{50} à -1,81 MPa (Choat et al., 2015). Sa vulnérabilité à l'embolie est donc élevée dans son jeune âge. Mais dans une autre étude, réalisée sur des branches matures, des résultats différents sont observés. En effet, la courbe de vulnérabilité à l'embolie de la figure 5 indique un Ψ_{50} de -6 MPa à 30m et de -8 MPa à 50m (Burgess et al., 2006). Les branches matures ont donc une résistance à l'embolie élevée. De plus, il apparaît que cette essence a une fermeture stomatique peu efficace lors d'un déficit de pression de vapeur (Burgess & Dawson, 2004). Cette essence peut continuer de faire de la photosynthèse à des déficits hydriques importants mais nécessite un sol avec une bonne réserve utile pour combler sa faible régulation stomatique lors de sécheresses prolongées. Concernant le métaséquoia, il a aussi une préférence pour les zones de brouillard ou ripariennes. Il est considéré comme intolérant à la sécheresse de part une faible capacité d'adaptation et nécessite une réserve hydrique élevée (Vann, 2005).

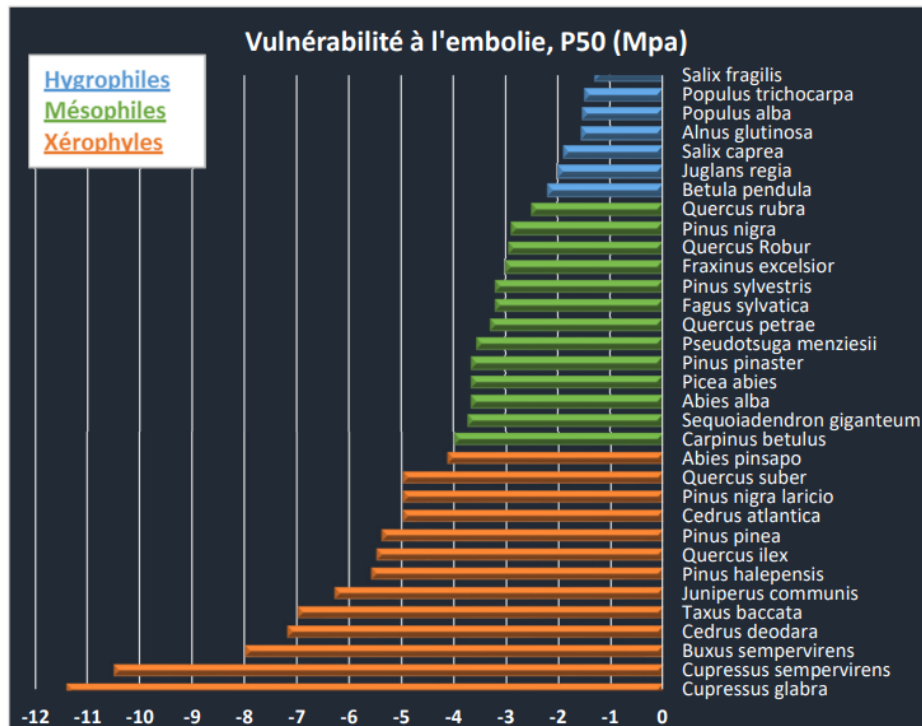


Figure 4 : Graphique des valeurs de Ψ_{50} (Cochard et al., 2016)

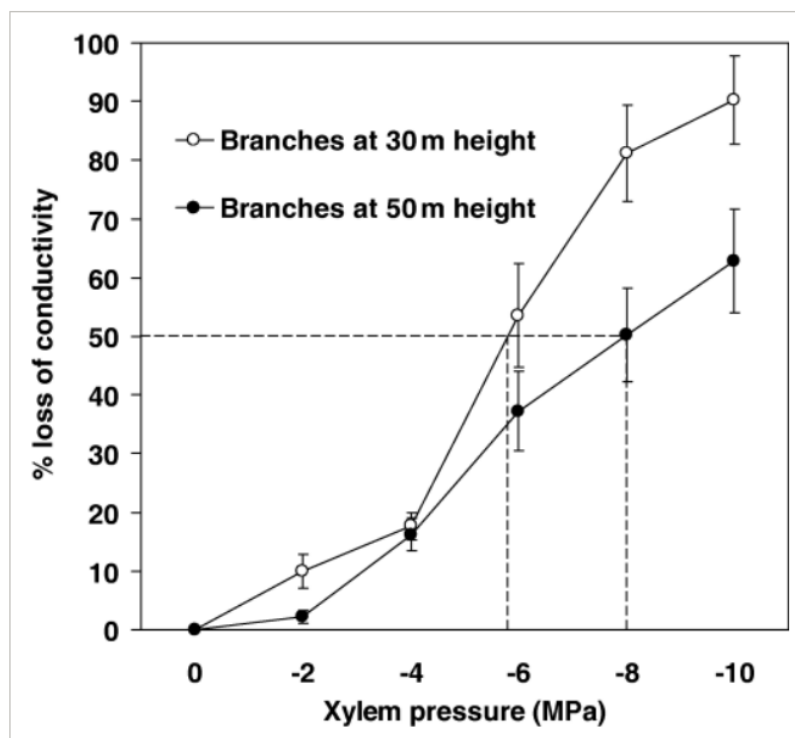


Figure 5 : courbe de vulnérabilité à l'embolie de *Sequoia sempervirens* adultes (Burgess et al., 2006)

Ensuite, le potentiel de base peut aussi donner des indications sur la stratégie employée. Sur la figure 6, le potentiel de base du cèdre de l'Atlas peut descendre jusqu'à -30 bars alors que le douglas voit son potentiel descendre jusqu'à -20 bars et le pin sylvestre jusque -18 bars. Le cèdre de l'Himalaya, lui, peut descendre jusqu'à un potentiel de base de -40 bars (Aussenac,

1984). Ces tendances coïncident avec celle de vulnérabilité à l'embolie (figure 4). Un potentiel de base très négatif reflète une fermeture tardive des stomates comme c'est le cas pour les cèdres (Aussenac, 1984). Il est nécessaire pour ces essences d'avoir un enracinement profond et une réserve utile suffisante pour capter de l'eau en profondeur et pour ne pas utiliser toutes leurs réserves. Les cèdres sont dans une stratégie de tolérance et continuent donc la photosynthèse malgré le déficit hydrique croissant. Le douglas, lui, opte pour une stratégie de tolérance intermédiaire avec une fermeture des stomates tardive mais efficace qui lui permet de conserver de l'eau dans ses tissus (Aussenac & Oleffe, 1984).

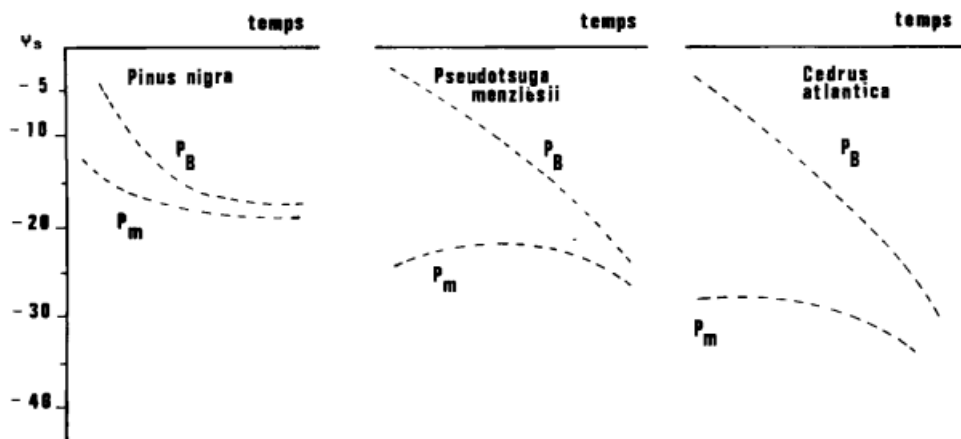


Figure 6 : Evolution du potentiel de base et du potentiel minimum en phase de sécheresse chez *Cedrus atlantica*, *Pinus nigra* et *Pseudotsuga menziesii* (Aussenac, 1984)

Un autre paramètre indicateur de la stratégie adoptée est le potentiel de base critique. Le tableau 2 présente le potentiel de base critique de plusieurs essences. Tout d'abord, les pins sont des essences qui adoptent une stratégie d'évitement. Ils bloquent leurs stomates rapidement et efficacement (Aussenac, 1984) mais tous n'ont pas les mêmes seuils de résistance face à la sécheresse. En effet, le pin noir laricio et le pin maritime ont un potentiel de base critique légèrement plus négatif que le pin sylvestre (Tableau 2) et la différence est encore plus marquée pour la résistance à l'embolie des vaisseaux (Figure 4). Cependant, le Ψ_{50} du pin maritime est moins négatif que celui du pin laricio. Ensuite, les sapins méditerranéens ont, eux, un comportement intermédiaire en terme de stratégie avec des valeurs de potentiel de base critique se situant vers -2 MPa (Tableau 2). De manière générale, la photosynthèse s'arrête entre -2 et -2,5 MPa pour les sapins méditerranéens sauf pour le sapin de Nordmann qui bloque sa transpiration vers -3 MPa (Tableau 3). Le sapin de Nordmann maintiendra donc la photosynthèse plus longtemps en période de sécheresse et adopte une stratégie de tolérance. Il est à noter que les sapins de Nordmann et Bornmuller demandent des besoins en eau plus importants que les sapins de Céphalonie et de Cilicie (Ducrey, 1998). Ensuite, le chêne pubescent a un comportement de tolérance avec un potentiel de base critique de -3 MPa.

Tableau 2 : Potentiel de base critique d'essences méditerranéennes (Ducrey, 1998)

Espèce	Potentiel de base critique (MPa)	Lieu	Auteurs
<i>Pinus nigra</i>	-1.55	Ventoux (84)	Aussenac/Valette
<i>P. nigra ssp nigricans</i>	-1.65	La Gardiole (83)	Braesco
<i>P. nigra ssp laricio</i>	-1.7	La Gardiole (83)	Braesco
<i>Pinus silvestris</i>	-1.6	Ventoux (84)	Aussenac/Valette
<i>Pinus uncinata</i>	-1.65	Ventoux (84)	Aussenac/Valette
<i>Pinus pinaster</i>	-1.7	Ventoux (84)	Aussenac/Valette
<i>Abies alba</i>	-1.8	Le Treps (83)	Ducrey
<i>Abies concolor</i>	-2.1	Le Treps (83)	Ducrey
<i>Abies cephalonica</i>	-2.1	Le Treps (83)	Ducrey
<i>Cedrus atlantica</i>	-2.9	Ventoux (84)	Aussenac/Valette
<i>Cedrus atlantica</i>	-3.05	La gardiole (83)	Braesco
<i>Cedrus atlantica</i>	-2.9	Les Blaconnes (83)	Braesco
<i>Quercus pubescens</i>	-3.0	La Gardiole (83)	Braesco
<i>Quercus pubescens</i>	-3.3	Ventoux (84)	Aussenac/Valette
<i>Quercus ilex</i>	-3.4	Ventoux (84)	Aussenac/Valette
<i>Acer opalifolium</i>	-3.4	Ventoux (84)	Aussenac/Valette
<i>Buxus sempervirens</i>	-4.2	Ventoux (84)	Aussenac/Valette

Tableau 3 : Classement de sapin d'après leur résistance à la dessiccation (Aussenac cité dans Ducrey, 1998)

Espèces	Potentiel hydrique (MPa)		Teneur en eau relative	Degrés de résistance à la dessiccation	Interprétation écologique
	Début de contrôle de la transpiration	Blocage de la transpiration			
<i>Abies alba</i>	-1,8	-4,0	80,0	0	Adapté aux stations bien alimentées en eau, craint la sécheresse
<i>A. nordmanniana</i>	-0,9	-3,0	78,2	1	Adapté à des conditions limitées de sécheresse
<i>A. marocana</i>	-1,4	-2,7	79,6	1	Adapté à des conditions limitées de sécheresse
<i>A. pinsapo</i>	-1,0	-2,8	77,4	1	Adapté à des conditions limitées de sécheresse
<i>A. grandis</i>	-1,1	-2,5	78,6	2	Adapté aux stations bien alimentées en eau, mais résiste à la sécheresse
<i>A. numidica</i>	-1,2	-2,4	78,2	2	Adapté aux stations bien alimentées en eau, mais résiste à la sécheresse
<i>A. cilicica</i>	-0,8	-2,6	70,2	3	Adapté à la sécheresse
<i>A. concolor</i>	-0,8	-2,6	75,4	3	Adapté à la sécheresse
<i>A. cephalonica</i>	-0,8	-2,4	64,2	3	Adapté aux sécheresses fréquentes et fortes

Aussi, il est aussi possible d'obtenir des indications sur la stratégie d'adaptation via la conductance stomatique. Pour le *Tilia cordata*, une diminution radicale de la conductance stomatique est observée en cas de période de sécheresse (Figure 7). Cela traduit une fermeture efficace des stomates. La figure 8 indique, elle, une fermeture rapide des stomates pour le tilleul à petite feuille mais aussi pour le hêtre commun qui traduit une stratégie d'évitement.

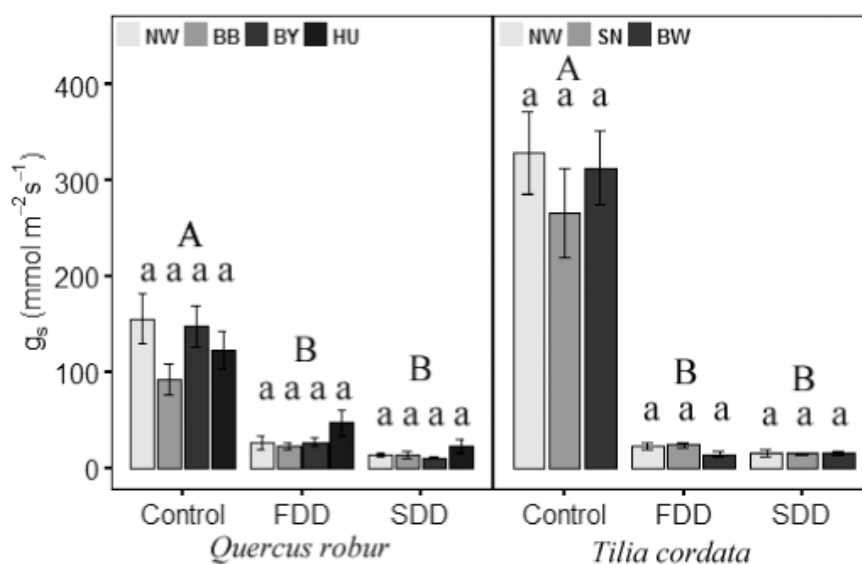


Figure 7 : conductance stomatique de plusieurs population de *Quercus robur* et de *Tilia cordata* dans 3 conditions : condition de contrôle où les plants sont bien hydratés, condition de sécheresse rapide (FDD), condition de sécheresse progressive (SDD).

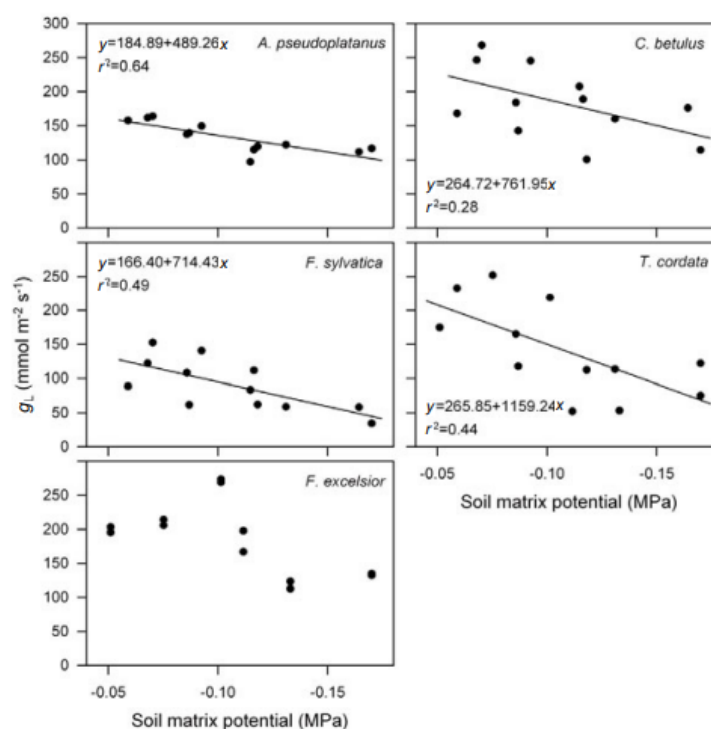


Figure 8 : conductance stomatique en fonction du potentiel matriciel du sol de *Acer pseudoplatanus*, *Fagus sylvatica*, *Fraxinus excelsior*, *Carpinus betulus* et *Tilia cordata*.

De surcroît, il est aussi possible d'identifier la stratégie d'adaptation en regardant l'évolution de la taille des cernes. Dans l'étude d'Orwig & Abrams, l'évolution des cernes de croissance d'espèces de chêne et du tulipier de Virginie sur plusieurs années est comparée. En période de sécheresse, la croissance des chênes est peu affectée alors que celle du tulipier est largement ralentie. Il en ressort que les chênes sont dans une stratégie de tolérance où ils continuent la photosynthèse alors que le tulipier est dans une stratégie d'évitement où la photosynthèse est stoppée en cas de stress hydrique (Orwig & Abrams, 1997).

Les caractéristiques des vaisseaux sont aussi des paramètres donnant une indication sur la stratégie utilisée. Dans une étude qui compare la résistance à la sécheresse du hêtre commun avec celle du hêtre oriental, l'adaptation de la taille et de la fréquence de leurs vaisseaux semble corrélée avec les conditions climatiques (Elzami, 2018). Ces 2 paramètres augmentent avec l'augmentation des précipitations et avec la diminution de la température. Cependant, Elzami montre que les caractéristiques des vaisseaux du hêtre oriental sont plus dépendantes de la température contrairement à celles du hêtre commun qui sont dépendantes de la ressource « eau ». Le hêtre oriental semble donc être génétiquement plus adapté à la sécheresse/au manque d'eau que le hêtre commun. Dans cette étude, il est à noter qu'un des peuplements de hêtre oriental présent en Iran a des comportements face à la sécheresse similaires à ceux du hêtre commun. Il n'est donc pas exclu que la provenance influence la résistance à la sécheresse. En conclusion, le hêtre commun risque d'être plus touché par les sécheresses plus fortes et plus fréquentes que le hêtre oriental. Cependant, le hêtre commun a des capacités d'adaptation aux changements plus importantes que le hêtre oriental de par une plasticité phénotypique plus importante (Elzami, 2018).

Le noisetier de Byzance est une essence résistante à la sécheresse selon la littérature, sauf durant les premières années (Šeho et al., 2019). Cependant, la littérature ne semble pas encore expliquer les mécanismes qui expliquent sa résistance à la sécheresse.

Finalement, le type d'enracinement peut donner une indication sur la stratégie utilisée (Tableau 4). Un enracinement pivotant et profond permet à l'arbre de capter de l'eau en profondeur. Cette adaptation morphologique peut donc s'inscrire dans une stratégie de tolérance.

En résumé, les paramètres donnant des indications sur la stratégie utilisée sont multiples : la pression de fermeture stomatique, la résistance des vaisseaux à l'embolie, le potentiel de base, le potentiel de base critique ou encore la conductance stomate. Ces paramètres sont tous liés et permettent de comprendre les réponses engendrées par un stress hydrique. Le tableau 5 résume les mécanismes mis en place par les essences déjà plantées dans le projet *Trees for future*.

Tableau 4 : résumé (non exhaustif) des mécanismes d'adaptation et de la résistance à la sécheresse des essences déjà plantées

	Fermeture stomatique	Vulnérabilité à l' embolie	Potentiel de base	Potentiel de base critique	Conductance stomatique	Croissance des cernes	Caractéristiques des vaisseaux	Enracinement	Résistance à la sécheresse
<i>A. bornmuelleriana</i>	Moyenne							Pivotant	++
<i>A. nordmanniana</i>	Tardive							Pivotant	++
<i>C. decurrens</i>	Tardive							Pivotant	++
<i>C. atlantica</i>	Tardive		Très faible	Très faible				Pivotant	+++
<i>C. deodora</i>			Très faible						++
<i>C. columna</i>								Pivotant	+
<i>F. orientalis</i>							Température-dépendante		
<i>F. sylvatica</i>	Rapide	Moyenne					Précipitation-dépendante	Superficiel	-
<i>L. tulipifera</i>						Ralentie		Pivotant	+/-
<i>L. styraciflua</i>	Rapide				Faible			Pivotant	+/-
<i>M. glyptostroboides</i>	Peu efficace								-
<i>P. heldreichii</i>	Rapide							Pivotant	++
<i>P. nigra corsicana</i>	Rapide			Légèrement faible				Pivotant	++
<i>P. pinaster</i>	Rapide	Moyenne		Légèrement faible				Pivotant	++
<i>P. sylvestris</i>	Rapide	Moyenne	Faible	Légèrement faible				Pivotant	++
<i>P. menziesii</i>		Moyenne	Faible					Superficiel	+
<i>Q. cerris</i>	Tardive					Non ralentie			+++
<i>Q. frainetto</i>	Tardive					Non ralentie			+++
<i>Q. petraea</i>	Moyenne	Moyenne				Non ralentie		Pivotant	+++
<i>Q. pubescens</i>				Très faible		Non ralentie		Pivotant	+++
<i>S. sempervirens</i>	Tardive Peu efficace	Elevée						Superficiel	-
<i>T. cordata</i>	Rapide				Efficace			Pivotant	+/-

2.4. La disponibilité en eau

La disponibilité en eau du sol peut être appréhendée à partir de plusieurs paramètres liés au sol (texture, charge caillouteuse, profondeur), à la topographie (position topographique, exposition, évapotranspiration potentielle (ETP)) et au climat (température, pluviométrie, ETP) (Figure 9) (Claessens, 2020). La disponibilité en eau d'un sol est donc une notion complexe dont il existe plusieurs modèles. Le modèle de la figure 10 met en avant l'eau amenée par les précipitations et son trajet à travers le sol. Il met aussi en avant la réserve en eau utilisée par la plante qui évapotranspire par la suite. Cependant, la topographie n'est pas prise en compte dans ce modèle. Le concept de disponibilité en eau va donc être développé en expliquant les paramètres liés au sol via le concept de réserve utile, les paramètres liés à la topographie et les paramètres liés au climat. Finalement, le concept de niveau hydrique qui rassemble plusieurs de ces paramètres sera explicité.

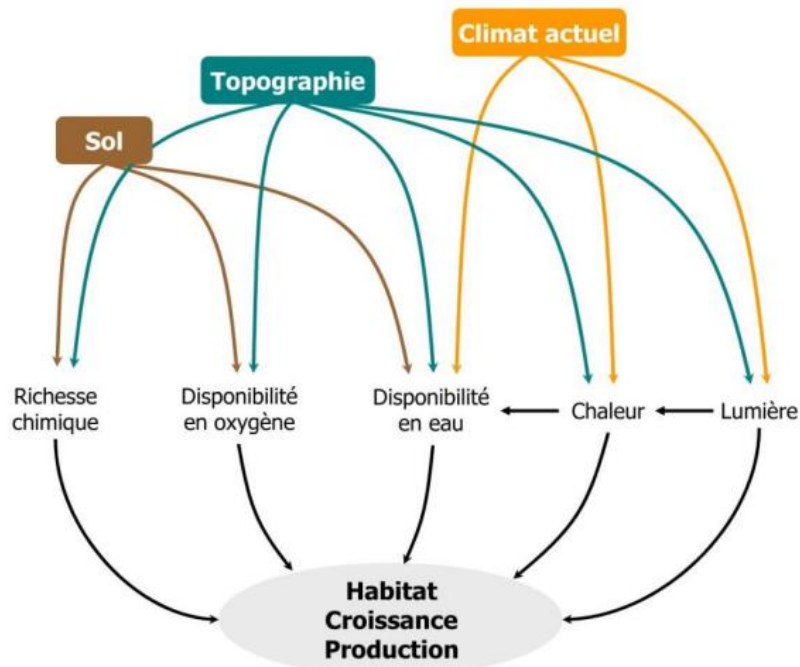


Figure 9 : Relation entre les paramètres et facteurs liés au sol, à la topographie et au climat actuel et leur influence sur la croissance, l'habitat et la production (Claessens, 2020)

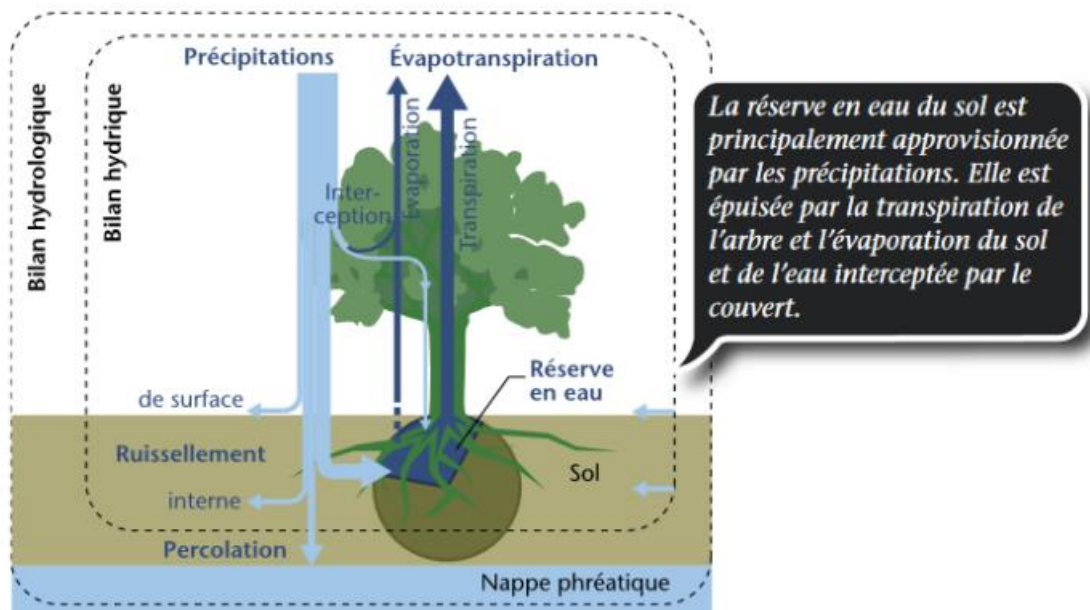


Figure 10 : Modèle hydrologique, sans influence de la topographie (Ridremont et al., 2012)

2.4.1. Réserve utile et contraintes

La disponibilité en eau d'un sol dépend tout d'abord des paramètres intrinsèques de ce dernier.

La réserve en eau d'un sol à un instant donné correspond au volume d'eau contenu dans le sol et s'exprime en mm d'épaisseur de lame d'eau. Ce paramètre évolue au cours du temps et des saisons sous l'effet des précipitations et de l'évapotranspiration. Cependant, toute l'eau de la réserve n'est pas utilisable par les plantes soit car les racines ne peuvent prospector assez profondément soit car l'eau peut être retenue par les composants du sol (Ehinger, 2019). En effet, le sol exerce différents degrés de rétention en fonction de la porosité dans laquelle l'eau se situe (Figure 11):

- l'eau gravitaire ou l'eau libre se situe dans les macropores du sol. Elle n'est peu voire pas retenue par les composants du sol et est par conséquent non absorbée par les racines.
- l'eau capillaire se situe dans les micropores du sol. Elle est partiellement retenue par les composants du sol et une partie est donc absorbable par les plantes.
- l'eau hygroscopique ou pelliculaire entoure les particules du sol. Elle est fortement retenue par les composants du sol et est par conséquent non absorbable par les plantes.
- l'eau de constitution se trouve dans les particules et est donc indisponible par les plantes (Ridremont et al., 2012).

Ces différents degrés de disponibilité amènent aux deux notions suivantes : la capacité au champ et le point de flétrissement. La capacité au champ se définit comme la quantité d'eau maximale retenue après percolation de l'eau libre présente dans un sol préalablement saturé. Le point de flétrissement, lui, se définit comme la teneur en eau minimale du sol en deçà de laquelle les plantes ne peuvent plus puiser de l'eau car l'eau restante est retenue par les composants du sol.

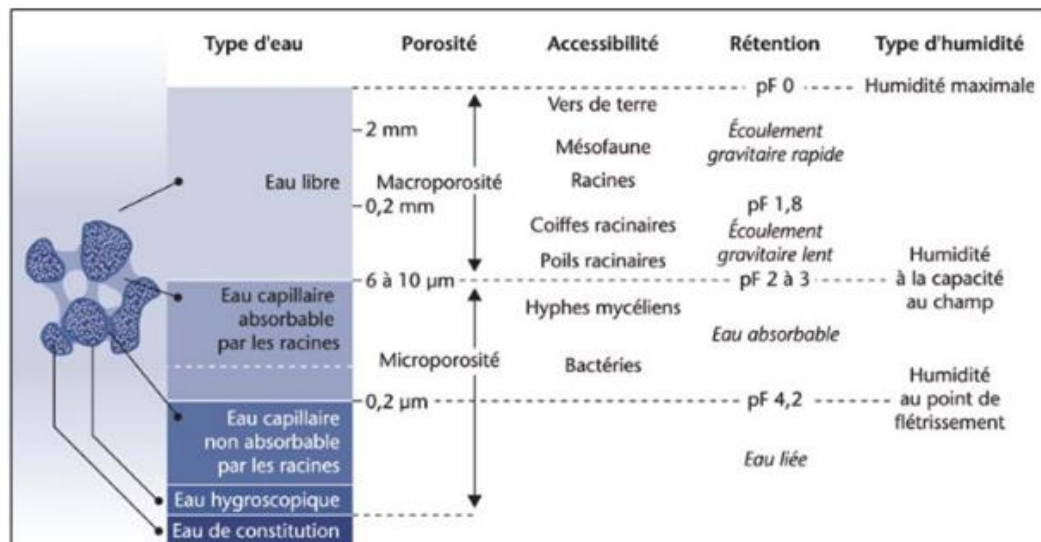


Figure 11 : Relation entre types d'eau, porosité, accessibilité, rétention et types d'humidité (Baize, Jabiol et Delecour cité dans Ridremont et al., 2012)

L'eau réellement disponible pour la plante se situe donc entre le point de flétrissement et la capacité au champ dans une profondeur prospectable par les racines et se nomme la Réserve Utile (RU) (Figure 12). La réserve utile s'exprime aussi en mm d'épaisseur de lame d'eau et dépend de plusieurs paramètres : la texture, le pourcentage en éléments grossiers, la structure, la densité apparente, l'humidité pondérale à la capacité au champ et l'humidité pondérale au point de flétrissement (Ridremont et al., 2012). Calculer la réserve utile nécessite donc des études très précises et invasives du sol.

La réserve utile permet de dresser le potentiel hydrique de la station mais elle n'est pas un critère à prendre seule. En effet, elle est à coupler avec le drainage, la topographie ou encore les précipitations. Un sol avec une réserve utile élevée mais un drainage excessif et de faibles précipitations sera plus contraignant qu'un sol avec une plus faible réserve utile et un apport d'eau régulier. La réserve utile est donc une information qui, couplée au reste d'une analyse stationnelle classique, se révèle intéressante. Elle permet en outre de pouvoir identifier des sols sensibles aux risques de stress hydrique qui est un critère important dans le contexte du réchauffement climatique.

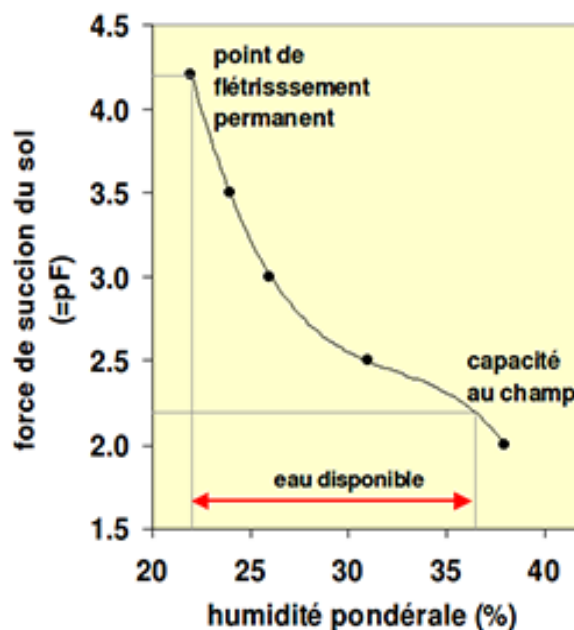


Figure 12 : courbe de rétention d'un sol argilo-limoneux (Ehinger, 2019)

La réserve utile en eau d'un sol dépend donc, entre autres, de la profondeur de prospection des racines mais ce paramètre est probablement le plus compliqué à déterminer. Les racines peuvent parfois descendre à des profondeurs extrêmes malgré les contraintes du sol. Néanmoins, il est possible de mettre en évidence des contraintes possibles à l'enracinement pour un sol donné. En effet, plusieurs paramètres peuvent empêcher les racines d'aller en profondeur :

- Compaction du sol : un sol compacté est difficilement pénétrable par les racines, sauf si la porosité du sol reste suffisante.
- Absence de macroporosité : la macroporosité est liée au travail de la pédofaune et à la structure du sol. Une structure en agrégat a une forte porosité et facilite la prospection racinaire. *A contrario*, une structure massive est compacte et présente une faible porosité.
- Les éléments grossiers : une charge en éléments grossiers importante, leur disposition et leur profondeur d'apparition peuvent contraindre l'enracinement.
- L'engorgement du sol : toutes les essences ne supportent pas l'asphyxie liée à l'engorgement qui limite la prospection des racines et qui par la suite peut mener à des problèmes nutritionnels (Lebourgeois et al., 2002).

2.4.2. La topographie

La disponibilité en eau d'une station dépend aussi de la topographie. En effet, la position topographique d'une station peut induire un microclimat local et influencer les apports en eau.

Quatre positions topographiques ont été identifiées en fonction du microclimat qui en découle (Figure 13) :

- Les plaines, plateaux et faibles pentes. Leur sous-secteur est neutre et ces situations n'induisent pas de microclimats particuliers.
- Les versants chauds. Leur sous-secteur chaud induit une station plus sèche et chaude de par l'apport de radiations plus important. Cette position topographique induit aussi une évapotranspiration plus importante.
- Les versants froids. Leur sous-secteur froid induit des conditions plus fraîches et humides.
- Les fonds de vallées encaissées. Leur sous-secteur est froid et une stagnation de froid (causant des gelées tardives sévères) accompagnée d'humidité et de brouillard est courant dans cette situation topographique (Petit et al., 2017).

Ces positions topographiques induisent des apports en eau de trois classes différentes (Figure 14) :

- Classe A : sans apport latéral ou par les précipitations uniquement. Ces zones sont alimentées uniquement via les précipitations et l'humidité du sol dépend donc de leur capacité de rétention et de percolation. Aussi, les sols à régimes hydrique alternatif font partie de cette catégorie et sont engorgés durant une partie de l'année.
- Classe B : apports variables. En périodes pluvieuses, ces zones sont alimentées en eau via les précipitations et via les écoulements du versant. Leurs apports d'eau sont donc plus importants que la classe A.
- Classe C : apports permanents. Ces zones sont proches de sources d'eau et sont donc alimentées constamment (Petit et al., 2017).

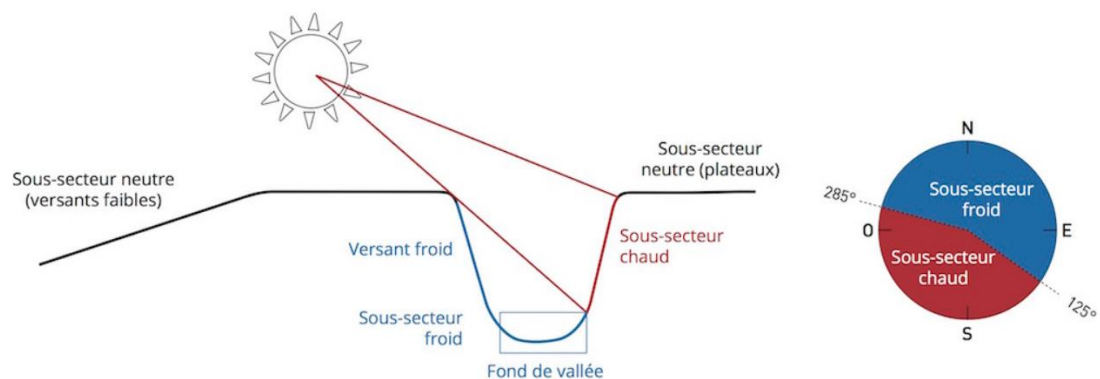


Figure 13 : situations topographiques et sous-secteur associé (Claessens, 2020)

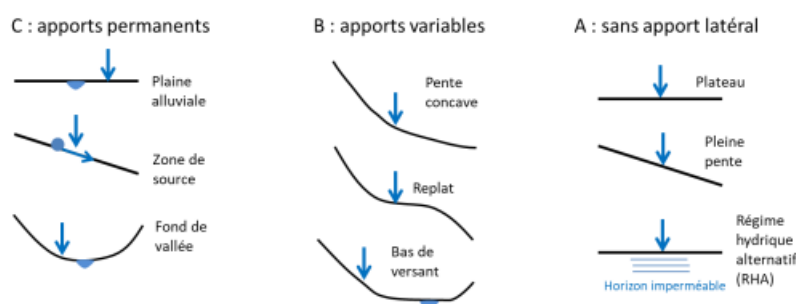


Figure 14 : classes d'apport d'eau en fonction de la topographie

2.4.3. Le climat

La disponibilité en eau dépend de paramètres climatiques tels que les précipitations et la température. En effet, les précipitations influencent la quantité d'eau disponible pour la plante car elles sont les sources principales d'apports en eau dans les stations situées dans une pente concave, sur un replat ou dans un bas de versant (apport de classe B). Elles sont aussi la source d'eau unique dans le cas des plateaux, des pleines pentes et des stations à régime hydrique alternatif (classe d'apport A). Ensuite, la température est aussi un paramètre qui influence la disponibilité en eau en agissant par exemple sur l'évapotranspiration potentielle (ETP). Cette notion fait référence à la quantité d'eau qui peut être évaporée par le sol et par le couvert végétal et évapotranspirée par la végétation (Claessens, 2020). Plus globalement, l'indice nommé « bilan hydrique climatique » est la différence entre les précipitations et l'ETP et indique donc la quantité d'eau réellement disponible pour les plantes. La carte du bilan hydrique climatique en Wallonie montre une zone de déficit hydrique au nord du sillon Sambre-et-Meuse, suivie d'une zone de transition et d'une zone avec un bilan hydrique positif au sud (Figure 15).

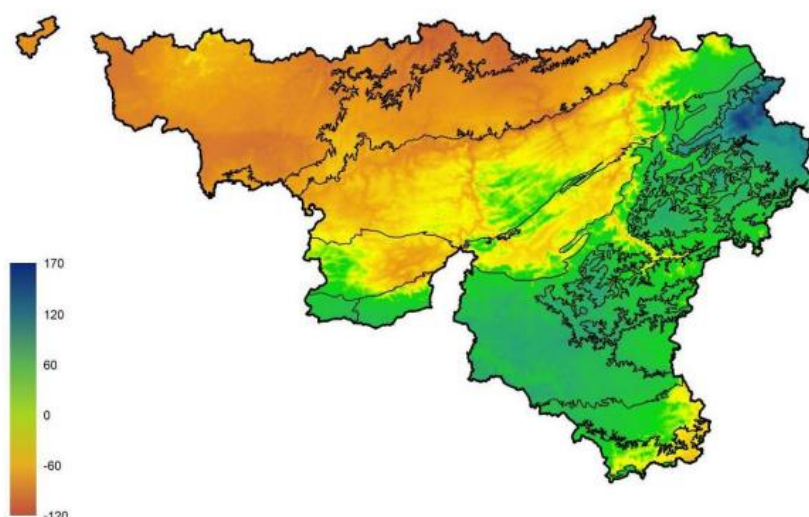


Figure 15 : carte du bilan hydrique climatique (P-ETP, mm) en Wallonie (Van der Perre et al. cité dans Claessens, 2020)

2.4.4. Bilan hydrique

Le fichier écologique des essences propose le niveau hydrique comme un indicateur empirique du bilan hydrique sur base de différents paramètres du sol et de la topographie qui influencent la disponibilité en eau du sol. Pour déterminer le niveau hydrique du sol, le fichier écologique des essences propose une clé de détermination (Figure 17) basée sur 6 paramètres identifiables lors d'un sondage pédologique : le matériaux (minéral ou organique), la classe de drainage naturel, la texture du sol, la profondeur du sol, le microclimat topographique (sous-secteur radiatif) et la classe d'apport d'eau (Wampach et al., 2017).

Le niveau hydrique s'exprime sur 2 échelles : une allant de -4 à 5 avec une unité d'intervalle et une allant de -3 à -1 pour les sols avec une nappe variant de profondeur au cours de l'année (Figure 16). Le niveau 0 est attribué à des sols avec un apport régulier en eau et une aération satisfaisante. Cela traduit une disponibilité en eau moyenne et sans manque d'oxygénation causée par une accumulation d'eau. En se dirigeant de 1 à 5, les sols sont de plus en plus secs. Un niveau hydrique de 5 peut refléter une station avec une réserve utile faible, avec une évapotranspiration importante sur un versant chaud ou encore un drainage excessif. En se rapprochant du niveau 5, la disponibilité en eau pour la plante diminue. Et inversement, en se dirigeant de -1 à -4, les sols sont de plus en plus humides. La disponibilité en eau est donc élevée mais elle est accompagnée par un manque d'oxygénation non toléré par certaines essences. Sur la seconde échelle se trouvent les sols à régime hydrique alternatif (RHA), dits hydromorphes. Cela signifie qu'en hiver ou au début du printemps, les sols sont gorgés d'eau de par la montée de la nappe, alors qu'en été la nappe est plus profonde et le sol plus sec. En se dirigeant de -1 RHA vers -3 RHA, la nappe est de plus en plus proche de la surface durant la période humide traduisant un manque d'oxygène plus important (*Fichier Ecologique Des Essences – Niveau Hydrique (NH)*, 2017).

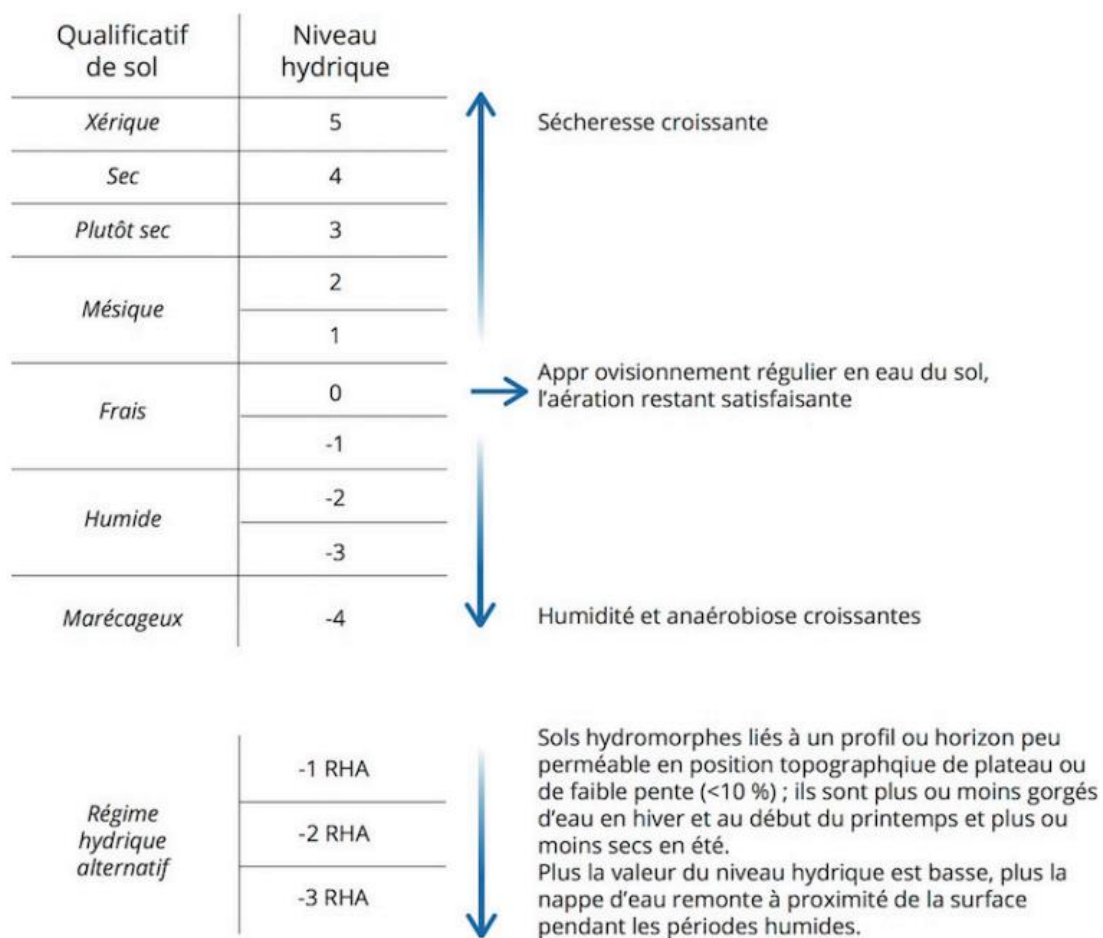


Figure 16 : Echelle des niveaux hydriques possibles d'une station (Petit et al., 2017)

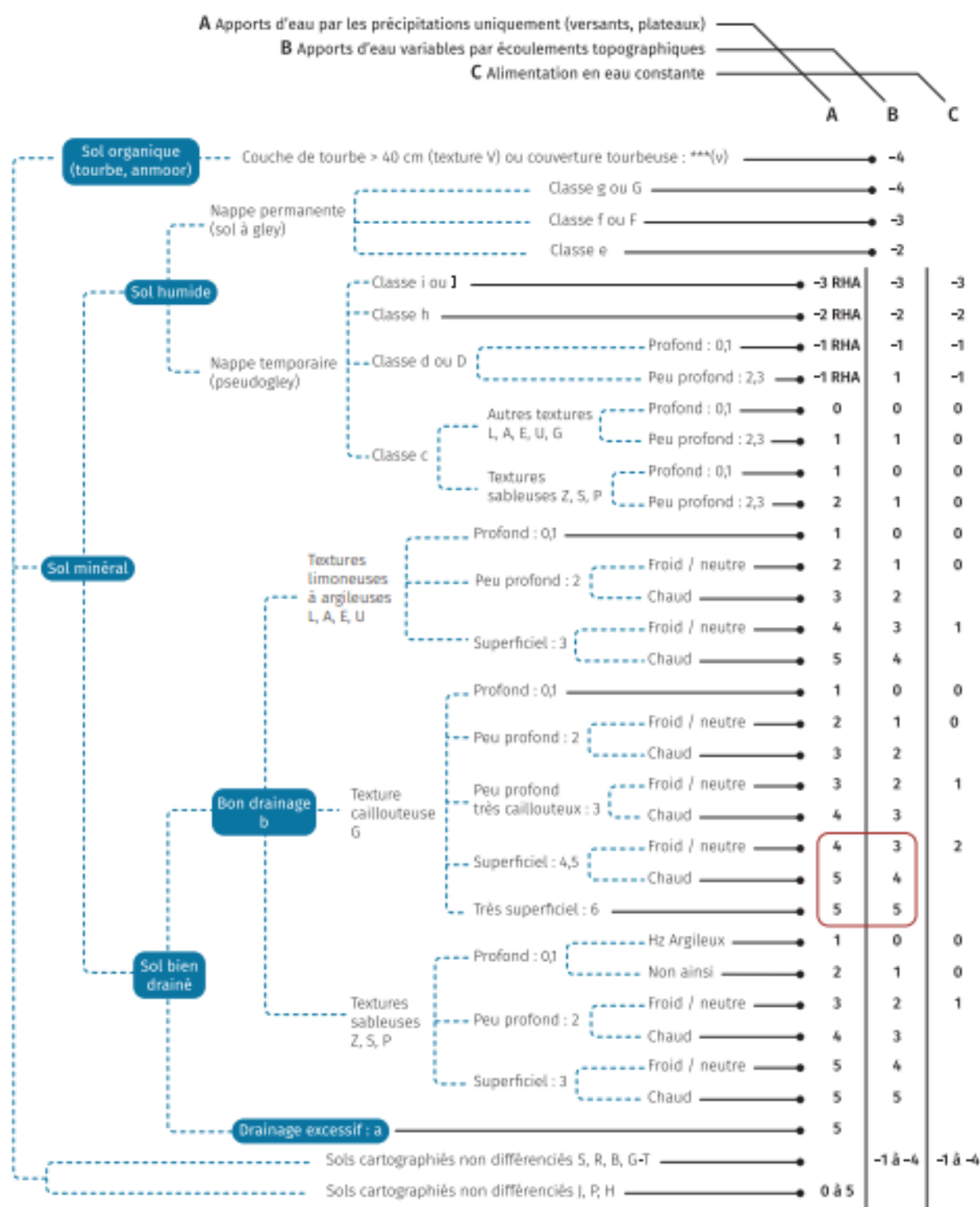


Figure 17 : Clé de détermination des niveaux hydriques possibles d'une station (Petit et al., 2017)

2.5. Niveau trophique

Pour la disponibilité d'une station en éléments minéraux assimilables, le fichier écologique propose un indicateur nommé le niveau trophique (Wampach et al., 2017). La clé de détermination du niveau trophique (Figure 19) proposée par le fichier écologique des essences se base sur 5 paramètres : la nature de la charge caillouteuse, la nature de la roche mère, le développement de profil, le pH et la présence de calcaire actif dans la terre fine (Wampach et al., 2017).

Toutes les essences ne nécessitent pas la même richesse chimique du sol pour être à leur optimum de productivité. Il est donc nécessaire de pouvoir identifier ce niveau trophique afin de maximiser l'adéquation essence-station lors d'un choix d'itinéraire sylvicole.

Il s'exprime sur une échelle allant de -3 à 2 avec un intervalle d'une unité (Figure 18). Le niveau 0 signifie que la réserve nutritionnelle disponible du sol est équilibrée. En se dirigeant vers le niveau -3, la teneur en éléments minéraux assimilables diminue et les sols sont de plus en plus acides. Ensuite, le niveau 1 correspond à des sols plus riches avec un contexte calcaire. Finalement, le niveau 2 est attribué à des sols carbonatés. Cela signifie qu'il y a présence de calcaire actif qui peut causer un déséquilibre voire une intoxication pour les essences calcarifuges, non tolérantes au calcaire (*Fichier Ecologique Des Essences – Niveaux Trophiques (NT)*, 2017).

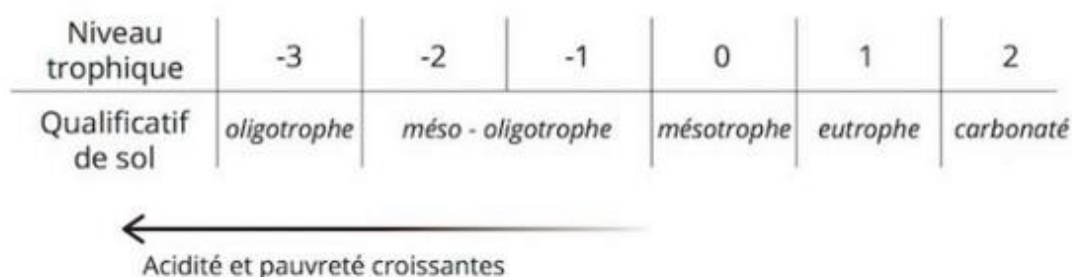


Figure 18 : Echelle des niveaux trophiques possibles d'un sol (Petit et al., 2017)

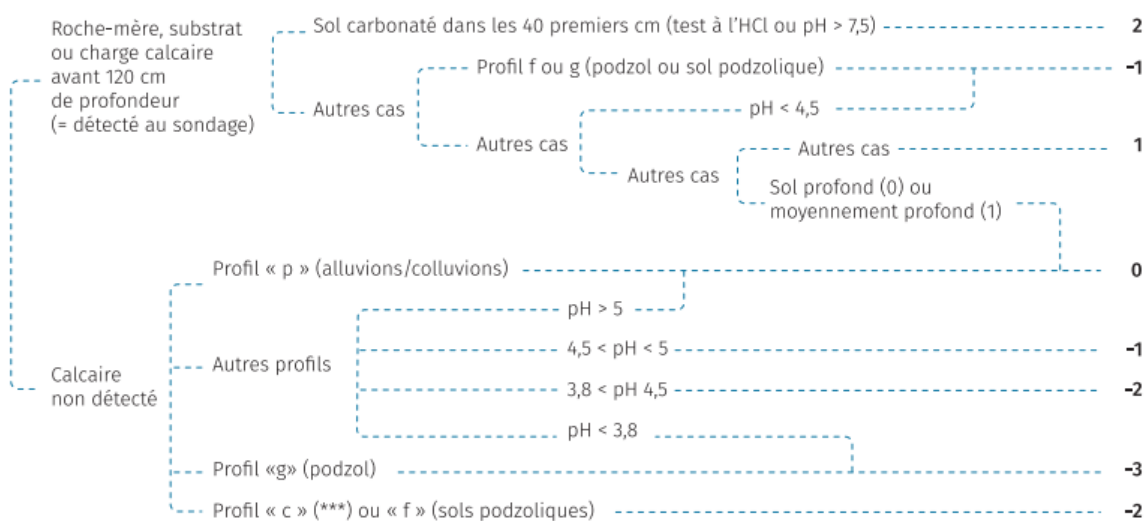


Figure 19 : clé dichotomique de détermination du niveau trophique d'une station

2.6. Adéquations édaphiques des essences

Les besoins hydriques et trophiques des essences sélectionnées ne s'expriment pas tous sous la même forme dans la littérature. En effet, certaines essences sont plus documentées que d'autres et présentent un écogramme d'aptitude avec leur zone d'optimum de croissance et leur zone de tolérance. D'autres, moins documentées, ne possèdent pas d'écogramme et nécessitent de récolter les informations dans plusieurs études. Les informations de chaque essence n'ont donc pas le même niveau de précision concernant leur niveau d'optimum et de tolérance. C'est pourquoi les figures 21 et 22 reprennent la zone d'optimum et de tolérance des essences derrière une seule gamme de niveaux hydrique et trophique considérée comme celle nécessaire à l'optimum de croissance. Les termes optimum et tolérance servent à définir le comportement de l'essence sur une station, qui est fonction des contraintes rencontrées (Figure 20).

Concernant le niveau trophique, on constate que la plupart des essences sélectionnées pour le projet tolère une large gamme de richesse chimique du sol (Figure 21). Le cèdre de l'Atlas, le pin laricio de Corse, le sapin de Nordmann et le chêne sessile sont indifférents à la richesse chimique du sol. Par contre, le pin de Macédoine et le cèdre de l'Himalaya se comportent mieux sur sol acide et le sapin de Cilicie sur sol riche en nutriments.

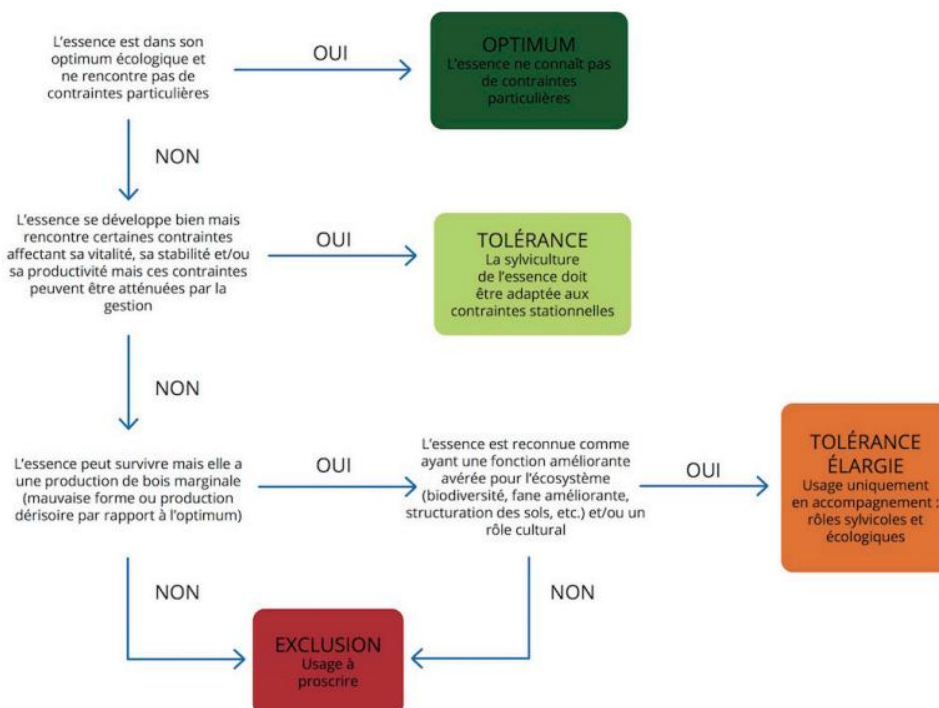


Figure 20 : arbre à choix qui permet de classer une essence comme étant en optimum, en tolérance, en tolérance élargie ou en exclusion sur une station (dans une optique de production de bois de qualité)

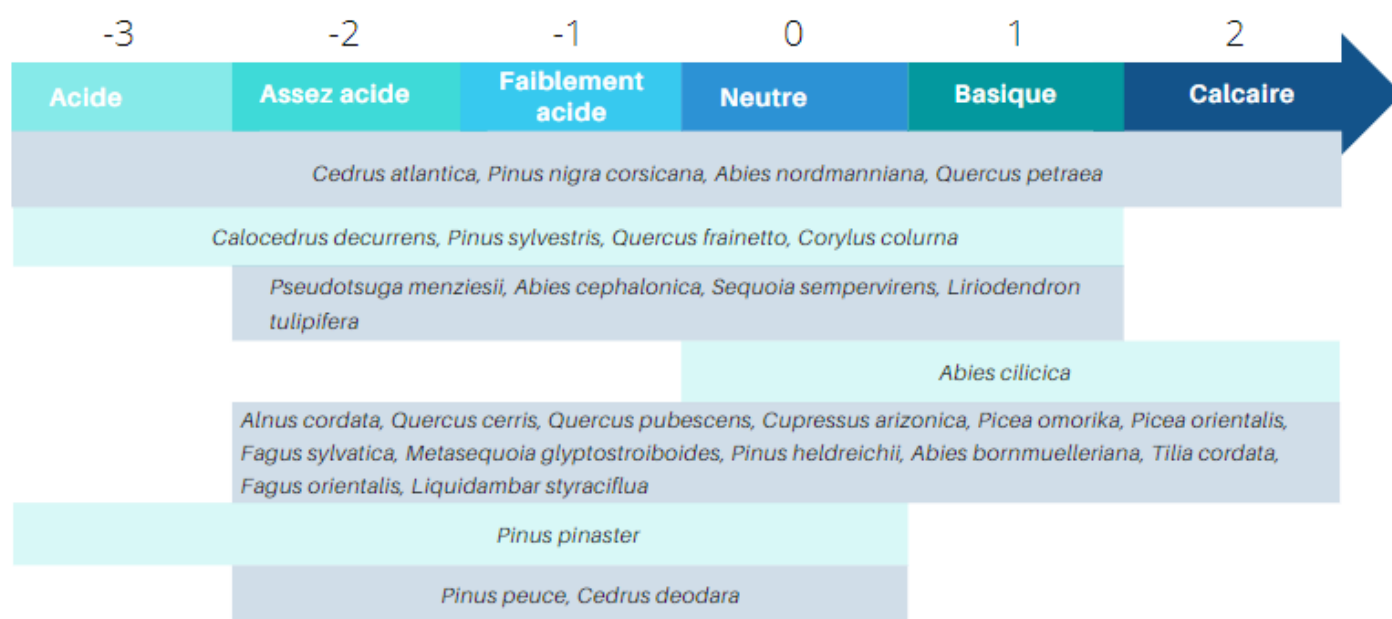


Figure 21 : Gamme de niveaux trophiques des essences pour être en optimum ou en tolérance sur une station³. Les chiffres représentent le niveau trophique

³ (Graines et plants forestiers : conseils d'utilisation des ressources génétiques forestières, 2021), (Fiches espèces / ClimEssences, s. d.), (Trees For Future / Essences d'avenir, 2021), (Aussenac, 2002), (ONF Grand Est, 2020), (Petit et al., 2017), (Šeho et al., 2019), (Kandemir et al, 2009), (Centre régional de la propriété forestière de Bretagne, 2010), (Burns et al., 1990), (Metasequoia glyptostroboides, s. d.), (Mauri et al., 2016)

Concernant le niveau hydrique, la répartition est plus disparate. La Figure 22 montre qu'aucune essence ne se comporte bien sur un sol xérique ou marécageux. Cependant, il est à noter que le cèdre de l'Atlas peut être en optimum sur une station avec un niveau hydrique de 5 s'il se trouve dans les conditions nécessaires à un enracinement profond (Petit et al., 2017). Aussi, plusieurs espèces peuvent tolérer un engorgement temporaire sur un sol à régime hydrique alternatif. Et les essences avec la plus large amplitude sont le chêne pubescent, le chêne sessile, le tilleul à petites feuilles, le pin maritime et le pin sylvestre. Il est à noter que plusieurs essences n'apparaissent pas dans la figure 21 et/ou dans la figure 22. C'est le cas de *Corylus colurna*, de *Fagus orientalis* et de *Liquidambar styraciflua*. Ces essences ne sont pas présentes dans le fichier écologique des essences ni dans ClimEssence et des informations plus précises sur leurs besoins hydriques ne semblent pas apparaître dans la littérature.

Finalement, un autre paramètre important lors du choix d'une plantation est la sensibilité de l'essence aux sols compactés. Et comme le montre le tableau 5, un quart des essences y est sensible et un quart ne montre pas de renseignements sur le sujet.

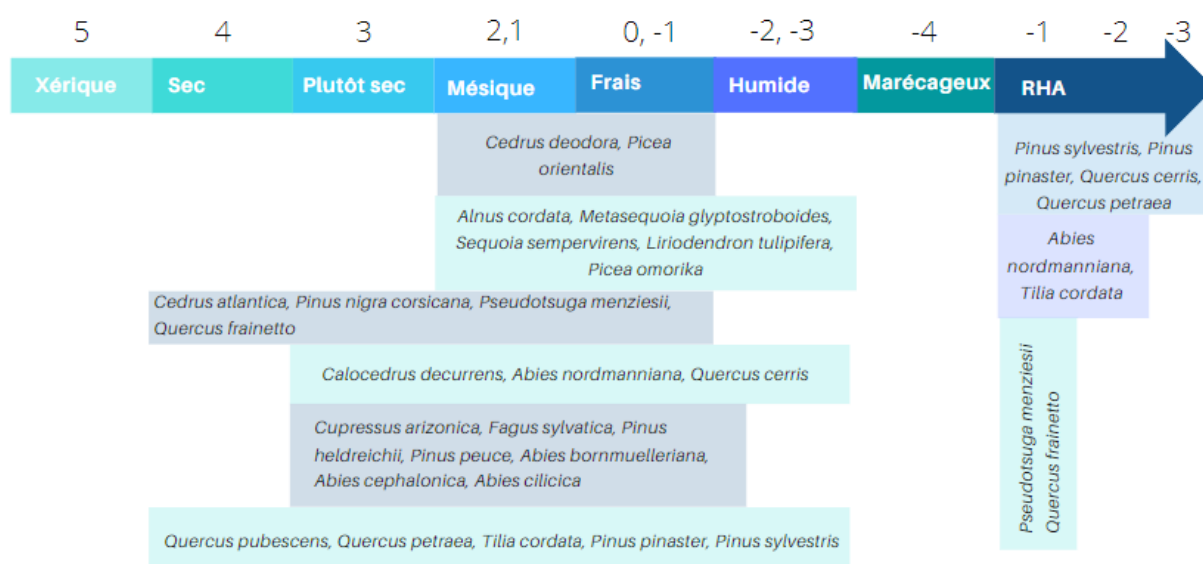


Figure 22 : Gamme de niveaux hydriques des essences pour être en optimum ou en tolérance sur une station⁴. Le chiffre représente le niveau hydrique

Tableau 5 : classement des essences en fonction de leur sensibilités ou non aux sols compacts

Sensible	Non/peu sensible	Non renseigné
<i>Abies nordmanniana</i>	<i>Abies cephalonica</i>	<i>Fagus orientalis</i>
<i>Cedrus atlantica</i>	<i>Calocedrus decurrens</i>	<i>Picea omorika</i>
<i>Pinus nigra corsicana</i>	<i>Cedrus deodara</i>	<i>Abies bornmuelleriana</i>
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	<i>Pinus pinaster</i>	<i>Abies cilicica</i>
<i>Fagus sylvatica</i>	<i>Alnus cordata</i>	<i>Picea orientalis</i>
<i>Corylus colurna</i>	<i>Metasequoia glyptostroboides</i>	<i>Pinus heldreichii</i>
<i>Liriodendron tulipifera</i>	<i>Quercus petraea</i>	<i>Pinus peuce</i>
	<i>Pinus sylvestris</i>	<i>Sequoia sempervirens</i>
	<i>Quercus cerris</i>	
	<i>Tilia cordata</i>	
	<i>Cupressus arizonica</i>	
	<i>Quercus pubescens</i>	
	<i>Quercus frainetto</i>	

⁴ (Graines et plants forestiers : conseils d'utilisation des ressources génétiques forestières, 2021), (Fiches espèces | ClimEssences, s. d.), (Trees For Future | Essences d'avenir, 2021), (Aussenac, 2002), (ONF Grand Est, 2020), (Petit et al., 2017), (Šeho et al., 2019), (Kandemir et al, 2009), (Centre régional de la propriété forestière de Bretagne, 2010), (Burns et al., 1990), (*Metasequoia glyptostroboides*, s. d.), (Mauri et al., 2016)

3. Matériel et méthode

3.1. Dispositifs *Trees for future*

3.1.1. Localisation des parcelles

Pour mettre en place le projet, un appel a été fait auprès des propriétaires forestiers membres de l'Asbl. La SRFB recherchait des terrains pouvant accueillir des nouvelles plantations. Les parcelles proposées par les propriétaires ont alors été expertisées et choisies selon plusieurs critères pour convenir au projet : 20 ares minimum disponibles, parcelles sans régime hydrique alternatif (en priorité), parcelles pas en forte pente (en priorité). Les parcelles sont réparties à travers la Belgique afin de tester les essences dans différentes conditions édaphiques, topographiques et climatiques. En 2021-2022, le nombre d'arboreta est de 41 appartenant à 29 propriétaires différents. Dans le cadre de la collaboration avec le projet ESPERANCE, deux parcelles se trouvant en France sont communes aux 2 projets. Il s'agit du « Bois de l'Or » et du « Château Regnault » identifiées en vert dans la figure 23. L'analyse de ces deux parcelles a été réalisée par l'étudiante de l'ONF, J. Vieille, en charge des sondages pédologiques.

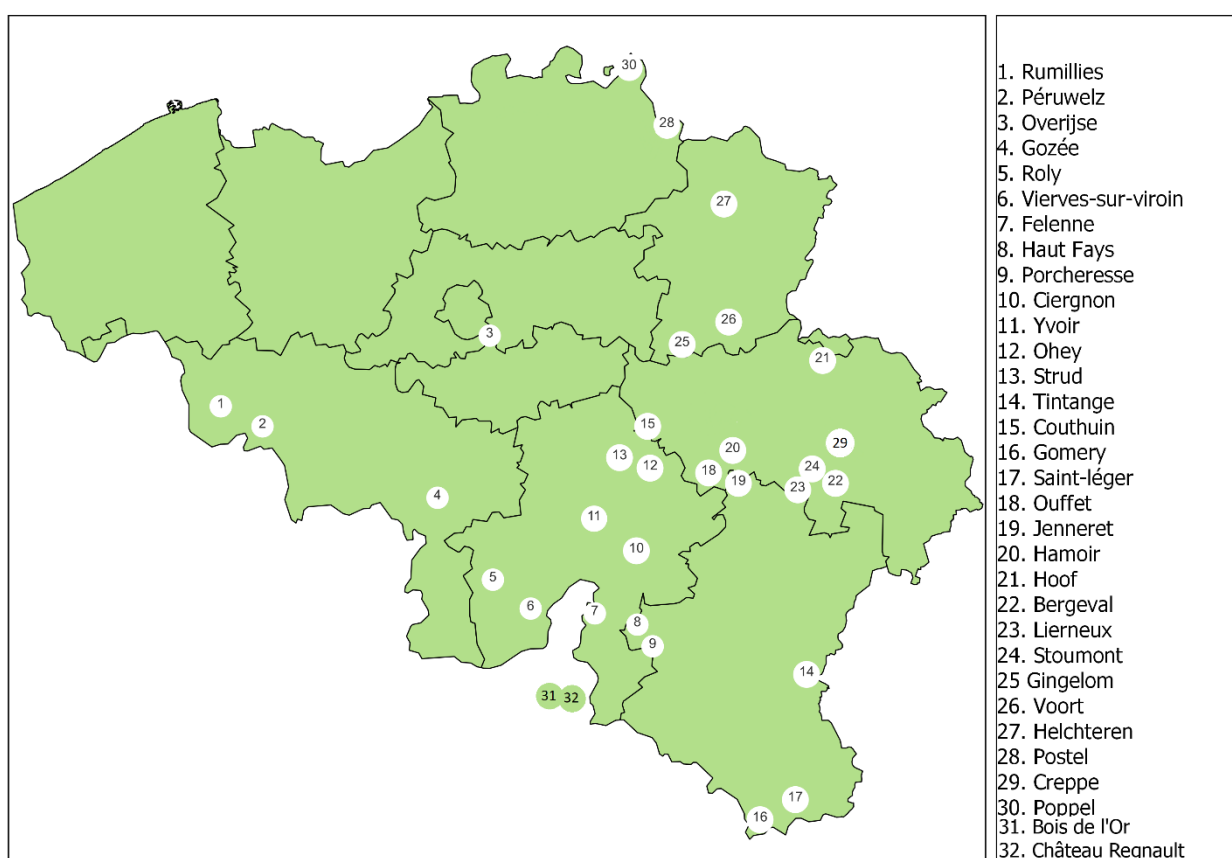


Figure 23 : Carte des communes dans lesquelles se trouvent des parcelles du projet

3.1.2. Le contrat

Un contrat est signé entre la SRFB et le propriétaire des parcelles faisant parties du projet. Le contrat (Annexe 2) porte d'abord sur l'aspect financier : la SRFB paye et fournit les plants au propriétaire qui, lui, se charge du coût de tous les travaux de préparation et des futurs travaux de la parcelle (protection de gibier, dégagement, éclaircies,...). Le choix d'installer des protections contre le gibier revient donc aux propriétaires même si ce choix doit se faire dans l'intérêt de la bonne gestion de la parcelle.. La SRFB s'engage à faire des suivis réguliers sur la parcelle et à fournir les résultats de suivis au propriétaire. Le propriétaire, lui, s'engage à travers ce contrat à dégager la parcelle chaque année pour permettre le suivi annuel des plants. Avec ce contrat, le propriétaire et la SRFB signent une collaboration où la SRFB a un droit de regard et se porte conseillère dans les futurs choix de la parcelle.

3.1.3. Plantation

Pour le choix des essences à planter, un sondage à la tarière est réalisé sur le terrain pour proposer plusieurs choix d'essences potentiellement adaptées à son terrain. Le choix des essences et des dispositifs résulte donc d'une discussion entre la SRFB et le propriétaire.

La mise en place des dispositifs se fait par « unité génétique » aussi appelée UG qui représente une provenance d'une essence. Chaque UG du projet porte un code qui la différencie des autres. Par exemple :

DavPorCatVen			
Propriétaire	Commune	Essence	Provenance
Daverdisse	Porcheresse	<i>Cedrus atlantica</i>	Mont Ventoux

Ce code permet de savoir facilement de quelle essence et provenance il s'agit mais aussi sur quel site elle se situe. Dans le projet, un site ou une parcelle est un terrain qui est composé de plusieurs UG dont le nombre dépend de l'espace disponible. Planter plusieurs UG dans une parcelle homogène permet alors de pouvoir comparer plusieurs essences/provenances croissant dans les mêmes conditions.

Pour une UG, il y a deux types de dispositifs possibles: la plantation « en plein » et la plantation en cellule avec des îlots appelés *klumps*. Lors de la plantation en plein, chaque UG est composée de 400 arbres qui sont plantés à un écartement de 2x2,5m sur un total de 0,20 ha (Figure 24). Au centre de l'UG est matérialisée une placette permanente dans laquelle se trouvent les 50 arbres sur lesquels seront récoltés des données chaque année. Le fait de placer la placette permanente au centre du dispositif permet d'éviter les effets de lisière. Lors de la plantation en *klump*, les îlots sont composés de 25 arbres à écartement de 1x1m et la placette permanente au centre compte 9 arbres. Dans ce dispositif, au moins 5 *klumps* doivent être plantés pour former une UG qui sera suivie chaque année (Figure 25). La finalité des *klumps* est d'obtenir un arbre de qualité par *klump*. Il faut donc veiller à les mettre à des

distances suffisantes (10-12m entre les centres). L'intérêt des *klump* est de pratiquer une gestion sylvicole différente et permet aussi de faire des plantations sous couvert forestier. Il est intéressant d'avoir deux dispositifs à proposer pour s'adapter aux choix de gestion sylvicole du propriétaire.



Figure 24 : exemple d'un dispositif en plein réalisée sur Oxygis ©Raphaèle Van der Perre

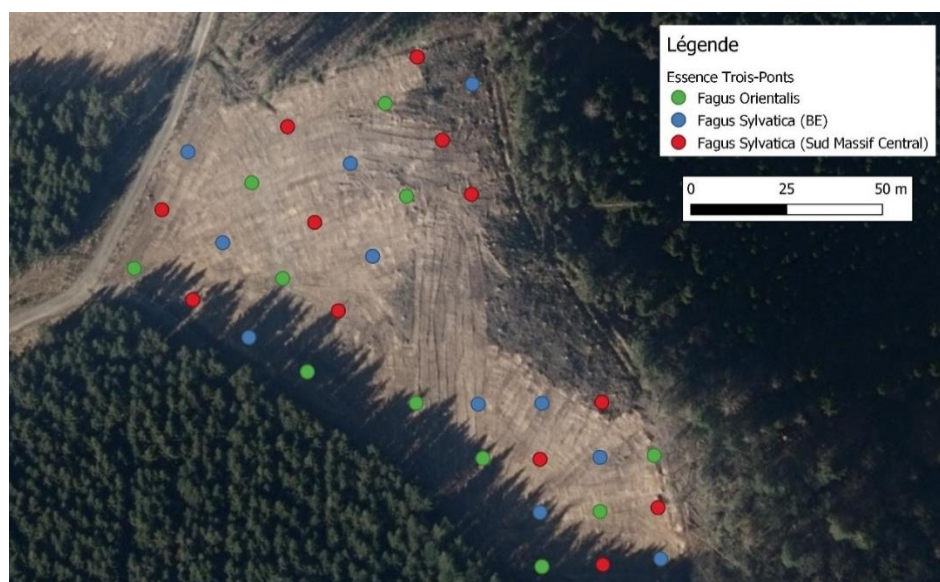


Figure 25 : exemple d'un dispositif en îlots nommés « klumps » © Raphaèle Van der Perre

3.1.4. Les suivis annuels

Comme *Trees for future* est un projet expérimental avant tout, des suivis sont réalisés chaque année au sein des placettes permanentes grâce à un réseau de bénévoles formés.

Tout d'abord, le taux de reprise et un état sanitaire se fait sur 10 rameaux pris au hasard dans l'UG au printemps de l'année de plantation (Annexe 3). Ensuite, la mesure de la hauteur (en cm) et du diamètre au collet (en mm) ainsi que l'état sanitaire sont réalisés chaque année en automne dans la placette permanente (Annexe 4). L'intérêt de la placette permanente est de suivre chaque année les mêmes individus et de suivre leur évolution. Pour ce faire, chaque individu doit être identifié chaque année sous le même numéro. La placette permanente est matérialisée grâce un piquet sur lequel est fixée une plaque avec le code de l'UG et avec des bambous aux 3 autres coins de la placette. La figure 26 illustre la méthode suivante : l'individu numéro 1 d'une UG se trouve après le poteau portant la plaque de l'UG, le suivi se fait ensuite en continuant en ligne droite (sur 3 individus pour un klump, sur 7 individus pour une plantation en plein) jusqu'à arriver à un bambou, après le suivi se fait sur la ligne de droite dans le sens inverse et ainsi de suite jusqu'à faire 3 lignes pour un klump et 7 lignes pour un dispositif en plein. Cependant, la réalité de terrain fait qu'il n'est pas toujours facile de donner le même numéro à un individu chaque année. Actuellement, la SRFB a donc commencé à matérialiser tous les plants des placettes avec des bracelets bleus numérotés (de 1 à 5000) en suivant le même schéma de suivi ligne par ligne. *In fine*, chaque individu sera donc encodé sous un matricule qui lui est unique.

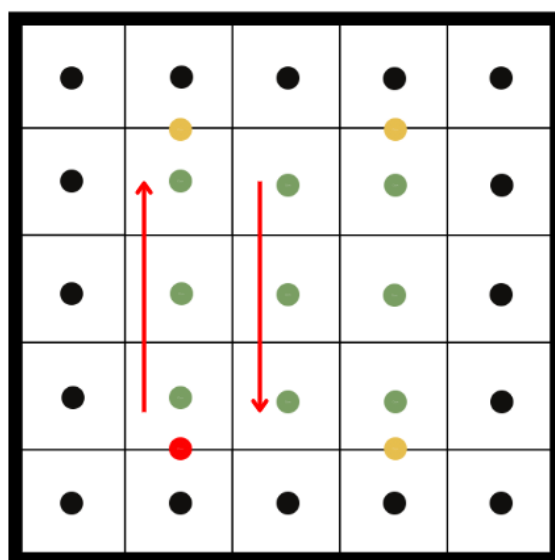


Figure 26 : Schéma d'un klump composé de 25 plants (point au centre des carrés). Les points verts représentent les plants de la placette permanente, le point rouge représente le piquet avec le code UG, les points oranges représentent les bambous de fin de ligne, et les flèches représentent le sens de suivi.

3.1.5. Répartition des essences au sein des arboreta

Le tableau 6 reprend l'ensemble des dispositifs plantés. Le chiffre présent dans les cases correspond au nombre de provenances différentes d'une essence plantées au sein d'un site. En tout, ce sont donc 172 placettes qui ont été mises en place. Les analyses seront présentées dans ce tableau pour avoir une vue d'ensemble sur le projet.

Tableau 6 : Tableau récapitulatif de l'ensemble des essences plantées dans chaque site. Les chiffres indiquent le nombre de provenances plantées par essence.

	<i>Abies bornmuelleriana</i>	<i>Abies nordmanniana</i>	<i>Calocedrus decurrens</i>	<i>Cedrus atlantica</i>	<i>Cedrus deodara</i>	<i>Corylus colurna</i>	<i>Fagus orientalis</i>	<i>Fagus sylvatica</i>	<i>Liquidambar styraciflua</i>	<i>Liriodendron tulipifera</i>	<i>Metasequoia glyptostroboides</i>	<i>Pinus heldreichii</i>	<i>Pinus nigra</i>	<i>Pinus pinaster</i>	<i>Pinus sylvestris</i>	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	<i>Quercus cerris</i>	<i>Quercus frainetto</i>	<i>Quercus petraea</i>	<i>Quercus pubescens</i>	<i>Sequoia sempervirens</i>	<i>Tilia cordata</i>
Bergeval							1	2														
Bois de l'Or			1																	2		
Château Regnault		1		1																		
Ciergnon1							1	2														
Ciergnon2												1					1	1	1			
Ciergnon3																			2			
Couthuin													3		2							
Creppe								2										2	2	1		
Felenne			1				1	1	1										1			
Gingelom							1	2										1				
Gomery																	1	2	2	2		
Gozée																						1
Hamoir	1	2		3									3				1		1	3		
Haut-Fays															1		1		1	2		1
Helchteren														2								
Hoof								2														
Jenneret1																					1	
Jenneret2												1	1									
Jenneret4																				2		
Lierneux1		2		3												1						
Lierneux2	1																1					1
Ohey1																			1	2		
Ohey2									1	1												
Ouffet												1						1	1	2	1	
Overijse																						2
Péruwelz																						2
Poppel				3										1								
Porcheresse				3											1							
Postel1				3																		
Postel2													3	1	2		1		1	3		
Roly				3																		
Rumillies																	1		1	2		
Saint-léger																		2	2	2		
Stoumont				3											2							
Strud			2																			
Tintange	1	2		2									3				1		1			
Vierves-sur-viroin			2	3												2			1	2	1	
Voort					1	1		1			1											
Yvoir 1																2						
Yvoir 2						1		2									1					

3.2. Adéquation climatique

Avant d'analyser l'aptitude stationnelle des essences, il est intéressant d'analyser l'adéquation de l'essence à plus grande échelle : l'échelle climatique. La Belgique est partagée entre deux climats : le climat océanique dans la majeure partie du pays et le climat continental humide dans la partie sud-ouest du pays. La moyenne de température du pays est de 10,2°C et la moyenne des précipitations est de 910 mm/an (Atlas climatique, 2021). Depuis 2015, le fichier écologique a développé et mis à disposition une carte définissant 10 zones bioclimatiques en Wallonie. Ces zones donnent des valeurs moyennes de précipitations et de températures plus précises pour chaque zone (Tableau 7).

Les parcelles du projets sont réparties à travers la Belgique et sont réparties aussi au sein de différentes zones bioclimatiques wallonnes (Figure 27). Afin de savoir si les essences du projet sont adaptées au climat, les données climatiques belges ont été comparées avec les données climatiques présentes dans l'aire de répartition naturelle de chaque essence. Les données climatiques qui ont été analysées sont la moyenne des précipitations annuelles, la température moyenne et les *extrema* de températures (maximale et minimale). De manière générale, le gradient de température en Belgique est décroissant en partant de la Mer du Nord vers la pointe sud du pays. Et inversement, les précipitations sont croissantes.

Tableau 7 : Moyenne des principaux indicateurs climatiques des zones bioclimatiques Wallonnes (Van der Perre et al., 2015)

Zone bioclimatique	Précipitations annuelles (mm)	Température moyenne annuelle (°C)	Température maximale absolue (°C)	Température minimale absolue (°C)
Plaines et Vallées Scaldisiennes	859	10,4	36,2	-14,5
Hesbigno-Brabançon	864	10,0	35,7	-16,5
Sambre-et-Meuse et Condroz	937	9,6	35,8	-17,8
Fagne, Famenne et Calestienne	976	9,5	36,2	-18,3
Thiérache	1145	9,2	35,9	-18,5
Basse et Moyenne Ardenne	1170	8,7	35,8	-18,9
Ardenne centro-orientale	1136	8,1	35,3	-19,8
Haute Ardenne	1219	7,7	34,9	-20,6
Haute Lorraine	1179	8,9	36,9	-17,4
Basse Lorraine	1119	9,3	37,5	-17

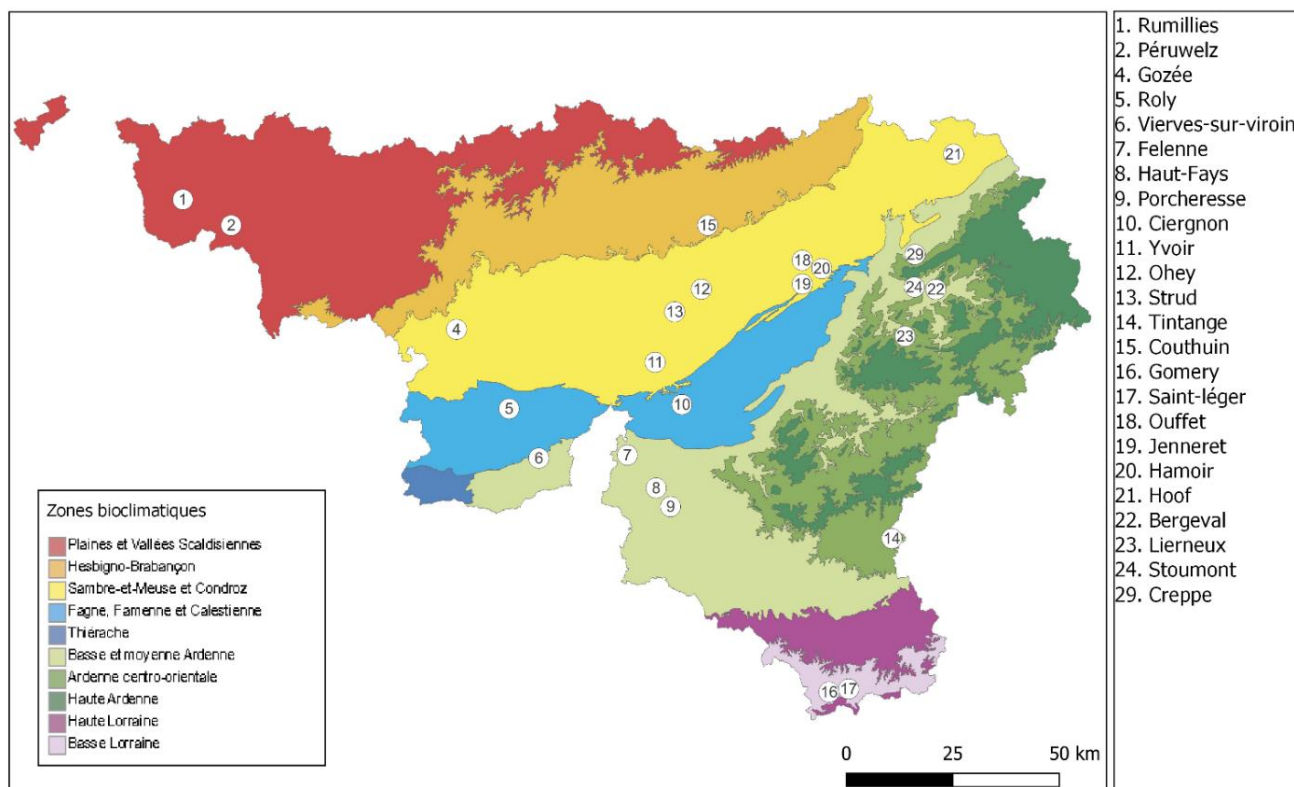


Figure 27 : Répartition des parcelles wallonnes étudiée sur la carte des zones bioclimatiques

3.3. [Elaboration du protocole de caractérisation de la station](#)

3.3.1. Objectifs

Dans le cadre de ce travail de fin d'étude, un protocole de terrain a été réalisé en tenant compte des différents besoins :

- ➔ Réaliser une fiche de terrain reprenant les données qui serviront, dans le cadre du présent travail de fin d'étude, à calculer la réserve utile, à identifier des contraintes à l'enracinement et à identifier les niveaux hydrique et trophique. Pour la réserve utile, les paramètres à récolter sur le terrain sont la texture, l'épaisseur des horizons, la charge caillouteuse et la profondeur de sondage. La contrainte à l'enracinement, la compacité du sol et la profondeur de l'horizon C ont été identifiés comme des facteurs contraignants pour l'enracinement. Finalement, le pH, la topographie, la profondeur de phase, la profondeur d'apparition du pseudogley ou du gley et la présence de calcaire sont des paramètres nécessaires pour l'identification du niveau hydrique et trophique.
- ➔ Compléter la fiche terrain avec des données supplémentaires qui seront encodées dans la base de données comme le type d'humus et la nature de la charge caillouteuse. Cette dernière permet d'avoir un sigle pédologique complet pour la base de données de la SRFB.
- ➔ Mettre en place une fiche de terrain accessible et un protocole répliquable pour autrui et qui servira pour des nouveaux terrains qui s'ajouteront au projet.

- ➔ Mettre en place un protocole où les résultats seront comparables avec le projet *FuturForEst*. En effet, dans le cadre d'un travail de fin d'étude, le département de l'ONF Grand Est a réalisé en parallèle des relevés pédologiques dans leurs îlots d'avenirs. Comme ces 2 projets sont en collaboration, nous avons cherché à avoir une partie de protocole avec des objectifs similaires.
- ➔ Mettre en place un protocole réalisable avec le temps, le matériel et les ressources humaines disponibles.

3.3.2. Protocole

Les données nécessaires ont été récoltées au sein de de micro-fosses ou de fosses si le propriétaire avait la possibilité d'en creuser une avec un engin motorisé. Une fosse pédologique est un trou creusé le plus profondément possible afin d'atteindre la roche altérée voire la roche mère. Une micro-fosse est un trou d'une dimension approximative de 50 cm de profondeur et de 40 cm de largeur et de longueur. Le but de la micro-fosse est d'obtenir un profil vertical de sol similaire à celui d'une fosse sur plusieurs dizaines de centimètres. Creuser des micro-fosses présente l'avantage d'être facilement réalisable à la main sur un temps restreint. Cependant, elles ne permettent pas d'identifier la profondeur de sol. C'est pourquoi un sondage tarière s'est fait au sein des micro-fosses.

Dans le cas d'un site avec une fosse, 2 micro-fosses ont été creusées à 3m de part et d'autre de cette dernière.

Dans le cas d'un site sans fosse, 3 micro-fosses alignées ont été réalisées à 3m les unes des autres.

Dans les deux situations, chaque fosse/micro-fosse a été caractérisée via la fiche de terrain (Annexe 5).

Pour chaque horizon identifié, un échantillon de sol est emporté en prélevant une partie dans chaque micro-fosse. Ces échantillons servent à mesurer le pH par la suite, à tester la présence de calcaire.

3.3.3. Fiche de terrain

La fiche de terrain développée dans le cadre de cette étude (Annexe 5) est basée sur plusieurs fiches déjà existantes tout en s'adaptant à la situation de terrain de l'étude pour répondre aux besoins identifiés en 3.3. La fiche de terrain est un mélange de la fiche de terrain du fichier écologique des essences (Petit et al., 2017), d'un dossier de terrain (Claessens et Maebe, 2020) et de la fiche de terrain, créée via la base de donnée GisSOL, utilisée dans l'étude du projet *FuturForEst*.

Tout d'abord, la première page décrit la situation globale de la parcelle avec la zone bioclimatique, la situation topographique, l'exposition et la classe d'apport eau, le tout illustré par des schémas (Petit et al., 2017).

Ensuite, cinq pages sont consacrées à la description d'un sondage pédologique. Ces cinq pages de description apparaissent trois fois à la suite dans la fiche de terrain car trois

sondages sont réalisés sur chaque parcelle. La majorité des descriptions se fait par horizon car la réserve utile se calcule par horizon (voir 3.4.). De plus, un maximum de schémas et de clés de détermination accompagnent les données à récolter sur le terrain afin de rendre la fiche facilement accessible et la tâche répétable par des personnes différentes. Les données récoltées dans la fiche de terrain sont le numéro du sondage, le type de sondage (fosse ou micro-fosse), le type d'humus qui peut être identifié avec une clé de détermination (Claessens et Maebe, 2020), le code de chaque horizon identifié lors du sondage, l'épaisseur de chaque horizon, le pourcentage en éléments grossiers dans chaque horizon, l'identification de la texture de chaque horizon via description de la plasticité, de l'adhésivité et de la friabilité, la compacité du sol, la profondeur de sondage et la cause de l'arrêt, la classe de drainage, la nature de la charge caillouteuse, le pH de chaque horizon (mesuré en laboratoire), l'effervescence (testée en laboratoire) pour identifier la présence de calcaire, le schéma du profil et le type de profil via le sigle pédologique.

Finalement, le reste de la fiche de terrain concerne l'identification des niveaux trophique et hydrique de la station. D'abord, ce sont les clés d'identification en fonction des paramètres du sol, présentées en point 2.2.4. et 2.5., qui suivent les feuilles de description pédologique. Après, ce sont les clés d'identification en fonction de la flore indicatrice qui suivent avec, en plus, une fiche de relevé de la flore indicatrice provenant du livre *Le guide d'interprétation de la flore indicatrice en forêt* (Claessens et al., 2020).

3.4. Estimation de la réserve utile et des contraintes à l'enracinement

Le calcul de la réserve utile se base sur 4 paramètres et se calcule par horizon. Les 3 premiers paramètres sont pris sur le terrain et présents dans le protocole :

-la texture **h** selon le triangle de Jamagne avec les textures belges (Figure 28)

-l'épaisseur de l'horizon **P** (cm)

-la teneur en éléments grossiers **Tc** (%)

Le dernier paramètre est un coefficient qui dépend de la texture. Il est nommé « la réserve en eau théorique $R(h)$ » et est exprimé en millimètre d'eau par centimètre de sol. Les valeurs de coefficient ont été approchées en comparant 2 études de la littérature. La première est une étude qui donne des valeurs de $R(h)$ pour les Massifs cristallins, comparable à la situation des Ardennes belges (Franc, cité dans Claessens, 2020). La deuxième étude porte sur des $R(h)$ pour des sols du Jura, en France, qui peuvent se comparer aux massifs calcaires belges (Lucot et al., 2014). Dans cette dernière, les coefficients sont différents entre l'horizon A et l'horizon B. En effet, la matière organique incorporée dans l'horizon A retient d'avantage l'eau.

Pour le calcul de la réserve utile, les coefficients de l'horizon A dans l'étude de Lucot et al. (2014) ont été utilisés, et pour l'horizon B, ce sont les coefficients de l'étude de Franc (Tableau 8). Les coefficients sont similaires dans ces deux contextes pourtant différents. Il est donc intéressant de garder les coefficients de Franc pour l'horizon B qui déterminent en

grande partie la valeur de réserve utile tout en ajoutant une précision via les coefficients du Jura pour l'horizon A qui capte mieux l'eau grâce à la matière organique.

Le calcul de la réserve utile se fait par horizon afin d'obtenir R.U (hz). Ensuite, une somme des réserves utiles par horizon est réalisée.

$$R.U(hz) = R(h).P.(1-Tc)$$

$$R.U(t) = \sum R.U(hz)$$

Avec R.U(hz) Réserve d'utile de
l'horizon hz

R.U(t) réserve utile totale

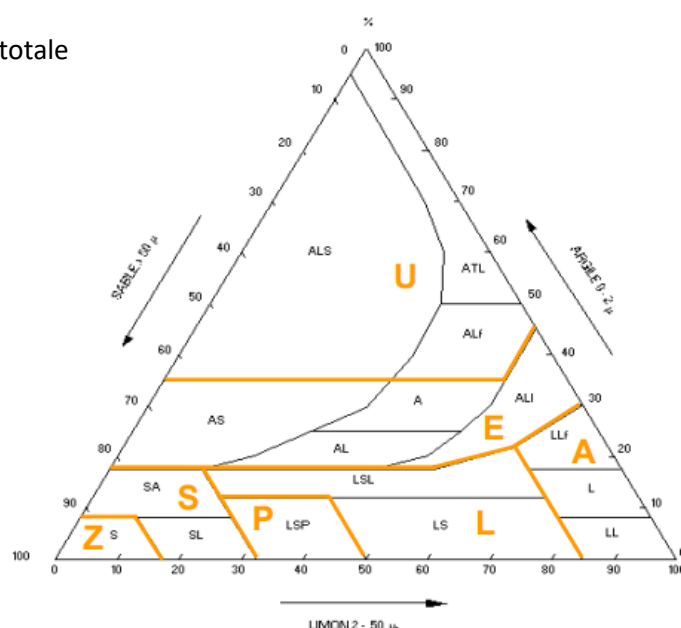


Figure 28 : Triangle de Jamagne des textures belges

Tableau 8 : Tableau récapitulatif des coefficients R(h) de l'horizon A (selon Lucot et al., 2014) et de l'horizon B selon Lucot et al. (2014) et selon Franc (cité dans Claessens 2020) associés aux textures belges .

Texture	R(h) horizon A en mm/cm	R(h) horizon B mm/cm	
		Selon Franc	Selon Lucot et al.
Argile lourde (U)	/	1,80	1,70
Argile légère (E)	2,10	1,80	1 ,85
Limon lourd (A lourd)	2,30	2,00	2,00
Limon léger (A léger)	/	1,80	1,50
Limon sableux (L)	1,65	1,50	1,45
Limon sableux léger (P)	1,10	1,00	1,00
Sable limoneux (S)	1,10	1,00	1,00
Sable (Z)	0,80	0,70	0,70

Les contraintes à l'enracinement qui ont été prises en compte dans le cadre de cette étude sont la compaction du sol, la présence de charge caillouteuse empêchant la prospection des racines en profondeur (dalle non fissurée ou couches horizontales de schiste) ainsi que l'engorgement du sol. La compaction du sol a été testée grâce au test du couteau. La compacité du sol s'exprime, dans cette étude, sur une échelle de 1 à 4 qui est fonction de la difficulté de pénétration du couteau dans l'horizon (Tableau 9).

Tableau 9 : Indices de compaction du sol et les observations de terrain qui leur sont associées

1	Meuble : le couteau pénètre sans effort, le matériau est non cohérent
2	Peu compact : le couteau pénètre avec un léger effort
3	Compact : le couteau pénètre incomplètement, même avec un effort important
4	Très compact : le couteau ne pénètre que quelques millimètres

La réserve utile est fortement liée à la profondeur de sol et, sans fosse, il est difficile de déterminer la profondeur d'apparition de l'horizon C ou D. De plus, les racines sont des organes puissants qui à l'âge adulte peuvent atteindre plusieurs mètres de profondeur lorsque les fissurations de la roche le permettent. Les valeurs de réserve utile ont été calculées jusqu'à l'horizon D lorsqu'il était identifiable. Et des valeurs de réserve utile extrapolées ont été calculées pour les sols ne présentant pas de contraintes notables à l'enracinement : sur les sols peu caillouteux où les 120 cm de sondage ont été atteints à la tarière, sur les sols non compacts, sur les sols caillouteux avec de gros éléments grossiers qui empêchaient facilement le sondage à la tarière en profondeur et sur les sols qui ne sont pas en régime hydrique alternatif. L'extrapolation s'est faite jusqu'à la tranche de 50 cm supérieure à la profondeur de sondage. Par exemple : le sondage à la tarière s'est fait jusqu'à 78 cm de profondeur et l'extrapolation s'est faite en rajoutant 22 cm pour arriver à 100 cm de profondeur. Pour ces centimètres d'extrapolation, la valeur de charge caillouteuse est 10% supérieure à la charge caillouteuse identifiée dans le dernier horizon. Cet ajout de 10% permet de limiter une extrapolation exagérée et se justifie aussi par une augmentation de la charge caillouteuse croissant avec la profondeur dans la majorité des sols.

3.5. Analyse de l'adéquation stationnelle des essences

L'analyse s'est d'abord faite sous forme de rédaction d'une fiche par station avec une description de la station, les essences plantées, un résumé des contraintes possibles à l'adéquation des essences et l'adéquation des essences plantées par rapport aux contraintes identifiées. Les contraintes possibles sont :

- La profondeur, car certaines essences développent un enracinement profond comme adaptation à la sécheresse.

- La valeur de la réserve utile, car plus elle est faible plus la contrainte augmente (Figure 29).
- La compaction, car certaines essences ne supportent pas les sols compacts et que la compaction peut être un frein à l'enracinement et empêcher l'eau de descendre en profondeur.
- Le niveau hydrique car chaque essence a un optimum différent concernant ses besoins en eau.
- Le niveau trophique car chaque essence a un optimum différent concernant ses besoins en nutriments.

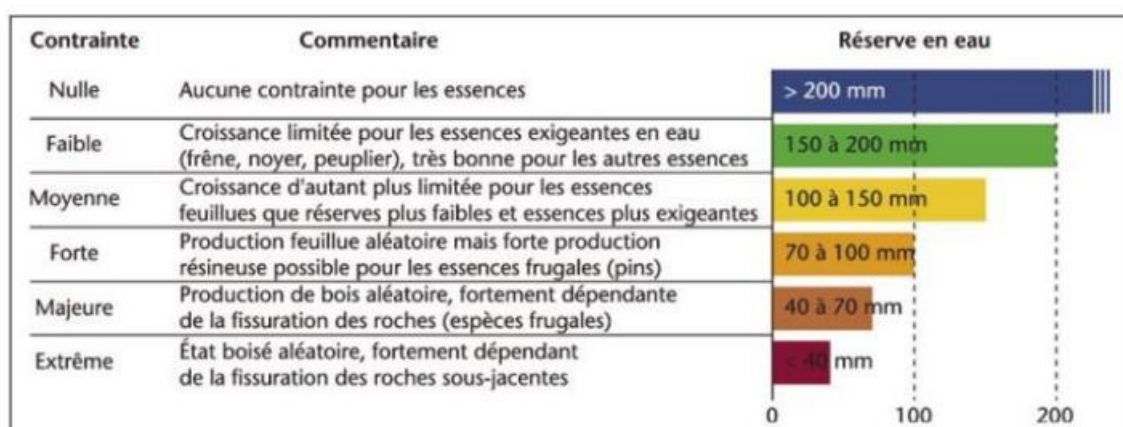


Figure 29 : Valeurs de réserve utile avec les contraintes et commentaires associés (Claessens, 2020).

Ensuite, l'analyse a été résumée sous forme d'un tableau avec un code couleur associés aux termes « Optimum », « Tolérance » et « A risque ». La méthode se base donc sur la clé dichotomique du fichier écologique des essences mais qui a été adaptée dans le cas de cette étude en précisant les contraintes rencontrées (Figure 30). Si une essence feuillue rencontre une faible réserve utile (entre 70 et 100 mm) comme contrainte, elle sera en tolérance car la faible réserve utile peut être contrée par une gestion forestière adaptée. En effet, l'acte d'éclaircissement influence la répartition de l'eau au sein d'un peuplement car cet acte permet de diminuer la surface foliaire évapotranspirante (Ridremont et al., 2012). Ensuite, une essence feuillue ou résineuse peut aussi être en tolérance si le sol est peu profond. Dans notre cas d'étude, nous n'avons pas eu de fosse dans chaque parcelle analysée. Cela signifie que nous ne connaissons pas précisément la profondeur d'apparition de la roche mère ni la fissuration des roches pour une majorité des stations. La profondeur de la prospection racinaire est un paramètre difficile à jauger et dont les observations peuvent être surprenantes. De plus, la profondeur peut être un paramètre contraignant pour certaines essences qui développent un système racinaire profond pour contrer la sécheresse et puiser l'eau en profondeur. Donc sur un sol peu profond, la sylviculture pourrait aussi être adaptée pour faire attention à la répartition de la réserve en eau pour ces essences qui vont habituellement en profondeur. Pour toutes ces raisons, la faible profondeur est considérée dans cette étude comme une contrainte qui induit une tolérance et non un risque. Finalement, une essence feuillue ou résineuse qui rencontre une réserve utile inférieure à 70

mm ou une contrainte concernant le niveau hydrique, le niveau trophique ou la compaction du sol sera considérée comme à risque sur cette station. Les gammes de niveaux trophiques et hydriques des essences au point 2.6. recouvrent déjà l'optimum et la tolérance. Donc une essence qui se trouve sur une station qui se situe en dehors de sa gamme sera considérée comme à risque. Et les essences classées dans le tableau 5 comme sensible à la compaction du sol ne tolèrent pas les sols compacts. Elles seront donc considérées comme à risque en cas de station avec un sol compact. L'arbre à choix ou clé dichotomique utilisé met donc en avant des paramètres qui influencent l'accès à l'eau, facteur limitant lors d'une période de sécheresse.

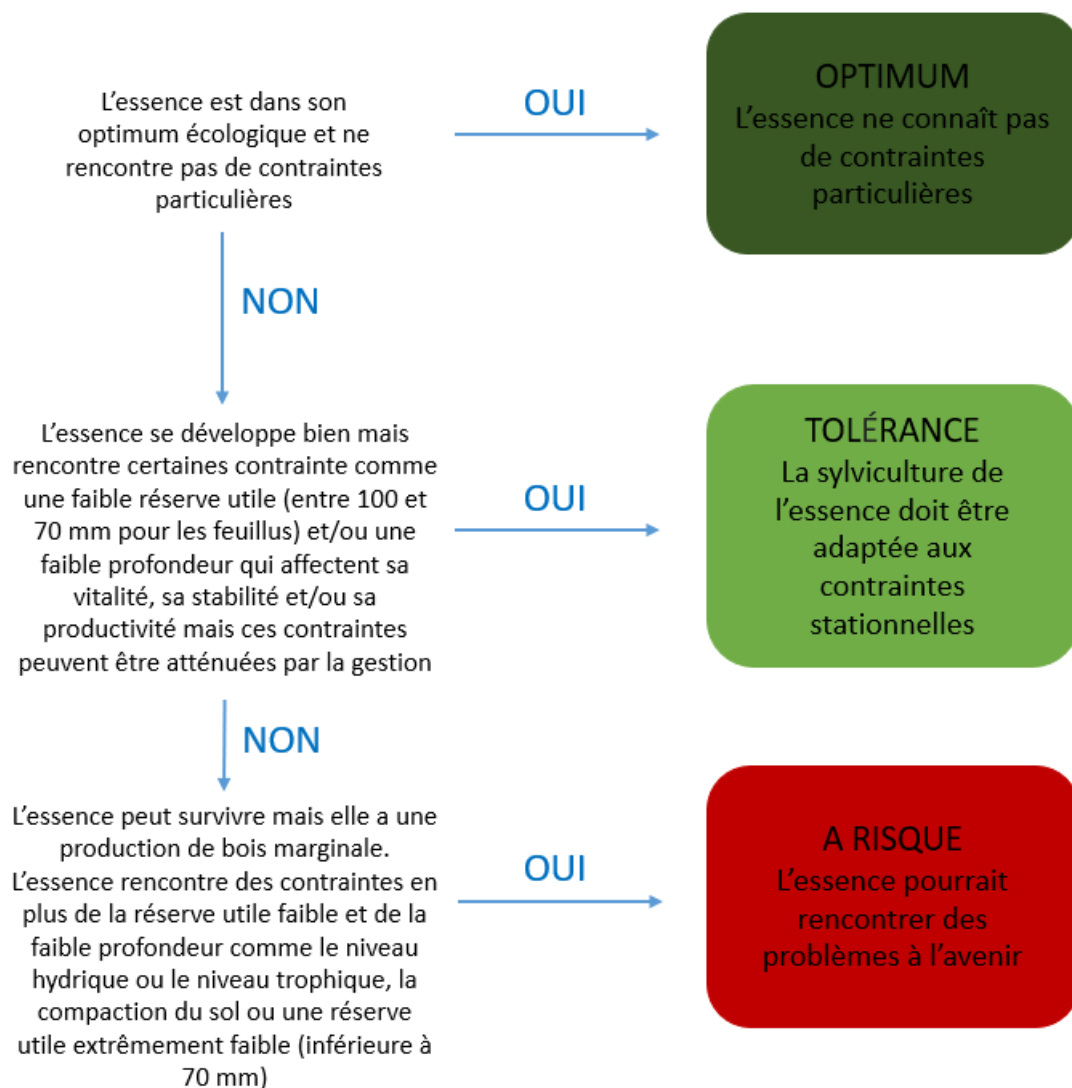


Figure 30 : Arbre à choix adapté aux paramètres étudiés dans l'étude et qui classe les essences en optimum, en tolérance ou en zone à risque.

3.6. Corrélation entre le niveau hydrique et la réserve utile

L'analyse de la corrélation entre le niveau hydrique et la réserve utile s'est faite sous forme d'un graphique en boîte à moustache sur le logiciel R. Le graphique a été réalisé avec les valeurs de réserve utile non extrapolées. Ce choix se justifie car l'extrapolation ne s'est pas faite sur toutes les stations et qu'elle est une prédiction sur une valeur plus grande mais précisément inconnue de réserve utile pour ces sols qui ne semblaient pas avoir de contraintes notables à l'enracinement.

4. Résultats

4.1. Adéquation climatique

Les graphiques en bâtonnets montrent les gammes de données climatiques rencontrées dans l'aire de répartition naturelle de chaque essence. La plupart des essences voient leur données climatiques coïncider avec celles de la Belgique mais les résultats montrent certains écarts. Il est à noter qu'aucune gamme de température n'a été identifiée pour *C. deodara* et *F. orientalis*.

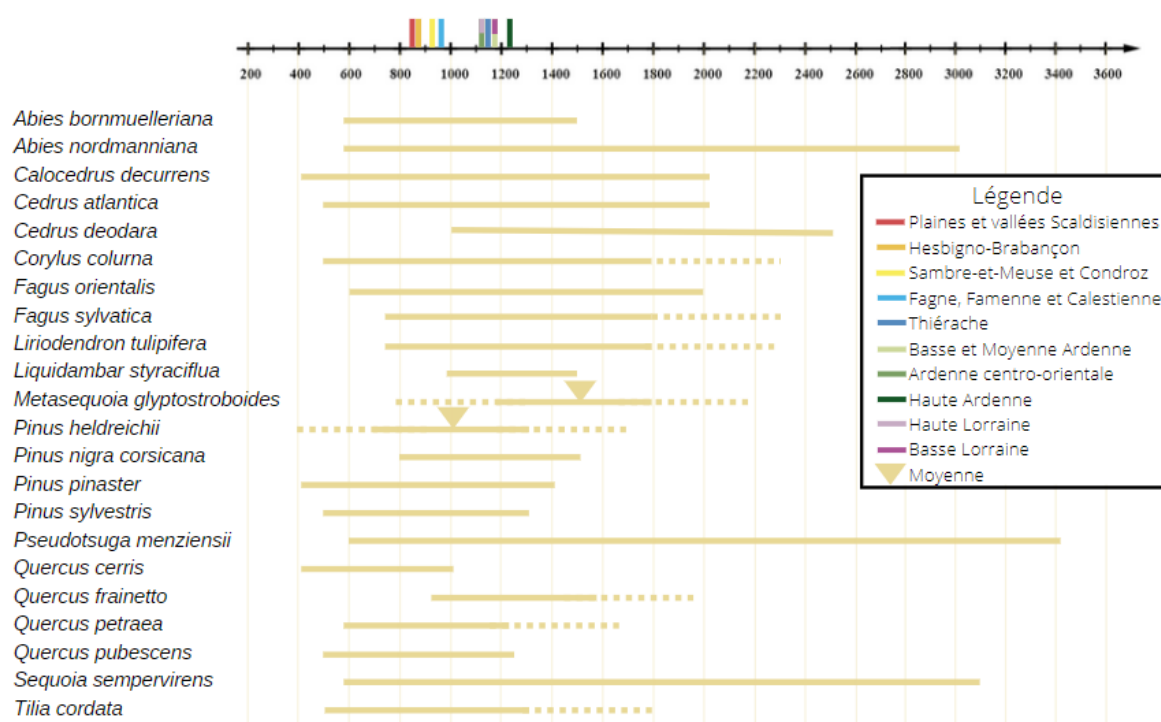


Figure 31 : Gammes de précipitations moyennes annuelles (mm/an) des essences déjà plantées (dans leur aire de répartition naturelle) et des zones bioclimatiques wallonnes.

Concernant les précipitations, certaines essences comme *C. deodara*, *L. styraciflua* se trouvent naturellement dans des zones avec plus de précipitations que dans les 4 zones bioclimatiques belges avec le moins de précipitations : les Plaines et Vallées Scaldisiennes, la zone Hesbigno-Brabançon, la zone Sambre-et-Meuse et Condroz et la zone Fagne, Famenne et Calestienne. C'est aussi le cas du *M. glyptostroboides* dont la moyenne de 1500 mm de précipitation se situe au-dessus des moyennes belges. Inversement, *Q. cerris* se trouve naturellement dans des zones avec moins de précipitations que dans les 5 zones avec le plus de précipitations en Belgique.

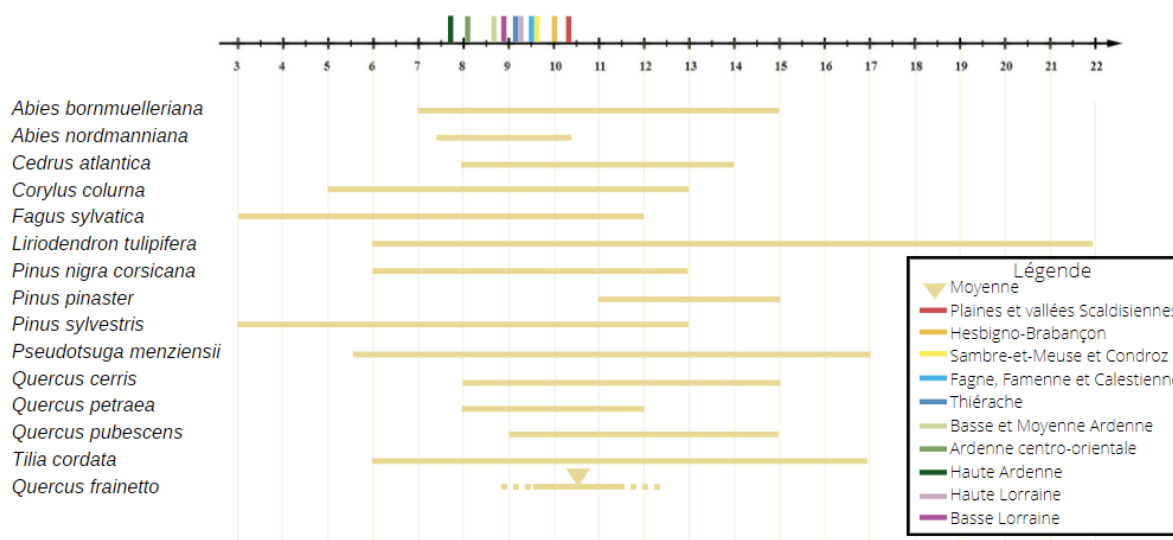


Figure 32 : Gammes de température moyenne des essences déjà plantées (dans leur aire de répartition naturelle) et des zones bioclimatiques wallonnes.

Concernant la température moyenne, les résultats montrent que *P. pinaster* pousse dans des zones avec une moyenne plus élevée qu'en Belgique. C'est aussi le cas de *Q. pubescens* dont la gamme de températures ne correspond pas à celles rencontrées dans les zones ardennaises.

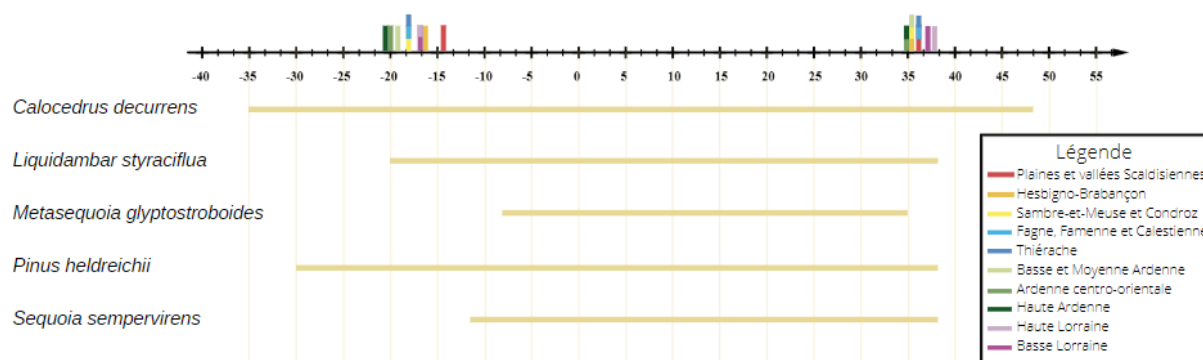


Figure 33 : Gammes des extrema de température des essences déjà plantées (dans leur aire de répartition naturelle) et des zones bioclimatiques wallonnes.

Concernant les *extrema* de température, c'est le *M. glyptostroiboides* et *S. sempervirens* qui se trouvent naturellement dans des régions avec des températures négatives largement moins faibles qu'en Belgique.

L'ensemble des résultats de cette comparaison entre les données climatiques des aires de répartitions et celles de la Belgique a donné lieu au tableau 10 reprenant l'ensemble des parcelles et les essences qui y sont plantées. Il ressort de ce tableau que les essences citées plus haut ont été plantées dans des zones bioclimatiques où le climat varie de leur aire de répartition naturelle. L'entièreté des sites de *P. pinaster*, *M. glyptostroiboides*, *C. deodara* et *S. sempervirens* se trouvent dans des conditions différentes de leurs aires de répartition.

Tableau 10 : Adéquation climatique des essences au sein du projet. Les cases vertes indiquent une adéquation climatique, les cases oranges indiquent un écart entre les conditions climatiques belges et celles de l'aire de répartition naturelle des essences. La lettre T indique s'il s'agit d'un écart au niveau des température, la lettre P indique s'il s'agit d'un écart au niveau des précipitations

	<i>Abies bornmuelleriana</i>	<i>Abies nordmanniana</i>	<i>Calocedrus decurrens</i>	<i>Cedrus atlantica</i>	<i>Cedrus deodara</i>	<i>Corylus colurna</i>	<i>Fagus orientalis</i>	<i>Fagus sylvatica</i>	<i>Liquidambar styraciflua</i>	<i>Liriodendron tulipifera</i>	<i>Metasequoia glyptostroboides</i>	<i>Pinus heldreichii</i>	<i>Pinus nigra</i>	<i>Pinus pinaster</i>	<i>Pinus sylvestris</i>	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	<i>Quercus cerris</i>	<i>Quercus frainetto</i>	<i>Quercus petraea</i>	<i>Quercus pubescens</i>	<i>Sequoia sempervirens</i>	<i>Tilia cordata</i>
Bergeval																						
Bois de l'Or																						
Château Regnault																						
Ciergnon1																						
Ciergnon2																						
Ciergnon3																						
Couthuin																						
Creppe																						
Felenne																						
Gingelom																						
Gomery																						
Gozée																						
Hamoir																						
Haut Fays																						
Helchteren																						
Hoof																						
Jenneret1																						
Jenneret2																						
Jenneret4																						
Lierneux1																						
Lierneux2																						
Ohey1																						
Ohey2																						
Ouffet																						
Overijse																						
Peruwelz																						
Poppel																						
Porcheresse																						
Postel1																						
Postel2																						
Roly																						
Rumillies																						
Saint-léger																						
Stoumont																						
Strud																						
Tintange																						
Vierves-sur-viroin																						
Voort																						
Yvoir 1																						
Yvoir 2																						

4.2. Adéquation des essences

Les résultats obtenus pour chaque site du projet ont été synthétisés sous forme de fiches (Figure 34). Chaque fiche décrit la station, contient une photo du profil, cite les essences plantées et explicite les contraintes et l'adéquation des essences par rapport à ces dernières. Par soucis de clarté, l'ensemble des fiches se trouvent en Annexe 3 et le résumé des paramètres pouvant être contraignants se trouve au sein du tableau 11. Les résultats montrent une partie des stations avec au moins un horizon compact et même deux *arboreta* avec un sol très compact : Ouffet et Strud. Aussi, certains arboreta se caractérisent par une valeur de réserve utile faible voire extrême comme dans les *arboreta* de Couthuin et de Ciergnon. Au niveau hydrique et trophique, les résultats montrent des stations diversifiées en allant de stations sèches à humides et de riches à pauvres en nutriments. Des sols à régime hydrique alternatif ont été observés dans les sites de Gomery, Helchteren, Rumillies, Strud, Voort et Yvoir 2. Aussi, des fosses ont été creusées mécaniquement dans plusieurs sites : Hamoir, Hoof, Gomery, Haut-Fays, Porcheresse, Château Regnault et Bois de l'Or. Cela explique pour ces sites la grande différence entre la profondeur de sondage minimum et maximum.

Arboretum	Creppe
Zone bioclimatique	Basse et moyenne Ardenne
Topographie	Pente est
Exposition	Froid
Apport d'eau	Par les précipitations uniquement
Type de sol	Gbb2
Réserve utile moyenne	Sondage : 70,1 mm
Niveau hydrique	2
Niveau trophique	-2

Humus	Dysmoder
Description du profil	Horizon A : de 3 à 5 cm d'épaisseur, texture limon lourd Horizon B : de 45 à 53 cm d'épaisseur, texture limon lourd
Charge caillouteuse	De 20 à 40% avec la profondeur croissante
Profondeur de sondage	Entre 50 et 65 cm
Cause de l'arrêt du sondage	Trop caillouteux
Compaction	Peu compact

Essences plantées	<i>Fagus sylvatica</i> <i>Quercus cerris</i> <i>Quercus frainetto</i> <i>Quercus pubescens</i>
-------------------	---

Résumé des contraintes :

Réserve utile entre 70 et 100 mm (contrainte forte), sol peu profond, sol acide pauvre en nutriment

Adéquation des essences :

Quercus pubescens : le sol peu profond peut empêcher le développement de son enracinement profond qui est un trait de résistance à la sécheresse.

Quercus pubescens, *Quercus frainetto*, *Quercus pubescens* et *Fagus sylvatica* : production feuillue aléatoire pour un sol avec une réserve utile entre 70 et 100 mm.



Figure 34 : Fiche d'adéquation essence-station de l'arboretum de Creppe

Tableau 11 : Tableau reprenant les paramètres de station de chaque site du projet

	Niveau hydrique	Niveau trophique	Réserve utile (mm) – Réserve utile extrapolée (mm)	Profondeur de sondage min- max (cm)	Compaction du sol
Bergeval	2	-2	79,7-119,3	60-70	2
Bois de l'Or	5	-1 ou -2	/	130	2
Château Regnault	5	-1 ou -2	/	135	2
Ciergnon 1	4	0	38,2	20-35	2
Ciergnon 2	4	0	41,7	25	2
Ciergnon 3	4	-2	41,1	35-50	2
Couthuin	4	-1	38,5-49,7	33-48	2
Creppe	2	-2	67,1	50-65	2
Fellenne	4	-1	29,4	15-30	3
Gingelom	1	-1	134,9	75-80	2 et 3
Gomery	-2 RHA	-1	148,7	65-90	3
Gozée	-1	0	153,2	65-105	3
Hamoir	1	-2	155,4	76-180	3
Haut-Fays	4	-2	74,8	25-110	2
Helchteren	-1 RHA	-3	98,2	90-100	2 et 3
Hoof	2	-2	86,4	55-80	2
Jenneret 1	-1	0	124-150,6	70-85	2
Jenneret 2	0	3	50,7	30-60	2
Jenneret 4	0	-1	118,2	60-83	3
Lierneux 1	2	-1	87,4	68-70	2
Lierneux 2	1	-2	116,2-143,9	64-120	2
Ohey 1	1	-1	66,3	40-60	3
Ohey 2	0	0	164,3	95	2 et 3
Ouffet	4	2	63,3	30-45	4
Overijse	1	0	145,3	65-120	3
Peruwelz	-1	2	183,3	120-145	2 et 3
Poppel	2	-3	76-92	90-120	1
Porcheresse	1	-2	114,2	65-85	3
Postel1	2	-1	113,7-134,3	120	1
Postel2	-2	0	98,4	88-115	1
Roly	0	-1	151	60-95	3
Rumillies	-2 RHA	0	156,9	68-110	3
Saint-léger	0	0	144,9	85-105	3
Stoumont	2	-1	63,8-81,8	40-60	2
Strud	-1 RHA	-1	99,8	55-84	4
Tintange	1	-1	81,9	56-58	3
Vierves-sur- viroin	2	-2	64,1	40-55	3
Voort	-2 RHA	0	158,7	60-135	2
Yvoir 1	-1	0	110,9	85-100	3
Yvoir 2	-1 RHA	0	215,7	120	2

Ensuite, le tableau 12 présente les résultats finaux d'adéquation des essences plantées. En tout, ce sont 40% des dispositifs mis en place dans lesquels les essences présentent des risques face à la sécheresse dans un contexte d'objectif de production de bois (Figure 35). Les essences qui présentent le plus de risque sont le cèdre de l'Atlas, le calocèdre, le pin de Bosnie et le pin laricio de Corse. Aussi, certains sites semblent plus contraignant que d'autres comme Fellenne et Strud. Les paramètres qui ont classé le plus souvent les essences dans la catégorie à risque sont le niveau hydrique avec 44% et la compaction des sols et la réserve utile faible avec 27% chacun (Figure 36).

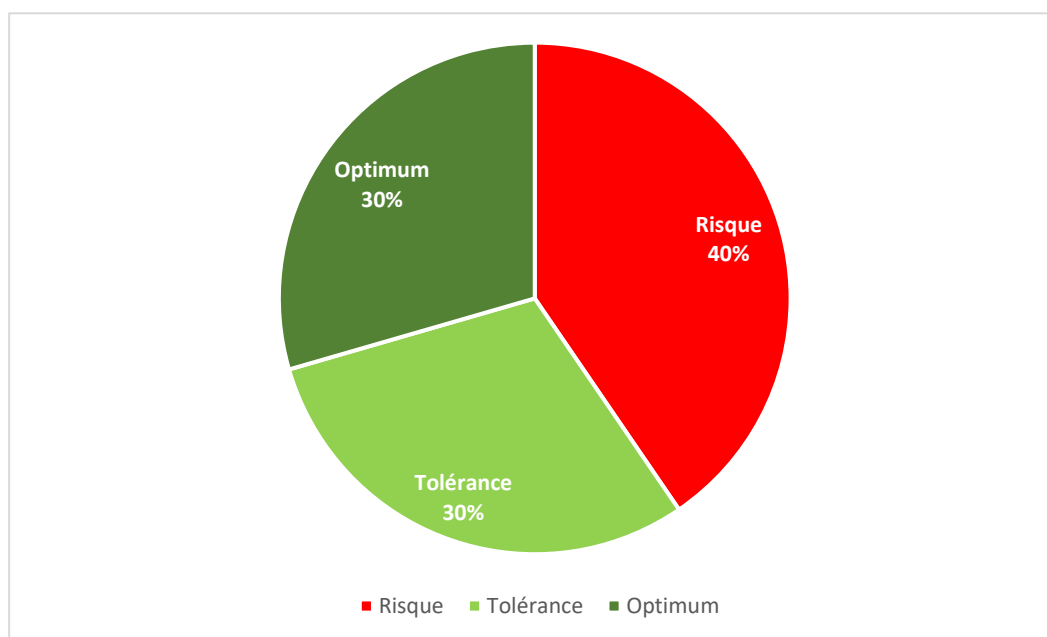


Figure 35 : Graphique circulaire du pourcentage d'UG classées en optimum, en tolérance et en zone à risque

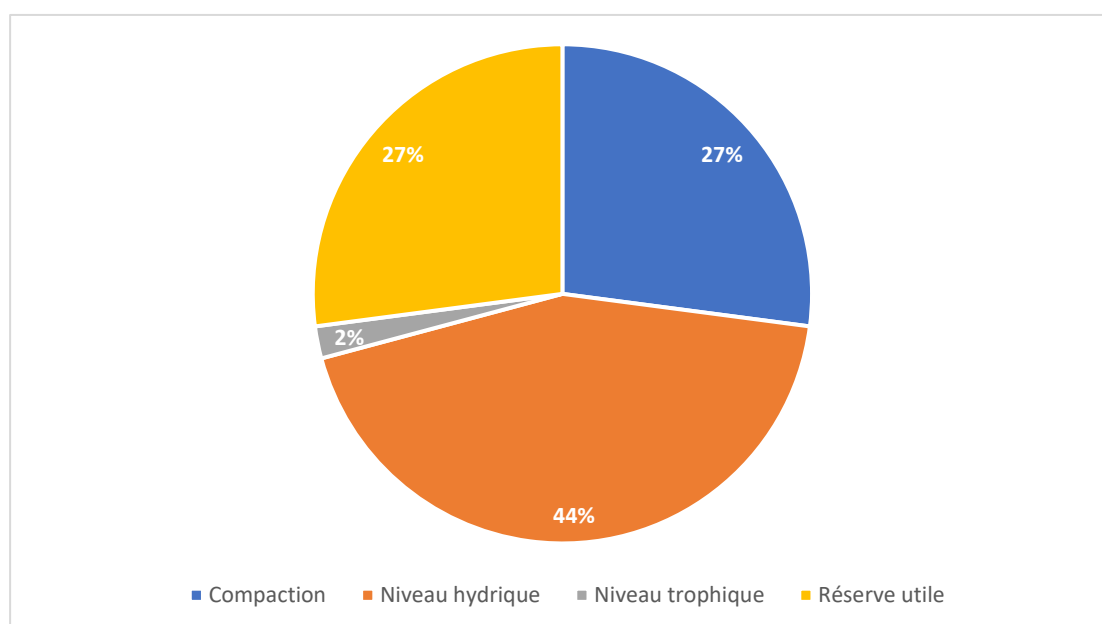


Figure 36: Graphique circulaire des indicateurs qui ont fait passer des UG dans la catégorie "A risque"

Tableau 12 : Adéquation des essences sur chaque site selon les 3 catégories: optimum (vert foncé), tolérance (vert clair) et à risque (rouge). Les chiffres indiquent le nombre de contraintes rencontrées par l'essence sur le site.

	<i>Abies bornmuelleriana</i>	<i>Abies nordmanniana</i>	<i>Calocedrus decurrens</i>	<i>Cedrus atlantica</i>	<i>Cedrus deodara</i>	<i>Corylus colurna</i>	<i>Fagus orientalis</i>	<i>Fagus sylvatica</i>	<i>Liquidambar styraciflua</i>	<i>Liriodendron tulipifera</i>	<i>Metasequoia glyptostroboides</i>	<i>Pinus heldreichii</i>	<i>Pinus nigra</i>	<i>Pinus pinaster</i>	<i>Pinus sylvestris</i>	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	<i>Quercus cerris</i>	<i>Quercus frainetto</i>	<i>Quercus petraea</i>	<i>Quercus pubescens</i>	<i>Sequoia sempervirens</i>	<i>Tilia cordata</i>
Bergeval							1	1														
Bois de l'Or			1																	1		
Château Regnault		1																				
Ciergnon1							1	2														
Ciergnon2											2						2	1	1			
Ciergnon3																			2			
Couthuin												2			2							
Creppe								1										1	1	2		
Felenne			2				1	3	1										2			
Gingelom								1														
Gomery																		1		1		
Gozée																						
Hamoir		1		1								1										
Haut-Fays															1		2		2	2		1
Helchteren																						
Hoof								1														
Jenneret1																						
Jenneret2											2	2										
Jenneret4																						
Lierneux1		1		1												1						
Lierneux2																						
Ohey1																			2	2		
Ohey2																						
Ouffet											2								1	1	2	
Overijse																						
Péruwelz																						
Poppel																						
Porcheresse				1																		
Postel1																						
Postel2												1					1		1	1		
Roly				1																		
Rumillies																				1		
Saint-léger																						
Stoumont				1											1							
Strud			2																			
Tintange	1	2		2								2							1			
Vierves-sur-viroin			1	2											1				1	1		
Voort					1	1		1			1											
Yvoir 1																1						
Yvoir 2						1		1														

4.3. Corrélation entre niveau hydrique et réserve utile

La figure 37 renseigne sur la relation entre le niveau hydrique et la réserve utile sur base des données obtenues dans les sites du projet. La relation entre ces deux paramètres n'est pas linéaire mais la réserve utile tend à diminuer entre les niveaux hydriques 1 et 4. Les résultats ne montrent pas des gammes de réserve utile différentes pour chaque niveau hydrique. Cependant, il existe une différence significative entre les valeurs de réserve utile associées au niveau hydrique 4 et celles associées aux autres niveaux hydriques.

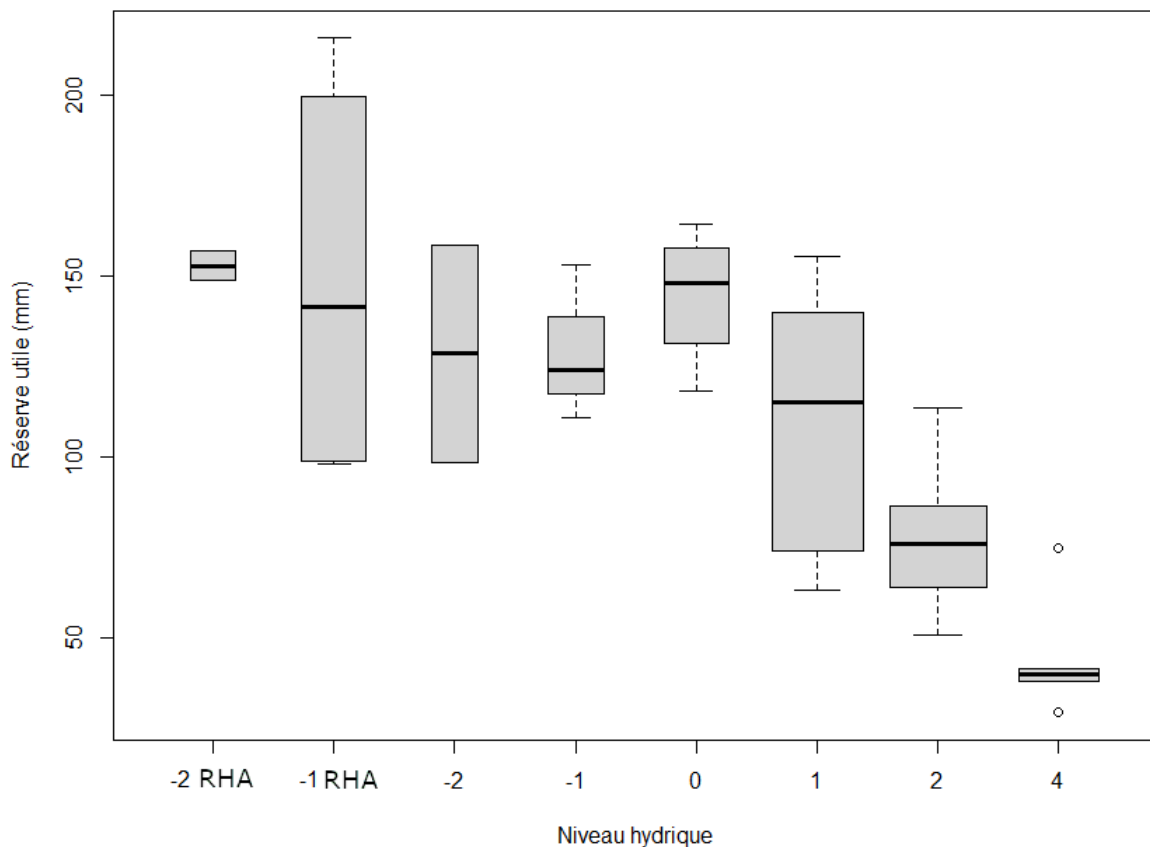


Figure 37 : Graphique en boîte à moustache de la réserve utile (mm) en fonction du niveau hydrique

5. Discussion

5.1. Adéquation climatique et choix des essences

Globalement, les essences plantées devraient bien se comporter en Belgique au vu des conditions climatiques similaires à leurs aires de répartition. Cependant, l'analyse a mis en avant plusieurs essences qui se trouvent en dehors de leurs conditions climatiques habituelles. Cela ne signifie pas qu'elles ne seront pas adaptées aux conditions belges. Le fait de mettre en avant cette différence de climat pourra mener à de futurs résultats en fonction du comportement des essences. Deux essences semblent ressortir du lot de manière inquiétante : le métaséquoia et le séquoia toujours vert. Le séquoia toujours vert semble se trouver dans des zones avec des extrema de températures plus cléments et le métaséquoia n'est ni dans sa gamme de températures habituelle ni dans sa gamme de précipitations. Or, ces deux essences sont demandeuses en eau et sont sensibles à la sécheresse. Et cela mène à la réflexion sur le choix des essences car en développant les mécanismes d'adaptation sur base de la littérature, certaines essences présentaient plus une sensibilité qu'une tolérance à la sécheresse. C'est le cas du séquoia toujours vert et du métaséquoia qui vivent naturellement dans des zones avec une hygrométrie atmosphérique élevée et qui ne montrent donc pas de mécanismes d'adaptation particuliers face à la sécheresse, même si le séquoia montre une bonne résistance à la cavitation. Le hêtre commun et le douglas sont aussi des essences présentant plus de sensibilité que de tolérance et cela s'observe déjà en Belgique. En Wallonie, le hêtre et le douglas sont respectivement la deuxième essence feuillue et résineuse recouvrant le plus de superficie. Cela explique leur sélection pour le projet : tester des nouvelles provenances potentiellement plus résistantes à la sécheresse que celles déjà plantées en Belgique. C'est donc une migration assistée de provenance.

5.2. Adéquation stationnelle des essences

L'adéquation stationnelle des essences plantées est l'objectif principal de cette étude. Une partie de ces essences sont nouvelles chez nous et ont été plantée dans un objectif de résistance à la sécheresse. Cette étude a donc pris en compte et tenté de mettre en avant les mécanismes de résistance à la sécheresse et les besoins édaphiques qui en découlent en mettant l'accent sur la disponibilité de l'eau et son accès. Les résultats obtenus peuvent paraître inquiétants au premier abord. En effet, avec la méthode utilisée, 40% des UG plantées présentent des risques en terme de production mais 30% se trouvent malgré tout en tolérance et 30% sont en optimum. Ces chiffres ne signifient pas que 40% des dispositifs ont été mal réfléchis et qu'ils sont voués à l'échec et ce pour plusieurs raisons.

Tout d'abord, ces résultats ont été obtenus sur base de la littérature qui pour certaines essences fait défaut. La majorité des essences font l'objet d'une fiche sur le site ClimEssences ou sur le fichier écologique des essences. L'information y est donc homogène et comparable surtout concernant les gammes de conditions hydriques et trophiques. Mais plusieurs essences ne s'y trouvent pas car elles sont encore peu étudiées au niveau sylvicole et donc peu connues. C'est le cas par exemple du noisetier de Byzance, du chêne de Hongrie,

du hêtre oriental et du copalme d'Amérique. Pour ces essences, une interprétation s'est faite sur base de descriptions brèves des conditions édaphiques idéales pour qu'elles soient retranscrites sous forme de gamme de niveau hydrique et trophique. Ce manque d'écogramme et cette interprétation pourraient être vus comme ayant un impact négatif sur l'analyse de l'adéquation stationnelle. Mais ils pourraient aussi bien être perçus comme une occasion d'analyser leurs conditions édaphiques plus profondément dans une future étude et de les comparer avec les résultats théoriques obtenus dans celle-ci. Ces essences peu étudiées et dont on ne connaît que très peu le comportement chez nous vont peut-être bien s'adapter à des niveaux hydrique et trophique différents de ceux que leur attribue la littérature. En effet, certains types de sol peuvent parfois être exclus dans la littérature parce que ces essences n'y sont pas naturellement retrouvées.

Ensuite, les critères contraignants utilisés dans cette étude ne sont pas ceux utilisés habituellement. Les niveaux hydrique et trophique sont les indices les plus utilisés dans le choix des essences et ce via le *fichier écologique des essences*. Ici, la réserve utile, la compaction et la profondeur du sol ont été ajoutées dans la réflexion de l'adéquation des essences dans une optique de changement climatique et de sécheresses fréquentes. Ces paramètres ont pris du poids dans la balance car ils pourraient devenir des facteurs limitants pour l'adaptation morphologique des essences face à la sécheresse. La place de ces facteurs dans l'arbre à choix a donc influencé le résultat final qui mène tout de même à la réflexion concernant la compaction des sols. Elle fût un critère d'exclusion dans 27% des cas et ce n'est pas un résultat négligeable. C'est un phénomène croissant et parfois sous-estimé qui, si sa place dans l'arbre à choix se confirme à l'avenir, pourrait causer des dégâts au vu de la sensibilité de certaines essences. En effet, les résultats ont montré que les essences qui présentent le plus de risque sont le cèdre de l'Atlas, le pin de Bosnie et le pin laricio de Corse alors qu'elles font partie des essences les plus résistantes à la sécheresse. Et dans la majorité des cas le cèdre de l'Atlas et le pin laricio de Corse sont passés dans la catégorie à risque à cause de leur sensibilité à la compaction.

Aussi, il ne faut pas oublier que dans le projet différentes provenances génétiquement différentes ont été plantées et cette étude ne s'est portée que sur les essences. On peut donc s'attendre à des comportements différents entre provenances au sein d'une même essence. Plus précisément encore, on peut s'attendre à des comportements différents entre individus

Finalement, le terme à risque ne signifie pas que l'essence va obligatoirement mal se comporter. En effet, le but de cette analyse n'est pas de prédire des problèmes mais bien de pouvoir expliquer les causes des éventuels problèmes que certaines essences rencontreraient dans 10, 20 ou 30 ans. En fonction du comportement des essences, cette étude théorique sur l'adéquation permettra dans plusieurs dizaines d'années soit de confirmer des caractéristiques présentes dans la littérature soit d'en infirmer.

5.3. Corrélation entre niveau hydrique et réserve utile

Le niveau hydrique et la réserve utile sont deux facteurs qui ne semblent pas corrélés sauf en cas de sol sec. Et ce résultat peut en réalité paraître logique. Comme décrit dans les paragraphes concernant la disponibilité en eau, ces deux paramètres sont complémentaires. Derrière tous les paramètres pris en compte dans la notion de niveau hydrique se cachent en réalité tous les facteurs qui permettent de calculer la réserve utile comme la texture, la profondeur ou la charge en éléments grossiers. Mais la réserve utile ne peut pas servir à elle seule à déterminer le niveau hydrique d'une station car cette indice comprend aussi des paramètres topographiques et des classes de drainage. Deux stations avec des valeurs de réserve utile identiques n'auront pas la même indice de niveau hydrique si l'une se situe dans un fond de vallée et si l'autre se situe dans une pente pleine. Il en va de même si l'une des stations est sur sol sableux avec un drainage excessif et si l'autre est sur sol limoneux avec un drainage modéré. Mais dans la clé d'identification du niveau hydrique proposée par le fichier écologique des essences, les niveaux hydriques de 4 ou 5 sont toujours associées à des sols superficiels sauf dans un seul cas : si le sol est peu profond, bien drainé, avec une texture Z,S ou P, se situant sur un sous-secteur chaud et avec un apport d'eau par les précipitations uniquement. Et généralement, un sol superficiel induit une faible réserve utile car la profondeur est l'un des paramètres qui influence le plus la réserve utile avec la charge en éléments grossiers. En conclusion, avec seulement des valeurs de réserve utile, il n'est pas possible de déterminer le niveau hydrique avec précision et inversement.

5.4. Protocole et fiche de terrain

Le protocole développé a été pensé pour réaliser cette étude mais devait aussi pouvoir être répliquable pour caractériser de la même manière les prochaines parcelles qui s'ajouteront au projet. Le protocole est complet mais assez long, physique et nécessite d'avoir déjà des connaissances en pédologie.

Le fait de devoir creuser trois micro-fosses rend la réalisation du protocole assez longue, particulièrement dans les sols caillouteux. Mais creuser des micro-fosses sur les premières dizaines de centimètres permet de faire apparaître un profil de sol plus précis qu'avec une tarière. Le fait de voir le profil permet de mieux identifier la charge en éléments grossiers et de tester la compacité du sol avec un couteau. Dans cette étude, les 3 micro-fosses servaient principalement à approcher une valeur de réserve utile et à cerner l'homogénéité de la station sur plusieurs mètres. Pour une étude encore plus précise de la réserve utile, il aurait fallu faire plus de sondage et ce à plusieurs endroits de la parcelle pour atteindre une surface d'échantillonnage fixée et constante. Cette partie du protocole est donc à adapter en fonction du but de l'analyse pédologique.

Le protocole reste abordable mais nécessite des connaissances de base en pédologie afin de savoir reconnaître un horizon ou un humus et des connaissances en botanique pour reconnaître la flore indicatrice.

Après utilisation de la fiche de terrain, plusieurs points positifs et négatifs sont à signaler. Par exemple, les descriptions précises de la plasticité, de l'adhésivité et de la friabilité peuvent être superflues pour une personne avec des connaissances en pédologie qui pourraient directement utiliser la clés de détermination de la texture. De plus, les valeurs de ces trois paramètres ne sont, finalement, utilisées dans aucune analyse de cette étude. Un autre désavantage de cette fiche concerne la détermination des niveaux hydrique et trophique via la flore indicatrice. Dans le cas de cette étude, leur détermination a plutôt servi à avoir une vue d'ensemble du terrain et à aider dans la confirmation des niveaux hydrique et trophique. En effet, ces données n'ont pas pu être pleinement exploitées de la période de terrain et le gyrobroyage récent. Les relevés pédologiques ont débuté à partir de mars et les observations floristiques plus complètes ont été faites à partir de fin avril début mai. Mais dans certains sites, le gyrobroyage trop récent ne donnait pas encore une station à son plein potentiel floristique. Le gyrobroyage récent rendait aussi l'identification de l'humus plus compliquée. Par contre, un des avantages de cette fiche de terrain est la description par horizons au sein de la fiche avec le code de l'horizon définit au début de l'analyse pédologique. Aussi, le fait d'insérer les clés d'identification au sein même de la fiche permet à tous les utilisateurs de se baser sur la même clé dans le cas d'une étude où les données doivent être homogènes.

5.5. Etat des lieux du projet

Le projet *Trees for future* est un projet innovant et à grande échelle. Il présente de nombreux avantages mais aussi des limites.

Tout d'abord, le projet se réalise dans des parcelles réparties à travers la Belgique. Cela présente l'avantage de tester les essences et les provenances dans des conditions édaphiques et climatiques diversifiées. Seulement, ces parcelles appartiennent et sont gérées par des propriétaires privés et cela implique que toutes les parcelles du projet ne reçoivent pas les mêmes traitements. Par exemple, les travaux de dégagement ne sont pas réalisés de la même façon et ils sont responsables de problèmes sanitaires des plants dans plusieurs sites du projet (Eloy et al., 2022). Pour autant, le projet est et reste avant tout dans des conditions réelles de terrain. Le but est de trouver des essences adaptées chez nous dans une optique de sylviculture. Donc, les tester en conditions réelles de gestion par des propriétaires forestiers est un avantage considérable. De plus, même si le traitement diffère par la suite, l'achat des plants est géré par la SRFB. Tous les plants proviennent donc des mêmes pépinières pour démarrer l'expérimentation. Et comme mentionné dans le contrat, la SRFB et le propriétaire collaborent. Les différents travaux opérés sur les parcelles sont donc connus de la SRFB. Toutes ces différences entre parcelles seront donc des sources possibles d'études au court du projet.

Ensuite, le projet se fait à large échelle et les plantations s'étendent sur plusieurs hectares au total. Pour réaliser tous ces suivis en temps et en heure, il faut des ressources humaines considérables. Pour cela, la SRFB a mis en place un réseau de bénévoles qu'elle forme pour aider dans les suivis annuels. La formation est un point important pour que tous les relevés soient réalisés de la même manière par tous les observateurs.

Finalement, le projet s'étend sur longue durée. Dans le contrat, la SRFB s'engage à faire des suivis sur au moins les 20 premières années (renouvelable) des plants, ce qui peut paraître long mais qui reste proportionnel à l'échelle de temps en forêt. Les résultats et les réflexions sur les essences d'avenir se feront donc tout au long du projet.

5.6. Contribution personnelle

Afin de mener cette étude à bien, l'étudiante a contacté la stagiaire travaillant sur le projet *FuturForEst* afin de discuter des projets et des protocoles de terrain qui seraient mis en place pour chacune des études. Cette collaboration a mené, plus tard, à une visite de terrain de l'étudiante en France pour participer aux sondages pédologiques français.

L'étudiante a donc mis en place un protocole, en concertation avec la SRFB, pour faire les relevés pédologiques sur les sites. Par la suite, l'étudiante a contacté tous les propriétaires pour leur faire part du présent travail de fin d'étude et pour leur demander leur accord concernant les sondages pédologiques. Ces relevés pédologiques ont donné lieu à 19 journées de terrain étalées sur 4 mois (de mars à juin) et à 3 journées de laboratoire (dans les bureaux de la SRFB) pour mesurer les pH.

En parallèle, l'étudiante a réalisé des recherches bibliographiques et a participé à des conférences pour en apprendre d'avantage sur le comportement des essences face au stress hydrique.

Finalement, l'étudiante a fourni à la SRFB un fichier Excel reprenant les données pédologiques pour compléter la base de données et des fiches personnalisées pour chaque terrain (fiches pédologiques descriptives et fiche adéquation essence-station).

6. Conclusion

Le projet *Trees for future* est un projet ambitieux et innovant qui réunit les propriétaires qui y participent derrière la même question « Que devons-nous planter aujourd'hui ? ». Ce projet n'en est qu'à ses débuts, il évolue chaque jour et apportera chaque année des pistes de réflexion sur les essences de demain.

Ce travail de fin d'étude a tenté d'intégrer des notions complexes telles que la disponibilité en eau des sols et les mécanismes d'adaptation à la sécheresse dans une analyse stationnelle théorique des essences du projet. Ces essences, pour la plupart méconnues en Belgique, vont devoir faire face à des sécheresses plus importantes et plus fréquentes dans le futur et c'est pourquoi l'accessibilité à l'eau a été mise en avant dans cette étude.

Les résultats d'adéquation stationnelle obtenus ne sont pas des prédictions pour le futur. Ils visent à donner des réponses à d'éventuels problèmes que rencontreront certaines essences. Le but de ce projet est d'en apprendre d'avantage sur le comportement des essences. Donc que les résultats théoriques se confirment ou non avec le temps, cela permettra d'atteindre l'objectif : améliorer nos connaissances sur ces essences et sur leur adaptation aux climat actuel et futur.

Bibliographie

- Atlas climatique*. (2021). KMI. Consulté le 6 août 2022, à l'adresse <https://www.meteo.be/fr/climat/climat-de-la-belgique/atlas-climatique/cartes-climatiques/precipitations/quantites-de-precipitations/annuel>
- G. Aussenac .(1984). Le Cèdre, essai d'interprétation bioclimatique et écophysiologique, *Bulletin de la Société Botanique de France. Actualités Botaniques*, 131:2-4, 385-398.
- Aussenac, G. (2002). Ecology and ecophysiology of circum-Mediterranean firs in the context of climate change. *Annals of Forest Science, Springer Nature* (since 2011)/EDP Science (until 2010), 59 (8), pp.823-832.
- Aussenac, G., & Oleffe, P. (1984). Eléments sur le comportement hydrique comparé de *Pseudotsuga menziesii*, *Thuja plicata* et *Tsuga heterophylla*. *Revue forestière française*, 36(2), 122-126. <https://doi.org/10.4267/2042/21714>
- Brendel, O., Cochard, H. (2011). Comment les espèces végétales s'adaptent au stress hydrique. *L'eau pour les forêts et les hommes en Région Méditerranéenne : un équilibre à trouver*, European Forest Institute, What Science can tell us, 978-952-5453-81-2.
- Burgess, S. S. O., & Dawson, T. E. (2004). The contribution of fog to the water relations of *Sequoia sempervirens* (D. Don) : Foliar uptake and prevention of dehydration. *Plant, Cell & Environment*, 27(8), 1023-1034. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2004.01207.x>
- Burgess, S. S. O., Pittermann, J., & Dawson, T. E. (2006). Hydraulic efficiency and safety of branch xylem increases with height in *Sequoia sempervirens* (D. Don) crowns. *Plant, Cell & Environment*, 29(2), 229-239. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2005.01415.x>
- Burns, Russell M., and Barbara H. Honkala, tech. coords. (1990). *Silvics of North America: 1. Conifers; 2. Hardwoods*. Agriculture Handbook 654. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Washington, DC. vol.2, 877 p.
- Centre régional de la propriété forestière de Bretagne. (2010, juin). *Bilan des introductions et perspectives d'utilisation du Tulipier de Virginie (Liriodendron tulipifera) en Bretagne*.
- Choat, B., Brodersen, C. R., & McElrone, A. J. (2015). Synchrotron X-ray microtomography of xylem embolism in *Sequoia sempervirens* saplings during cycles of drought and recovery. *New Phytologist*, 205(3), 1095-1105. <https://doi.org/10.1111/nph.13110>

Claessens, H. (2020, 30 mars). *Analyse et valorisation stationnelles : Analyse des stations appliquée à la gestion forestière* [Notes de cours].

Claessens, H. & Maebe, L. (2020). *Dossier terrain: outils d'aide au diagnostic stationnel et sylvicole* [Notes de cours].

Claessens, H., Prévot, C., & Lisein, J. (2020). *Guide d'interprétation de la flore indicatrice en forêt*. Forêt.Nature.

Cochard, H., Badel, E., Herbette, S., Severien Barigah, T., Souchal, R., et al.(2016). *L'embolie et la vulnérabilité des arbres à la sécheresse*. Journées Portes Ouvertes INRA Crouel, Clermont-Fd, France. 1 p., 2016.

M. Ducrey. (1998). Aspects écophysologiques de la réponse et de l'adaptation des sapins méditerranéens aux extrêmes climatiques : gelées printanières et sécheresse estivale. *Forêt Méditerranéenne*, Forêt Méditerranéenne, XIX (2), pp.105-116.

Ehinger, G. D. M. (2019). *Biljou - Réserve en eau du sol*. Biljou Modèle de bilan hydrique forestier. <https://appgeodb.nancy.inra.fr/biljou/fr/fiche/reserve-en-eau-du-sol>

Elzami, E. (2018). *Ecological Interpretation of variations of wood density and wood anatomy of Fagus orientalis Lipsky and Fagus sylvatica L. in relation to climatic parameters and environmental gradients* [Thèse de doctorat, Naturwissenschaftlichen Fakultät der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg]. OPU (urn:nbn:de:bvb:29-opus4-98298)

Essences d'avenir. (s. d.). *TREES FOR FUTURE*. Consulté 14 mai 2022, à l'adresse <https://www.treesforfuture.be/le-projet/essences-davenir/>

Eloy, E., Dassonville, N., & Van der Perre, R. (2022). Trees for future: résultats de la campagne de suivi d'automne 2020 et 2021, *Silva Belgica*, (4), pp. 27-29.

Fiches espèces / ClimEssences. (s. d.). Consulté 6 août 2022, à l'adresse <https://climessences.fr/fiches-especes/fiches-especes>

Fichier Ecologique des Essences – Niveaux trophiques (NT). (2017). Géoportail de La Wallonie. [https://geoportail.wallonie.be/catalogue/e281971d-776b-4793-99fd-ffc8e02d62d4.html#:~:text=Le%20niveau%20trophique%20%20\(sols,de%20plus%20en%20plus%20acides](https://geoportail.wallonie.be/catalogue/e281971d-776b-4793-99fd-ffc8e02d62d4.html#:~:text=Le%20niveau%20trophique%20%20(sols,de%20plus%20en%20plus%20acides).

Fichier Ecologique des Essences – Niveau hydrique (NH). (2017). Géoportail de La Wallonie. <https://geoportail.wallonie.be/catalogue/a3e13882-cd88-42e1-829a-d112c1a56f84.html>

FuturForEst : Un pari pour l'avenir des forêts du Grand Est. (2021, novembre 23). Office national des forêts. <https://www.onf.fr/onf/+962::futurforest-un-pari-pour-lavenir-dans-les-forets-du-grand-est.html>

Graines et plants forestiers : conseils d'utilisation des ressources génétiques forestières. (2021). Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire. Consulté le 20 mai 2022,

à l'adresse <https://agriculture.gouv.fr/graines-et-plants-forestiers-conseils-dutilisation-des-ressources-genetiques-forestieres>

Kandemir G. and Z. Kaya. 2009 EUFORGEN Technical Guidelines for genetic conservation and use of oriental beech (*Fagus orientalis*). *Bioversity International*, Rome, Italy. 6 pages.

La migration assistée. (s. d.). *TREES FOR FUTURE*. Consulté 21 juin 2022, à l'adresse <https://www.treesforfuture.be/le-projet/forets-et-changements-climatiques/la-migration-assistee/>

Lebourgeois, F., Jabiol, B. (2002). Enracinements comparés du Chêne sessile, du Chêne pédonculé et du Hêtre. Réflexions sur l'autécologie des essences.. *Revue forestière française*, AgroParisTech, 54 (1), pp.17-42.

Lucot, E., & Monnet, J-C. (2014). *Cartographie des sols et de leur réserve utile en eau : Démarche pratique pour l'évaluation de la réserve en eau des sols à l'échelle de la parcelle*.

Mauri, A., Enescu, C. M., Houston Durrant, T., de Rigo, D., Caudullo, G. (2016). *Quercus frainetto in Europe: distribution, habitat, usage and threats*. In: San-Miguel-Ayanz, J., de Rigo, D., Caudullo, G., Houston Durrant, T., Mauri, A. (Eds.), *European Atlas of Forest Tree Species*. Publ. Off. EU, Luxembourg.

Metasequoia glyptostroboides. (s. d.). Consulté 6 août 2022, à l'adresse <https://www.vdberk.fr/arbres/metasequoia-glyptostroboides/>

Moran, E., Lauder, J., Musser, C., Stathos, A., & Shu, M. (2017). The genetics of drought tolerance in conifers. *New Phytologist*, 216(4), 1034-1048.
<https://doi.org/10.1111/nph.14774>

Nardini, A., Lo Gullo, M. A., & Salleo, S. (1999). Competitive strategies for water availability in two Mediterranean *Quercus* species. *Plant, Cell & Environment*, 22(1), 109-116.
<https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.1999.00382.x>

ONF Grand Est. (2020, mars). *Adaptation des forêts aux changements climatiques*.

Orwig, D. A., & Abrams, M. D. (1997). Variation in radial growth responses to drought among species, site, and canopy strata. *Trees*, 11(8), 474-484.
<https://doi.org/10.1007/s004680050110>

Petit S., Cordier S., Claessens H., Ponette Q., Vincke C., Marchal D., Weissen F. (2017). *Fichier écologique des essences*. Forêt.Nature, UCLouvain-ELIe, ULiège-GxABT, SPWARNE-DNF. fichierecologique.be, consulté le 2 avril 2022.

Pezeshki, S. & Chambers, Jim. (2011). Stomatal and photosynthetic response of drought-stressed cherrybark oak (*Quercus falcata* var. *pagodaefolia*) and sweet gum (*Liquidambar styraciflua*). *Canadian Journal of Forest Research*. 16. 841-846. 10.1139/x86-148.

Ridremont, F., Degré, A., & Claessens, H. (2012). *MIEUX COMPRENDRE ET ÉVALUER LA RÉSERVE EN EAU DES SOLS FORESTIERS*. 12.

Riou-Nivert, P. (2005). *Les résineux : Écologie et pathologie (Tome II) (Les résineux, 2)*. IDF.

Scartazza, A., Tosi, L., Tarchi, M., Paris, E., & Brugnoli, E. (2012). *Comparing early drought responses of Italian alder and hybrid poplar in a bioenergy field test in Mediterranean Europe*.

Šeho, M., Ayan, S., Huber, G., & Kahveci, G. (2019). A Review on Turkish Hazel (*Corylus colurna* L.) : A Promising Tree Species for Future Assisted Migration Attempts. *South-east European forestry*, 10(1), 53-63. <https://doi.org/10.15177/seefor.19-04>

Trees For Future | Objectifs et méthodologies. (2021, 8 septembre). TREES FOR FUTURE. <https://www.treesforfuture.be/le-projet/objectifs-et-methodologie/>

Van der Perre, R., Bythell, S., Bogaert, P., Claessens, H., Ridremont, F., Tricot, C., Vincke, C., & Ponette, Q. (2015). La carte bioclimatique de Wallonie : un nouveau découpage écologique du territoire pour le choix des essences forestières. *Forêt.Nature*, (135), pp 47-58.

Vann, D. R. (2005). Physiological Ecology of *Metasequoia glyptostroboides* Hu et Cheng. In B. A. LePage, C. J. Williams, & H. Yang (Éds.), *The Geobiology and Ecology of Metasequoia* (p. 305-333). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/1-4020-2764-8_10

Wampach, F., Lisein, J., Cordier, S., Ridremont, F., & Claessens, H. (2017). *Cartographie de la disponibilité en eau et en éléments nutritifs des stations forestières de Wallonie*. 14.

Wolkerstorfer, S. V., Wonisch, A., Stankova, T., Tsvetkova, N., & Tausz, M. (2011). Seasonal variations of gas exchange, photosynthetic pigments, and antioxidants in Turkey oak (*Quercus cerris* L.) and Hungarian oak (*Quercus frainetto* Ten.) of different age. *Trees*, 25(6), 1043-1052. <https://doi.org/10.1007/s00468-011-0579-1>

Zapater, M. (2009). *Diversité fonctionnelle de la réponse à la sécheresse édaphique d'espèces feuillues en peuplement mélangé : Approches écophysiologique et isotopique*. Sylviculture, foresterie. Université Henri Poincaré - Nancy 1.

Annexes

Annexe 1. Récapitulatifs des essences, de leur provenance, du site et de leur année de plantation.

Essence	Provenance	Site	Année de plantation
<i>Abies bornmuelleriana</i>	Bostan	Hamoir	202019-202020
		Lierneux 2	2019-2020
		Tintange	2019-2020
<i>Abies nordmanniana</i>	Ambraulori	Château Regnault	2021-2022
		Hamoir	2019-2020
		Lierneux 1	2018-2019
		Tintange	2019-2020
	VG Belge	Hamoir	2019-2020
		Lierneux 1	2018-2019
		Tintange	2019-2020
<i>Calocedrus decurrens</i>	Californie, Mount Sashta/Oregon Ashland mélange	Felenne	2020-2021
	Californie, Mount Sashta	Srud	2020-2021
		Vierves-sur-viroin	2020-2021
	inconnu	Bois de l'Or	2021-2022
	Oregon Ashland	Strud	2020-2021
		Vierves-sur-viroin	2020-2021
<i>Cedrus atlantica</i>	CAT900 France	Hamoir	2019-2020
		Lierneux 1	2018-2019
		Poppel	2019-2020
		Porcheresse	2019-2020
		Postel 1	2019-2020
		Roly	2019-2020
		Stoumont	2019-2020
		Tintange	2019-2020
		Vierves-sur-viroin	2019-2020
	PP01 Menerbes France	Hamoir	2019-2020
		Lierneux 1	2018-2019
		Poppel	2019-2020
		Porcheresse	2019-2020
		Postel 1	2019-2020
		Roly	2019-2020
		Stoumont	2019-2020
		Tintange	2019-2020

		Vierves-sur-viroin	2019-2020
	PP02 Mont Ventoux France	Hamoir	2019-2020
		Poppel	2019-2020
		Porcheresse	2019-2020
		Postel 1	2019-2020
		Roly	2019-2020
		Stoumont	2019-2020
		Vierves-sur-viroin	2019-2020
	Saumon	Château Regnault	2021-2022
		Lierneux 1	2018-2019
<i>Cedrus deodora</i>	inconnue	Voort	2020-2021
<i>Chamaecyparis lawsoniana</i>	inconnue	Tintange	2021-2022
<i>Corylus colurna</i>	Bulgarie	Voort	2020-2021
		Yvoir	2021-2022
<i>Fagus orientalis</i>	Bulgarie	Bergeval	2021-2022
		Ciergnon 1	2021-2022
		Fellenne	2021-2022
		Gingelom	2021-2022
<i>Fagus sylvatica</i>	Belles Tailles	Bergeval	2021-2022
		Ciergnon 1	2021-2022
		Creppe	2021-2022
		Gingelom	2021-2022
		Hoof	2021-2022
		Voort	2021-2022
		Yvoir	2021-2022
	Massif central sud	Bergeval	2021-2022
		Ciergnon 1	2021-2022
		Creppe	2021-2022
		Fellenne	2021-2022
		Gingelom	2021-2022
		Hoof	2021-2022
		Yvoir	2021-2022
<i>Liquidambar styraciflua</i>	Louisianne	Fellenne	2021-2022
		Jenneret 1	2021-2022
		Ohey 2	2021-2022
<i>Liriodendron tulipifera</i>	inconnue	Ohey 2	2021-2022
<i>Metasequoia glyptostroboides</i>	inconnue	Voort	2020-2021
<i>Pinus heldreichii</i>	Bulgarie	Ciergnon 2	2021-2022
		Jenneret 1	2021-2022
		Ouffet	2021-2022
<i>Pinus nigra</i>	Inconnue	Jenneret 1	2021-2022
	Haute serre VG 002	Couthuin	2020-2021

		Hamoir	2020-2021
		Postel 2	2020-2021
		Tintange	2020-2021
	Sologne - Vayrières - VG 001	Couthuin	2019-2020
		Hamoir	2019-2020
		Postel 2	2019-2020
		Tintange	2019-2020
	VG Halle - Koekelare	Couthuin	2019-2020
		Hamoir	2019-2020
		Postel 2	2019-2020
		Tintange	2019-2020
<i>Pinus pinaster</i>	Saint Augustin	Helchteren	2019-2020
		Poppel	2019-2020
	VG6 Mimizan VF2	Helchteren	2019-2020
		Postel 2	2019-2020
<i>Pinus sylvestris</i>	VG04 Plaines nord-est VG France	Couthuin	2019-2020
		Porcheresse	2019-2020
		Postel 2	2019-2020
		Stoumont	2019-2020
	VG3 Haguenau Vayrières	Couthuin	2019-2020
		Haut Fays	2019-2020
		Postel 2	2019-2020
		Stoumont	2019-2020
<i>Pseudotsuga menziensis</i>	Californie - VG06	Lierneux 1	2019-2020
		Vierves-sur-viroin	2019-2020
		Yvoir	2019-2020
	Darrington V6 VG1	Vierves-sur-viroin	2019-2020
		Yvoir	2019-2020
<i>Quercus cerris</i>	Emilia Italie	Tintange	2019-2020
	Bulgarie	Ciergnon 2	2021-2022
		Gomery	2021-2022
		Yvoir	2021-2022
	Fr hors Alpes nicoises - 901	Hamoir	2019-2020
		Haut Fays	2019-2020
		Lierneux 2	2019-2020
		Postel 2	2019-2020
		Roly	2019-2020
		Rumillies	2019-2020
<i>Quercus frainetto</i>	Bulgarie	Ciergnon 2	2021-2022
		Creppe	2021-2022
		Gingelom	2021-2022
		Gomery	2021-2022
		Ouffet	2021-2022
		Saint-Léger	2021-2022

	Turquie	Creppe	2021-2022
		Gomery	2021-2022
		Saint-Léger	2021-2022
<i>Quercus petraea</i>	Inconnue	Ciergnon 3	2021-2022
	Culée de Faulx	Ciergnon 2	2021-2022
		Creppe	2021-2022
		Gomery	2021-2022
		Hamoir	2019-2020
		Haut Fays	2019-2020
		Ohey 1	2021-2022
		Ouffet	2021-2022
		Postel 2	2019-2020
		Roly	2019-2020
		Rumillies	2019-2020
		Saint-Léger	2021-2022
		Tintange	2019-2020
	Gascogne	Creppe	2021-2022
		Fellenne	2021-2022
		Saint-Léger	2021-2022
		Vierves-sur-viroin	2021-2022
	Vallée de la Saône	Ciergnon 3	2021-2022
		Gomery	2021-2022
<i>Quercus pubescens</i>	101 Nord-Ouest	Hamoir	2019-2020
		Haut Fays	2019-2020
		Postel 2	2019-2020
		Roly	2019-2020
		Rumillies	2019-2020
	360 Sud-ouest France (godet)	Hamoir	2019-2020
		Postel 2	2019-2020
		Roly	2019-2020
	360 Sud-ouest France (racines nues)	Hamoir	2019-2020
		Postel 2	2019-2020
	360 Sud-ouest France	Haut Fays	2019-2020
		Rumillies	2019-2020
	Ascoli, Italie	Jenneret 4	2021-2022
		Ohey 1	2021-2022
		Ouffet	2021-2022
		Vierves-sur-viroin	2021-2022
	Bologne	Bois de l'Or	2021-2022
	Emilia Romania	Creppe	2021-2022
		Gomery	2021-2022
		Saint-Léger	2021-2022
	Languedoc	Gomery	2021-2022

		Jenneret 4	2021-2022
		Ohey 1	2021-2022
		Ouffet	2021-2022
		Saint-Léger	2021-2022
		Vierves-sur-viroin	2021-2022
	QPE360	Bois de l'Or	2021-2022
<i>Sequoia sempervirens</i>	Californie zone 097	Jenneret 1	2020-2021
		Ouffet	2021-2022
		Vierves-sur-viroin	2020-2021
<i>Tilia cordata</i>	901 Montagnes France	Overijse	2019-2020
		Péruwelz	2019-2020
	Allemagne	Lierneux2	2019-2020
	Nord-est - 200	Haut Fays	2019-2020
		Overijse	2019-2020
		Péruwelz	2019-2020
	Mélange Nord-est - 200 / 901 Montagnes France	Gozée	2019-2020

Annexe 2. Contrat entre la Société Royale Forestière de Belgique et le propriétaire



Projet « Arboretums-125 ans » Convention d'expérimentation forestière

Entre

La Société Royale Forestière de Belgique

Boulevard Bischoffsheim 1-8, Bte 3, 1000 Bruxelles

Tel : 02 223 07 66

Email : info@srfb-kbbm.be

Ci-après désigné par « SRFB »

Représentée par Philippe de Wouters (Directeur)

Et

Nom du propriétaire foncier :

Adresse :

Tel :

Ci-après désigné par « le propriétaire »

Objet de la convention

La SRFB coordonne un projet de recherche « arboretums 125 ans » dont l'objectif global est d'évaluer l'adaptation, les performances (croissance, rendement), la qualité sylvicole et technologique ainsi que l'impact potentiel sur la biodiversité de nouvelles essences/provenances dans l'optique de sélectionner celles qui pourront être acclimatées à l'avenir en vue d'adapter la forêt belge au changement climatique.

Dans le cadre de ce projet, des parcelles d'expérimentation sont mises en place.

Cette convention a pour objet de préciser :

- Les conditions de réalisation de l'expérimentation
- Les conditions d'interventions de la SRFB

- Les implications pour le propriétaire qui accepte cette expérimentation

L'installation d'une expérimentation forestière sur une propriété privée permet aux sylviculteurs et à la communauté forestière de parfaire leurs connaissances techniques. En l'occurrence ici, il s'agira d'améliorer les connaissances sur l'adaptation et les performances régionales des nouvelles essences/provenances testées dans le contexte du changement climatique.

Il est rappelé que cette installation est basée sur un volontariat réciproque et donc la SRFB qui coordonne l'installation de cette expérimentation, avec l'autorisation expresse du propriétaire qui a pris connaissance des implications, ne pourra être tenue responsable de l'éventuel échec de(s) l'essence(s)/provenance(s) testée(s).

Descriptif de l'expérimentation

A) Localisation de l'expérimentation

Commune : Creppe

Lieu-dit :

Parcelle cadastrale :

B) Description des essences/provenances testées et du protocole d'expérimentation

Essences	Provenances	Nb plants	Superficie (ha)	Distances de plantation (m)	Préparation de terrain	Protections
----------	-------------	-----------	--------------------	-----------------------------------	---------------------------	-------------

C) Surface concernée par l'expérimentation :

D) Durée de l'expérimentation : 20 ans (renouvelable)

E) Technicien responsable de l'expérimentation :

Engagements de la SRFB

La SRFB s'engage à :

- Mettre en place l'expérimentation au cours de la saison de plantation : 20...-20...
- Prendre en charge le financement de :
 - o La fourniture des plants fixée à la période de XXX

- Surcoûts éventuels dans les frais de plantation liés spécifiquement au protocole expérimental (choix du type de plant, tri des plants, piquetage des parcelles expérimentales...) : sans objet
- Superviser les plantations réalisées par un entrepreneur (respect du plan de plantation)
- Suivre régulièrement le dispositif (mesurage annuel et suivi sanitaire des arbres pendant les 20 premières années, visites de contrôle, entretien des peintures)
- Transmettre au propriétaire les résultats synthétiques des prises de mesure réalisées sur sa parcelle
- Prévenir le propriétaire avant toute visite de la parcelle

Implications pour le propriétaire

Le propriétaire s'engage à :

- Prendre en charge financièrement les travaux suivants :
 - Préparation de terrain (gyrobroyage en plein ou andainage) programmé pour la période de automne 2021.
 - Plantation classique (le schéma de plantation sera fourni par la SRFB)
 - Frais de protection gibier non pris en charge par la SRFB
 - Entretien de la plantation en bon père de famille (dégagements et au besoin taille de formation et élagage selon les consignes communiquées par la SRFB)
 - Marquage des éclaircies (avec droit de regard de la SRFB). Des consignes concernant les opérations sylvicoles spécifiques à chaque essence testée seront fournies au propriétaire par la SRFB.
- Avertir, en cas d'impossibilité de réalisation des travaux, la SRFB au moins 3 mois à l'avance
- Ne pas modifier les marquages sur le dispositif et ne pas effectuer de coupes ou travaux non prévus au protocole
- Permettre la visite du dispositif pour les mesures et pour des réunions techniques.
- Autoriser l'utilisation et la diffusion des résultats issus de l'expérimentation
- Signaler à la SRFB, 6 mois à l'avance, sauf cas de force majeure, toute modification relative à la nature du propriétaire ou du gestionnaire, ou tout évènement exceptionnel pouvant affecter la suite de l'expérimentation.

Les arbres et le bois issus de coupes restent la propriété du propriétaire. Toutefois, et après accord préalable, voire indemnisation, la SRFB se réserve la possibilité de prélever des échantillons à des fins expérimentales.

Fin de l'expérimentation

En règle générale, l'expérimentation prend fin au terme de la durée inscrite au paragraphe 2 E).

A l'issue de ce délai, l'examen des résultats obtenus peut induire la nécessité de poursuivre l'expérimentation. Dans ce cas, la convention peut être prolongée par tacite reconduction, ou bien une nouvelle convention devra être signée si des modifications substantielles sont à apporter.

Par ailleurs, si au cours de l'expérimentation, pour des raisons diverses (accidents, raisons personnelles) l'expérimentation ne peut être poursuivie, le propriétaire et la SRFB doivent convenir par courrier et d'un commun accord de l'abandon du dispositif (avec si possible un préavis d'un an permettant une dernière mesure).

Cette convention engage les ayants droit, usufruitiers et successeurs du propriétaire ou les nouveaux propriétaires en cas de vente, partage ou division.

Date et signatures précédées de la mention « Lu et approuvé »

Annexe 3. Fiche d'observation pour les suivis de printemps



Projet Arboretums

Fiche d'observation : suivi de plantation

1^{ère} année - Notation de printemps

NOM ET PRENOM DE L'OBSERVATEUR			
CODE CO		DATE D'OBSERVATION	NUMÉRO DE FICHE

LOCALISATION	RELEVÉ AU GPS	OUI / NON ¹	RÉFÉRENTIEL
	X (LONGITUDE)	(EST)	Y (LATITUDE) (NORD)
	CANTONNEMENT/COMMUNE/LIEU-DIT		
	PROPRIÉTÉ	FORÊT DOMAINIALE / AUTRE FORÊT PUBLIQUE / FORÊT PRIVÉE OU AUTRE PROPRIÉTÉ ¹	
	NOM DU PROPRIÉTAIRE		

ESSENCE CONCERNÉE		PROVENANCE CONCERNÉE	
TYPE DE PLANTS	RACINE NUE / GODET / PLANÇON ¹	ECARTEMENT	M x M
PROTECTION	CLÔTURE / PROTECTION INDIVIDUELLE ¹ préciser :		

HISTORIQUE	ANNÉE D'EXPLOITATION		ESSENCE EXPLOITÉE	
	TRAVAUX PRÉPARATOIRES 1		TRAVAUX PRÉPARATOIRES 2	
	MOIS ET ANNÉE DE LA PLANTATION			
	TRAVAUX POST-PLANTATION 1		TRAVAUX POST-PLANTATION 2	

OBSERVATIONS COMPLÉMENTAIRES	TRAVAUX PRÉPARATOIRES	TRAVAUX POST-PLANTATION
	Rémanents : Andainage Incinération Broyage Autre méthode Souches : croc-souche Sol : Sous-solage Labour Travail superficiel Autre travail du sol Herbicide avant plant : Glyphosate Autre herbicide	Phytocide post-plantation : Fusillade forêt Autre phytocide Protection gibier Répulsif gibier Fongicide : Antrex, Antemi Systhane Autre fongicide Insecticide : Forester Autre insecticide SuXon Forest Merit Forest Karaté Forêt Paillage Dégagement : Manuel Mécanique Herbicide

Évaluation de la complétude, de la qualité de la plantation et suivi sanitaire

COMPLÉTUDE	MANQUE < 5% - MANQUE ENTRE 5 ET 15% - MANQUE > 15%
------------	--

		GRAPPE 1										GRAPPE 2										GRAPPE 3										GRAPPE 4										GRAPPE 5										TOTAL
Arbre		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10											
	Verticalité insatisfaisante																																																			
Profondeur plantation	trop hauts																																																			
	trop enfoncés																																																			
Compactage	Excessif																																																			
	Insuffisant																																																			
Espacement	trop espacé																																																			
	trop serré																																																			
Etat	Indemne																																																			
	Atteint																																																			
	Mort																																																			
	Absent																																																			
Dégâts insecte	hylobe (<i>résineux</i>)																																																			
	chenille																																																			
Abroutissement mammifères																																																				
Environnement	gel																																																			
	sécheresse																																																			
Cause inexpliquée abiotique																																																				
Autre																																																				

Annexe 4. Fiche d'observation pour les suivis d'automne



Projet Arboretums Fiche d'observation : suivi de plantation années 2 et suivantes

NOM ET PRENOM DE L'OBSERVATEUR			
DATE D'OBSERVATION		CODE UG	

ESSENCE CONCERNÉE	
-------------------	--

DATE DE DÉBOURREMENT	
----------------------	--

HISTORIQUE	TRAVAUX 1 et ANNÉE		TRAVAUX 2 et ANNÉE	
	TRAVAUX 3 et ANNÉE		TRAVAUX 4 et ANNÉE	

Végétation spontanée

TYPE DE VÉGÉTATION	HERBACÉES	FOUGÈRES	RONCES/FRAMBOISIERS	GENETS	LIGNEUSES
ABSENCE / PRÉSENCE ¹	0 / 1	0 / 1	0 / 1	0 / 1	0 / 1
CONCURRENCE A PLUS DE 2/3 DE LA TIGE	oui / non	oui / non	oui / non	oui / non	oui / non

AUTRES OBSERVATIONS (désignation tiges, éclaircie, état général de la plantation, ...)	
--	--

Dans la fiche de relevé ci-après, on désigne :

- Par « h » la hauteur du plant. Préciser l'unité utilisée (cm ou m). Sauf indication contraire, la hauteur sera arrondie au cm le plus proche. Dès lors que la désignation des tiges d'avenir aura eu lieu et que les éclaircies auront été réalisées, la hauteur ne sera mesurée que sur les 5 plus gros arbres de l'UG, de sorte à obtenir la hauteur dominante.
- Par « d » le diamètre au collet du plant (mesurée à 10cm du sol) dont on précisera l'unité (mm ou cm). Dès que possible, la circonférence sera mesurée à 1m30 et sera arrondie au demi-centimètre le plus proche.

	N° Individu	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
CROISSANCE	Hauteur (cm)																									
	Si Arbre < 130 cm :																									
	Diamètre (mm)																									
	Si Arbre > 130 cm :																									
CONFORMATION	Circonférence (cm)																									
	Inclinaison > 20°																									
	Fourche / Cime multiple																									
	Si circonférence > 20 cm :																									
	Grosse branche (> 3 cm)																									
	Courbe / Sinuosité																									
	Si circonférence > 60 cm :																									
	Branches vivantes																									
	Défauts / Blessures																									
	Sain																									
ETAT SANITAIRE	Atteint																									
	Mort / Absent																									
	Dégâts insectes :																									
	Abroustissement :																									
	Environnement :																									
	Gel																									
	Sécheresse																									
	Cause abiotiques :																									
	Autres / Symptômes :																									

	N° Individu	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	TOTAL
		Hauteur (cm)																									
CROISSANCE	Si Arbre < 130 cm :																										
	Diamètre (mm)																										
	Si Arbre > 130 cm :																										
	Circonférence (cm)																										
CONFORMATION	Indinalison > 20°																										
	Fourche / Cime multiple																										
	Si circonférence > 20 cm :																										
	Grosse branche (> 3 cm)																										
	Courbe / Sinuosité																										
	Si circonférence > 60 cm :																										
	Branches vivantes																										
	Défauts / Blessures																										
ETAT SANITAIRE	Sain																										
	Atteint																										
	Mort / Absent																										
	Dégats insectes :																										
	Abrouitissement :																										
	Environnement :																										
	Gel																										
	Sécheresse																										
	Cause abiotiques :																										
	Autres / Symptômes :																										

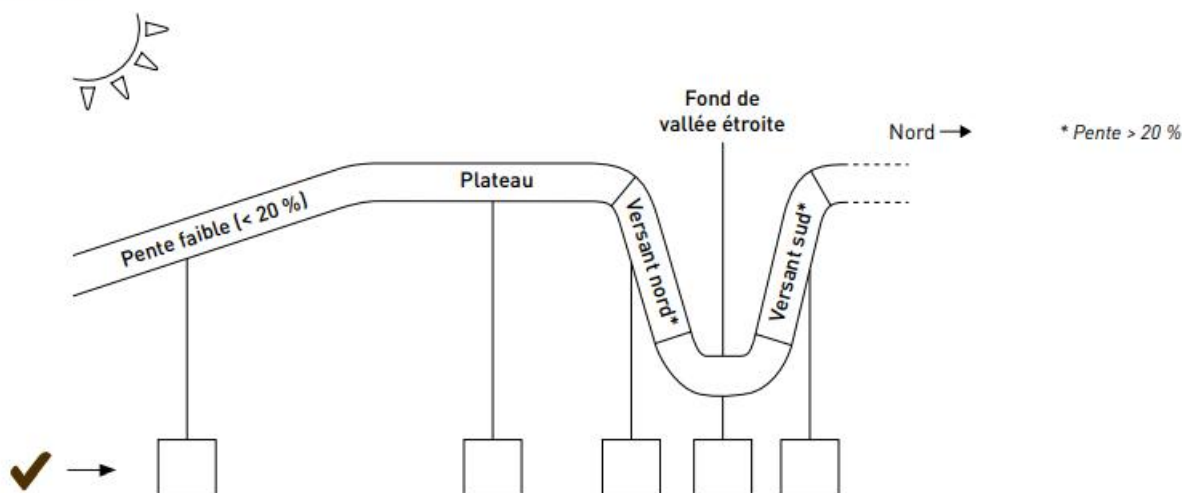
Annexe 5. Fiche de terrain réalisée pour cette étude

Protocole

Zone bioclimatique :

Topographie

Position

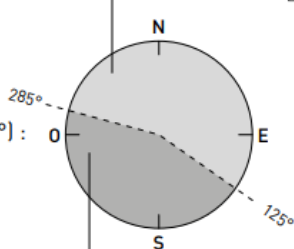


Exposition

• Si pente < 20 % (12°) — **Secteur neutre** ☐

Secteur froid ☐

• Si pente > 20 % (12°) : ☐ **Secteur chaud** ☐



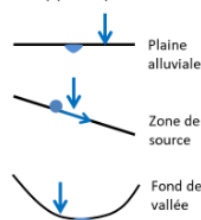
Apports d'eau

☐ **Par les précipitations uniquement**
(plateau, haut de versant, convexité)

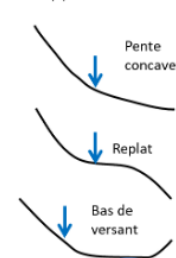
☐ **Apports d'eau variables**
(bas de versant, replat, concavité, axe drainant)

☐ **Alimentation constante**
(fond de vallée, zone de source)

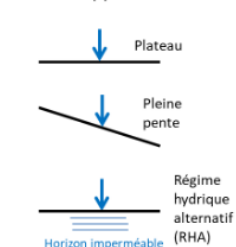
C : apports permanents



B : apports variables



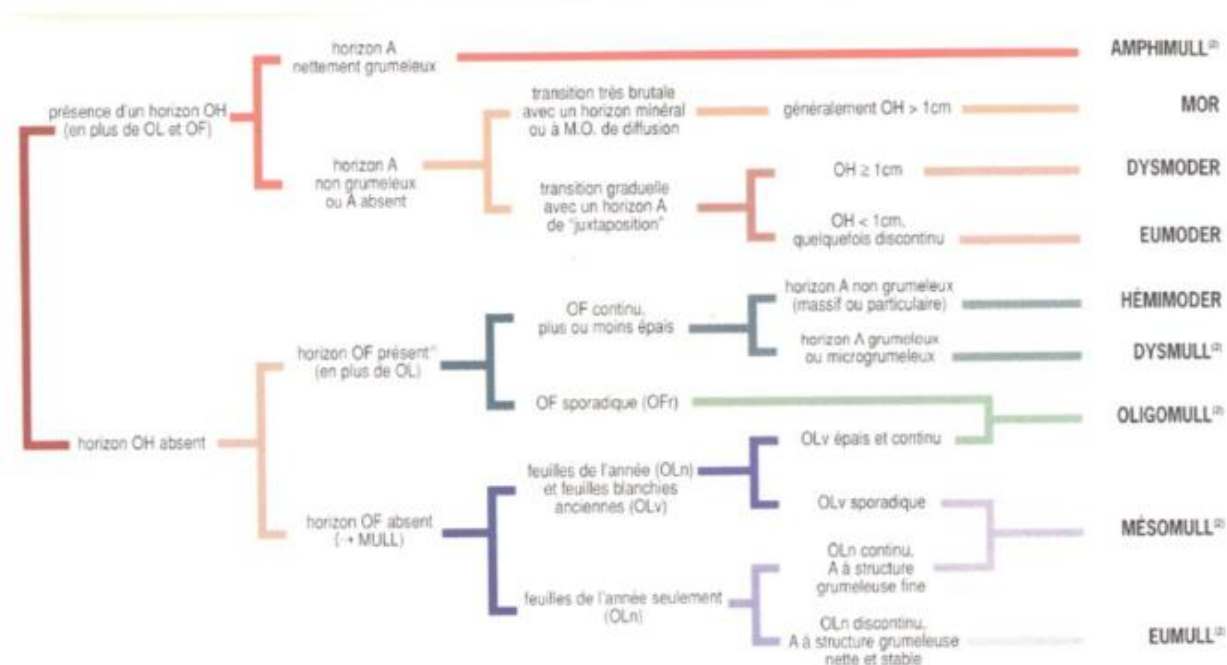
A : sans apport latéral



Sondage n°..... Type de sondage :

Type d'humus :

Clé de détermination des formes d'humus



Code horizon

Hz 1 :

Hz 2 :

Hz 3 :

Hz 4 :

Hz 5 :

Hz 6 :

Epaisseur des horizons :

Hz 1 :

Hz 2 :

Hz 3 :

Hz 4 :

Hz 5 :

Hz 6 :

Pourcentage des éléments grossiers :

Hz 1 :

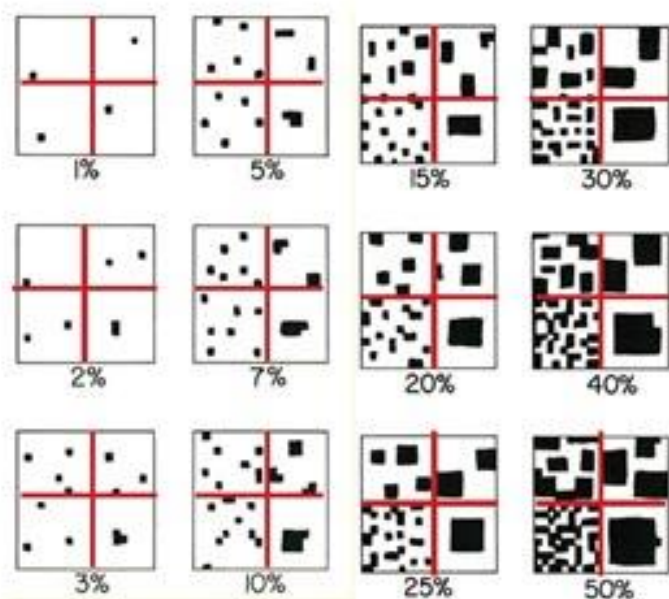
Hz 2 :

Hz 3 :

Hz 4 :

Hz 5 :

Hz 6 :



Grille d'estimation de la pierrosité du sol (d'après
Revised Sandart soil Chart et David Hammonds)

Texture

Plasticité :

Hz 1	0	1	2	3	0	Non plastique : il est impossible de former un boudin de terre
Hz 2	0	1	2	3	1	Peu plastique : il est possible de former un boudin mais il se brise sous son propre poids
Hz 3	0	1	2	3	2	Plastique : il est possible de former un boudin mais il se brise sous faible déformation
Hz 4	0	1	2	3	3	Très plastique : le boudin ne se rompt pas ou très difficilement sous les déformations
Hz 5	0	1	2	3		
Hz 6	0	1	2	3		

Adhésivité :

Hz 1	0	1	2	3	0	Non collant : après la pression, aucune matière n'adhère ni à l'index ni au pouce
Hz 2	0	1	2	3	1	Peu collant : échantillon adhère aux doigts, mais s'en détache sans laisser de trace
Hz 3	0	1	2	3	2	Collant : la terre adhère aux doigts, lorsqu'on écarte les doigts elle tend à s'étirer quelque peu et à se détacher
Hz 4	0	1	2	3	3	Très collant : la terre adhère fortement aux doigts et s'étire nettement lorsqu'on les écarte
Hz 5	0	1	2	3		
Hz 6	0	1	2	3		

Friabilité :

Hz 1	0	1	2	3	0	Non friable : l'échantillon ne s'effrite que sous très forte pression entre pouce et index
Hz 2	0	1	2	3	1	Peu friable : l'échantillon s'effrite que sous assez forte pression entre pouce et index
Hz 3	0	1	2	3	2	Friable : l'échantillon s'effrite facilement entre pouce et index
Hz 4	0	1	2	3	3	Très friable : l'échantillon s'effrite très facilement sous une très légère pression entre le pouce et l'index
Hz 5	0	1	2	3		
Hz 6	0	1	2	3		

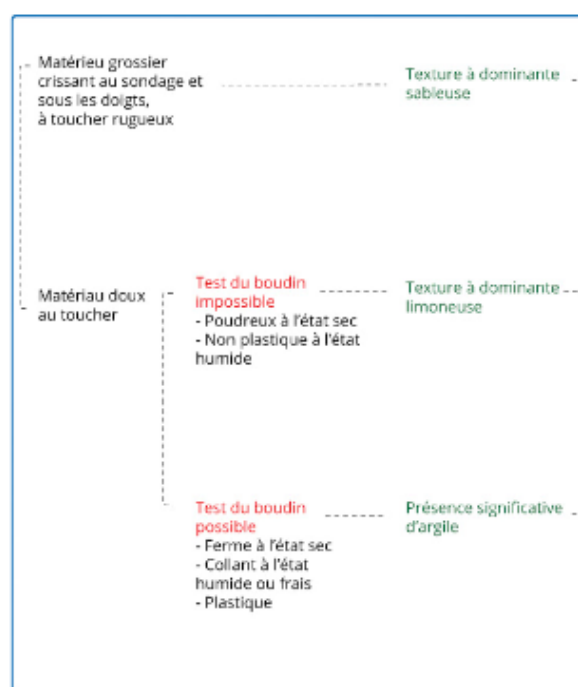
Compacité (à faire sur les horizons disponibles dans la microfosse/fosse) :

Hz 1	1	2	3	4	1	Meuble : le couteau pénètre sans effort, le matériau est non cohérent
Hz 2	1	2	3	4	2	Peu compact : le couteau pénètre avec un léger effort
Hz 3	1	2	3	4	3	Compact : le couteau pénètre incomplètement, même avec un effort important
Hz 4	1	2	3	4		
Hz 5	1	2	3	4		
Hz 6	1	2	3	4	4	Très compact : le couteau ne pénètre que quelques millimètres

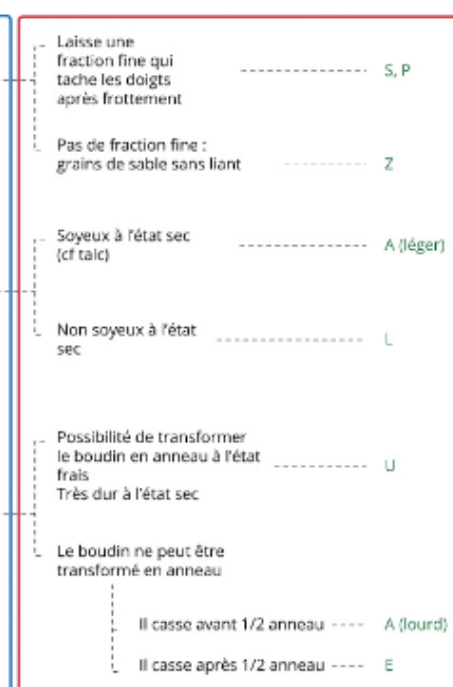
Texture Hz..... :

Texture Hz..... :

Détermination des principaux pôles



Pour affiner le diagnostic



Profondeur du sondage :

Cause de l'arrêt du sondage :

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1- Horizon C atteint ; 2- Horizon M, R ou D atteint ; 3- Nappe atteinte ; 4- Profondeur suffisante atteinte ; 5- Autre contrainte ; 6- Trop sec ; 7- trop fluant ou bouillant ; 8- trop graveleux ou caillouteux ; 9- trop compact ; 10- sur racines.									

Drainage

Profondeur d'apparition du pseudogley : cm

Profondeur d'apparition du gley : cm

Drainage du sol (sols limoneux et argileux)	Type de drainage	Classe	Profondeur (cm)	
			Pseudogley	Gley
Sans pseudogley	Excessif	a*	x	
	Favorable	b	>125	
À pseudogley	Modéré	c	80 - 125	
	Imparfait	d	50 - 80	
	Assez pauvre	h	30 - 50	
	Pauvre	i	0 - 30	
À gley	Assez pauvre	e		> 80
	Pauvre	f		40 - 80
	Très pauvre	g		< 40

* La classe de drainage « a - excessif » est réservée aux situations de drainage interne extrêmes, comme on peut en rencontrer dans les sols sableux.

Nature de la charge caillouteuse :

pH :

Effervescence

Hz 1 :

Hz 1 :

Hz 2 :

Hz 2 :

Hz 3 :

Hz 3 :

Hz 4 :

Hz 4 :

Hz 5 :

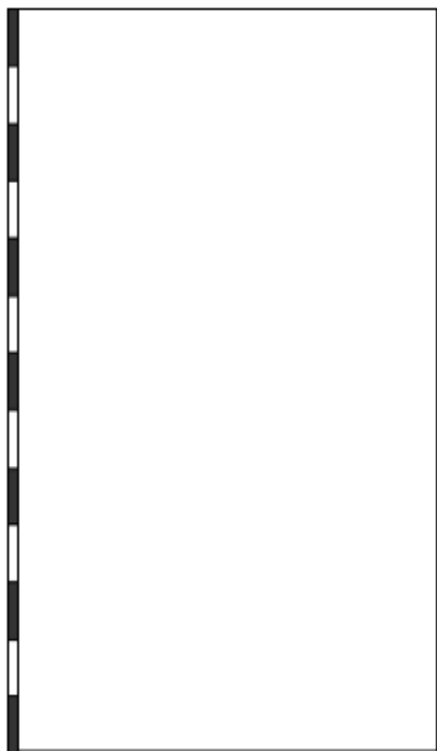
Hz 5 :

Hz 6 :

Hz 6 :

Schéma du profil

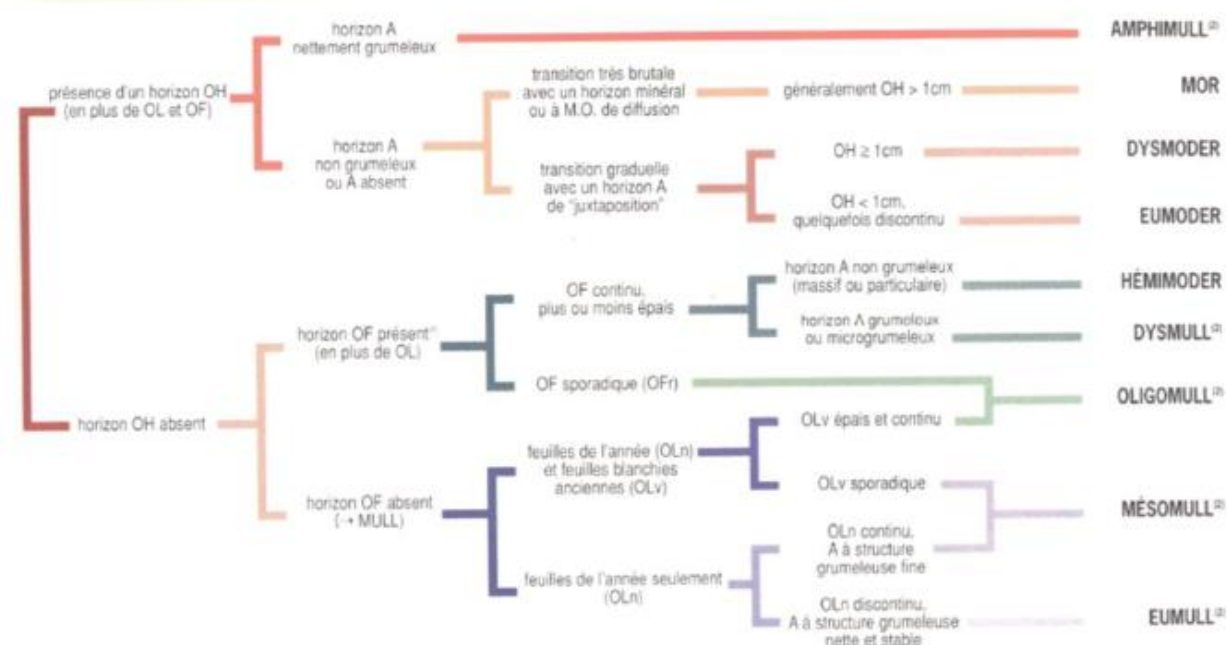
Type de profil :



Sondage n°..... Type de sondage :

Type d'humus :

Clé de détermination des formes d'humus



Code horizon

Hz 1 :

Hz 2 :

Hz 3 :

Hz 4 :

Hz 5 :

Hz 6 :

Epaisseur des horizons :

Hz 1 :

Hz 2 :

Hz 3 :

Hz 4 :

Hz 5 :

Hz 6 :

Pourcentage des éléments grossiers :

Hz 1 :

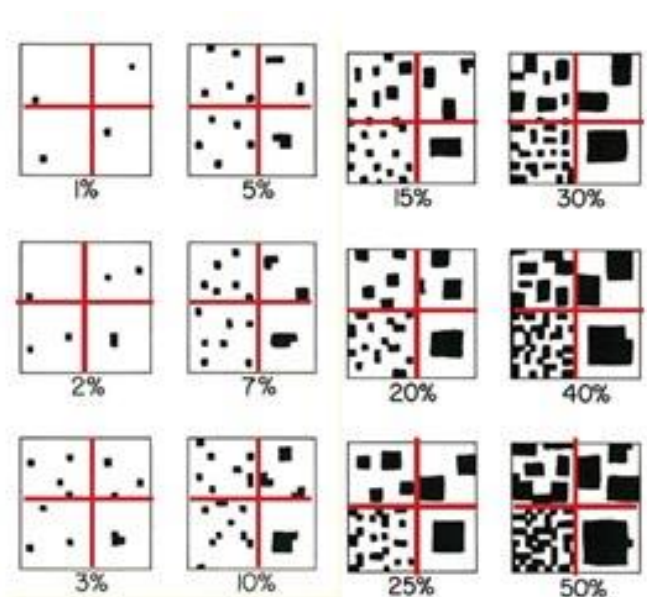
Hz 2 :

Hz 3 :

Hz 4 :

Hz 5 :

Hz 6 :



Grille d'estimation de la pierrosité du sol (d'après
Revised Sandart soil Chart et David Hammonds)

Texture

Plasticité :

Hz 1	0	1	2	3
Hz 2	0	1	2	3
Hz 3	0	1	2	3
Hz 4	0	1	2	3
Hz 5	0	1	2	3
Hz 6	0	1	2	3

0	Non plastique : il est impossible de former un boudin de terre
1	Peu plastique : il est possible de former un boudin mais il se brise sous son propre poids
2	Plastique : il est possible de former un boudin mais il se brise sous faible déformation
3	Très plastique : le boudin ne se rompt pas ou très difficilement sous les déformations

Adhésivité :

Hz 1	0	1	2	3
Hz 2	0	1	2	3
Hz 3	0	1	2	3
Hz 4	0	1	2	3
Hz 5	0	1	2	3
Hz 6	0	1	2	3

0	Non collant : après la pression, aucune matière n'adhère ni à l'index ni au pouce
1	Peu collant : échantillon adhère aux doigts, mais s'en détache sans laisser de trace
2	Collant : la terre adhère aux doigts, lorsqu'on écarte les doigts elle tend à s'étirer quelque peu et à se détacher
3	Très collant : la terre adhère fortement aux doigts et s'étire nettement lorsqu'on les écarte

Friabilité :

Hz 1	0	1	2	3
Hz 2	0	1	2	3
Hz 3	0	1	2	3
Hz 4	0	1	2	3
Hz 5	0	1	2	3
Hz 6	0	1	2	3

0	Non friable : l'échantillon ne s'effrite que sous très forte pression entre pouce et index
1	Peu friable : l'échantillon s'effrite que sous assez forte pression entre pouce et index
2	Friable : l'échantillon s'effrite facilement entre pouce et index
3	Très friable : l'échantillon s'effrite très facilement sous une très légère pression entre le pouce et l'index

Compacité (à faire sur les horizons disponibles dans la microfosse/fosse) :

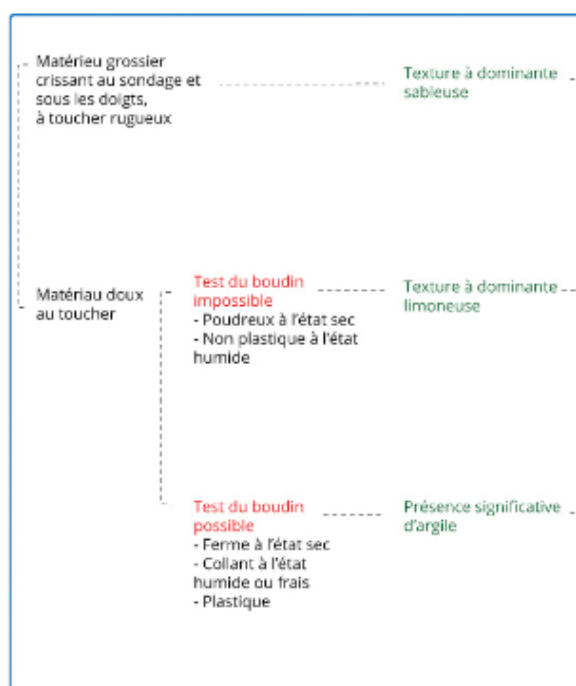
Hz 1	1	2	3	4
Hz 2	1	2	3	4
Hz 3	1	2	3	4
Hz 4	1	2	3	4
Hz 5	1	2	3	4
Hz 6	1	2	3	4

1	Meuble : le couteau pénètre sans effort, le matériau est non cohérent
2	Peu compact : le couteau pénètre avec un léger effort
3	Compact : le couteau pénètre incomplètement, même avec un effort important
4	Très compact : le couteau ne pénètre que quelques millimètres

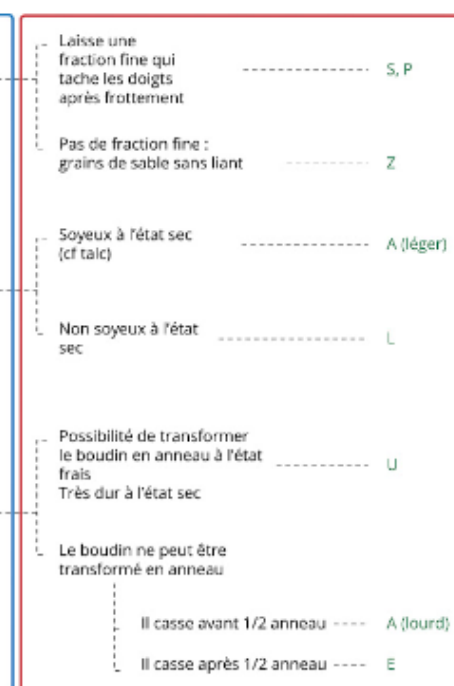
Texture Hz:

Texture Hz..... :.....

Détermination des principaux pôles



Pour affiner le diagnostic



Profondeur du sondage :

Cause de l'arrêt du sondage :

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1- Horizon C atteint ; 2- Horizon M, R ou D atteint ; 3- Nappe atteinte ; 4- Profondeur suffisante atteinte ; 5- Autre contrainte ; 6- Trop sec ; 7- trop fluant ou bouillant ; 8- trop graveleux ou caillouteux ; 9- trop compact ; 10- sur racines.									

Drainage

Profondeur d'apparition du pseudogley : cm

Profondeur d'apparition du gley : cm

Drainage du sol (sols limoneux et argileux)	Type de drainage	Classe	Profondeur (cm)	
			Pseudogley	Gley
Sans pseudogley	Excessif	a*	x	
	Favorable	b	>125	
À pseudogley	Modéré	c	80 - 125	
	Imparfait	d	50 - 80	
	Assez pauvre	h	30 - 50	
	Pauvre	i	0 - 30	
À gley	Assez pauvre	e		> 80
	Pauvre	f		40 - 80
	Très pauvre	g		< 40

* La classe de drainage « a - excessif » est réservée aux situations de drainage interne extrêmes, comme on peut en rencontrer dans les sols sableux.

Nature de la charge caillouteuse :

pH :

Effervescence

Hz 1 :

Hz 1 :

Hz 2 :

Hz 2 :

Hz 3 :

Hz 3 :

Hz 4 :

Hz 4 :

Hz 5 :

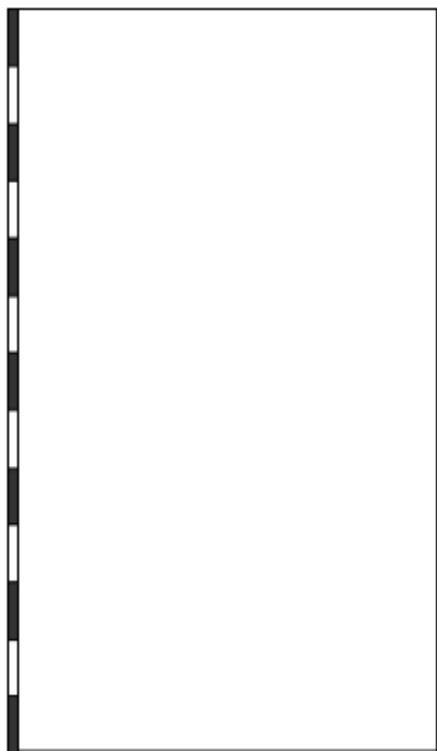
Hz 5 :

Hz 6 :

Hz 6 :

Schéma du profil

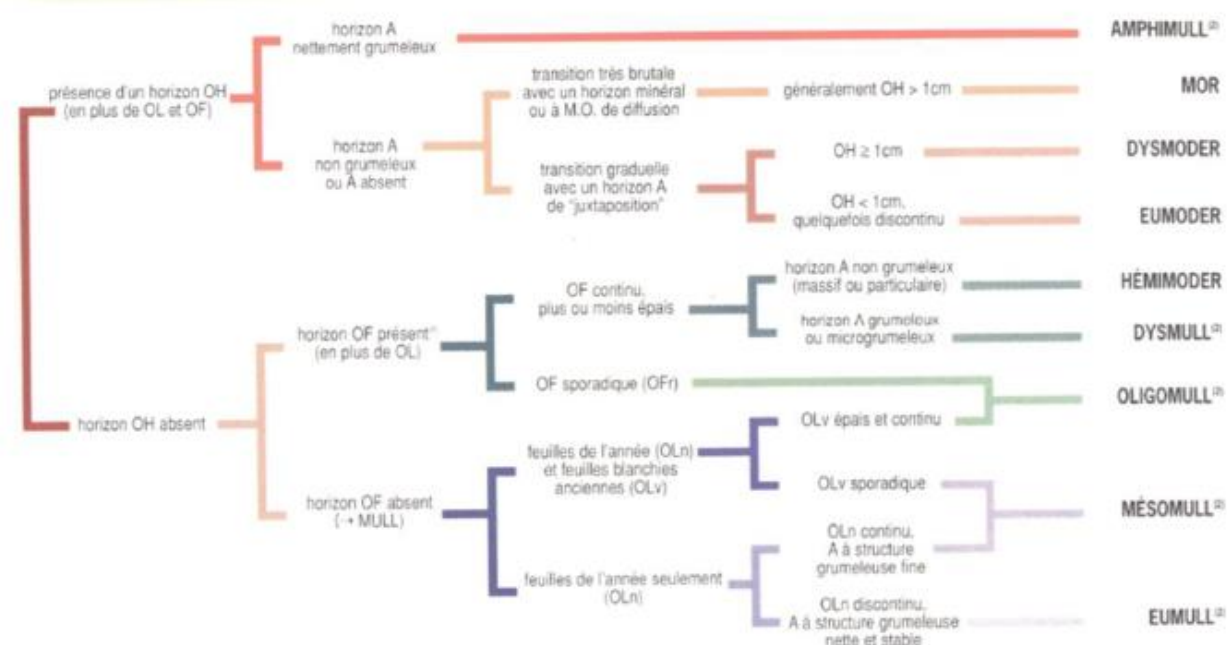
Type de profil :



Sondage n°..... Type de sondage :

Type d'humus :

Clé de détermination des formes d'humus



Code horizon

Hz 1 :

Hz 2 :

Hz 3 :

Hz 4 :

Hz 5 :

Hz 6 :

Epaisseur des horizons :

Hz 1 :

Hz 2 :

Hz 3 :

Hz 4 :

Hz 5 :

Hz 6 :

Pourcentage des éléments grossiers :

Hz 1 :

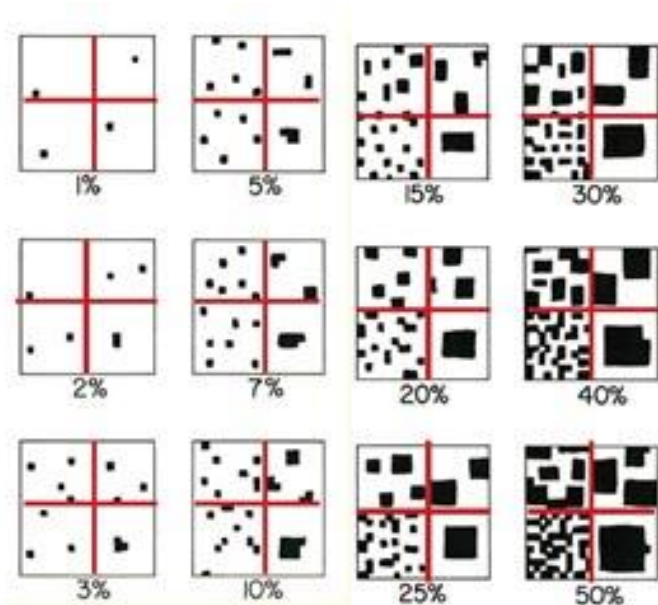
Hz 2 :

Hz 3 :

Hz 4 :

Hz 5 :

Hz 6 :



Grille d'estimation de la pierrosité du sol (d'après
Revised Sandart soil Chart et David Hammonds)

Texture

Plasticité :

Hz 1	0	1	2	3
Hz 2	0	1	2	3
Hz 3	0	1	2	3
Hz 4	0	1	2	3
Hz 5	0	1	2	3
Hz 6	0	1	2	3

0	Non plastique : il est impossible de former un boudin de terre
1	Peu plastique : il est possible de former un boudin mais il se brise sous son propre poids
2	Plastique : il est possible de former un boudin mais il se brise sous faible déformation
3	Très plastique : le boudin ne se rompt pas ou très difficilement sous les déformations

Adhésivité :

Hz 1	0	1	2	3
Hz 2	0	1	2	3
Hz 3	0	1	2	3
Hz 4	0	1	2	3
Hz 5	0	1	2	3
Hz 6	0	1	2	3

0	Non collant : après la pression, aucune matière n'adhère ni à l'index ni au pouce
1	Peu collant : échantillon adhère aux doigts, mais s'en détache sans laisser de trace
2	Collant : la terre adhère aux doigts, lorsqu'on écarte les doigts elle tend à s'étirer quelque peu et à se détacher
3	Très collant : la terre adhère fortement aux doigts et s'étire nettement lorsqu'on les écarte

Friabilité :

Hz 1	0	1	2	3
Hz 2	0	1	2	3
Hz 3	0	1	2	3
Hz 4	0	1	2	3
Hz 5	0	1	2	3
Hz 6	0	1	2	3

0	Non friable : l'échantillon ne s'effrite que sous très forte pression entre pouce et index
1	Peu friable : l'échantillon s'effrite que sous assez forte pression entre pouce et index
2	Friable : l'échantillon s'effrite facilement entre pouce et index
3	Très friable : l'échantillon s'effrite très facilement sous une très légère pression entre le pouce et l'index

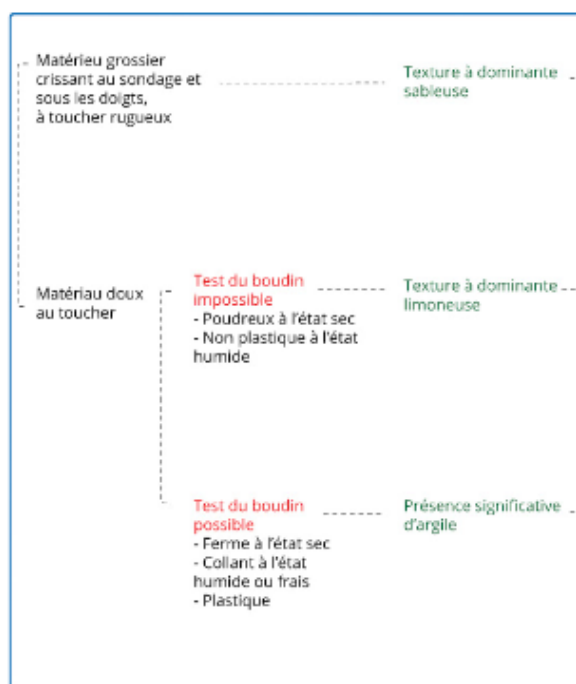
Compacité (à faire sur les horizons disponibles dans la microfosse/fosse) :

Hz 1	1	2	3	4	1	Meuble : le couteau pénètre sans effort, le matériau est non cohérent
Hz 2	1	2	3	4	2	Peu compact : le couteau pénètre avec un léger effort
Hz 3	1	2	3	4	3	Compact : le couteau pénètre incomplètement, même avec un effort important
Hz 4	1	2	3	4		
Hz 5	1	2	3	4		
Hz 6	1	2	3	4	4	Très compact : le couteau ne pénètre que quelques millimètres

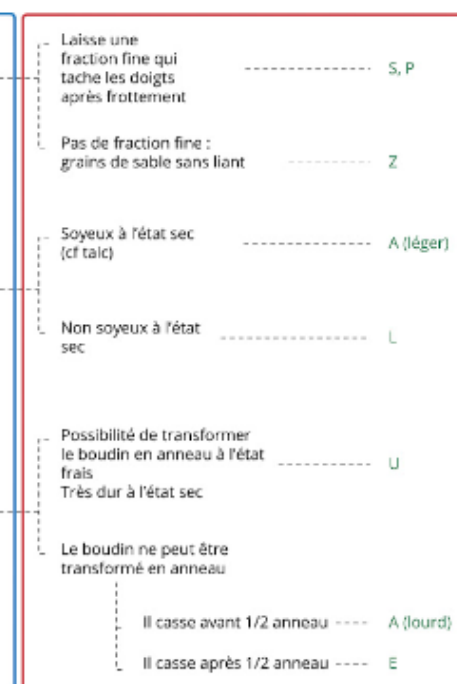
Texture Hz..... :

Texture Hz..... :

Détermination des principaux pôles



Pour affiner le diagnostic



Profondeur du sondage :

Cause de l'arrêt du sondage :

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1- Horizon C atteint ; 2- Horizon M, R ou D atteint ; 3- Nappe atteinte ; 4- Profondeur suffisante atteinte ; 5- Autre contrainte ; 6- Trop sec ; 7- trop fluant ou bouillant ; 8- trop graveleux ou caillouteux ; 9- trop compact ; 10- sur racines.									

Drainage

Profondeur d'apparition du pseudogley : cm

Profondeur d'apparition du gley : cm

Drainage du sol (sols limoneux et argileux)	Type de drainage	Classe	Profondeur (cm)	
			Pseudogley	Gley
Sans pseudogley	Excessif	a*	x	
	Favorable	b	>125	
À pseudogley	Modéré	c	80 - 125	
	Imparfait	d	50 - 80	
	Assez pauvre	h	30 - 50	
	Pauvre	i	0 - 30	
À gley	Assez pauvre	e		> 80
	Pauvre	f		40 - 80
	Très pauvre	g		< 40

* La classe de drainage « a - excessif » est réservée aux situations de drainage interne extrêmes, comme on peut en rencontrer dans les sols sableux.

Nature de la charge caillouteuse :

pH :

Hz 3 :

Hz 1 :

Hz 4 :

Hz 2 :

Hz 5 :

Hz 3 :

Hz 6 :

Hz 4 :

Hz 5 :

Hz 6 :

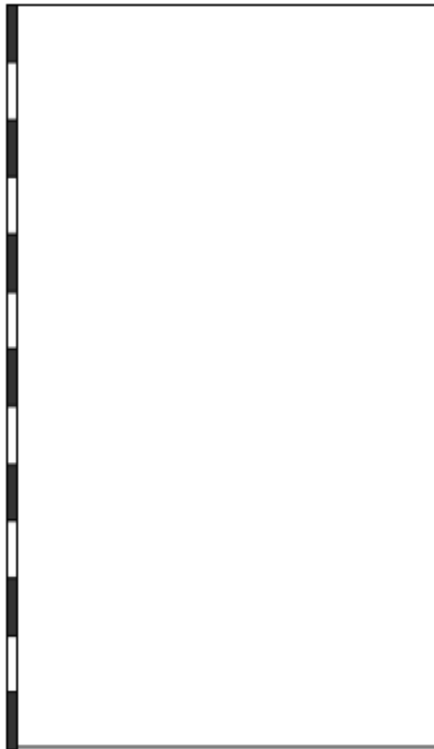
Effervescence

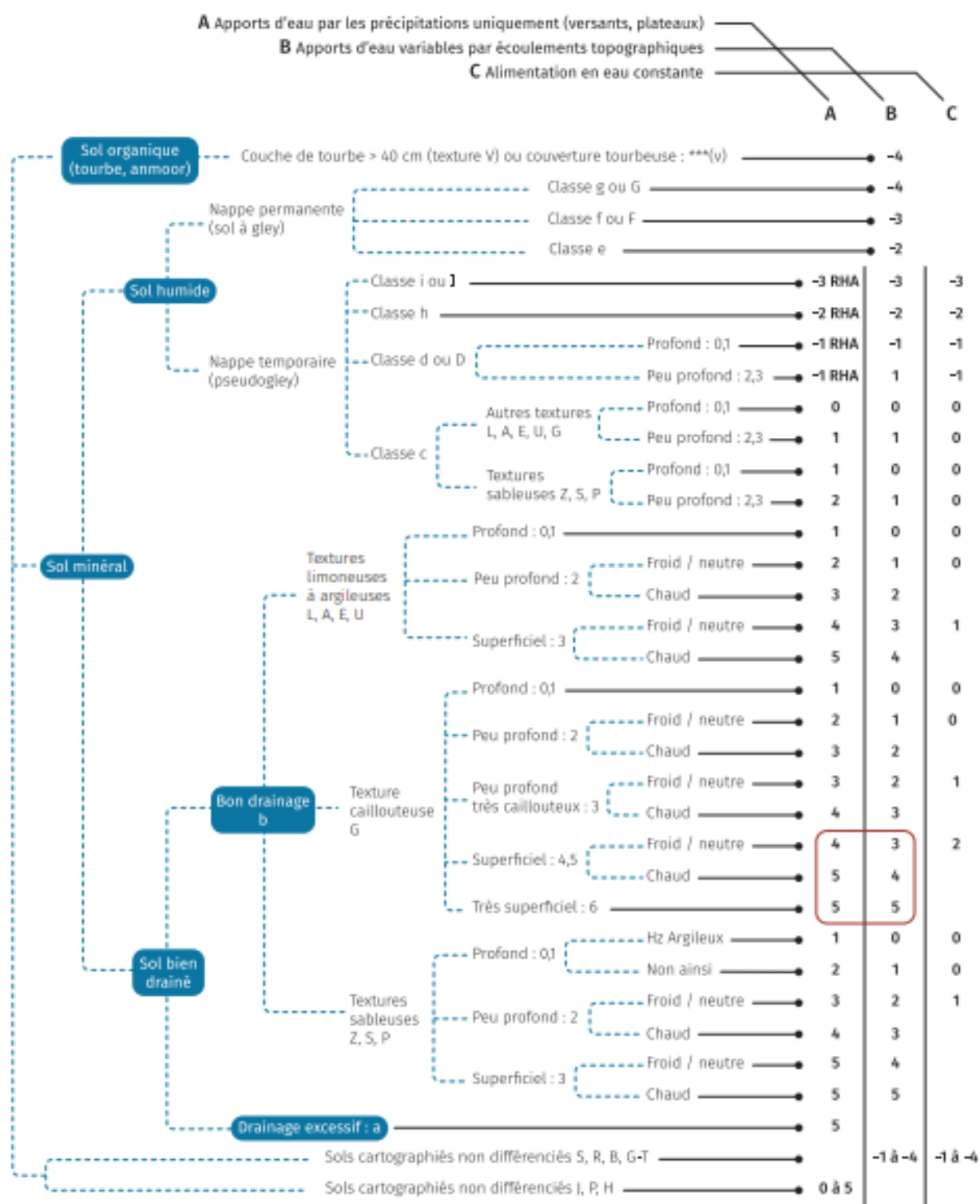
Hz 1 :

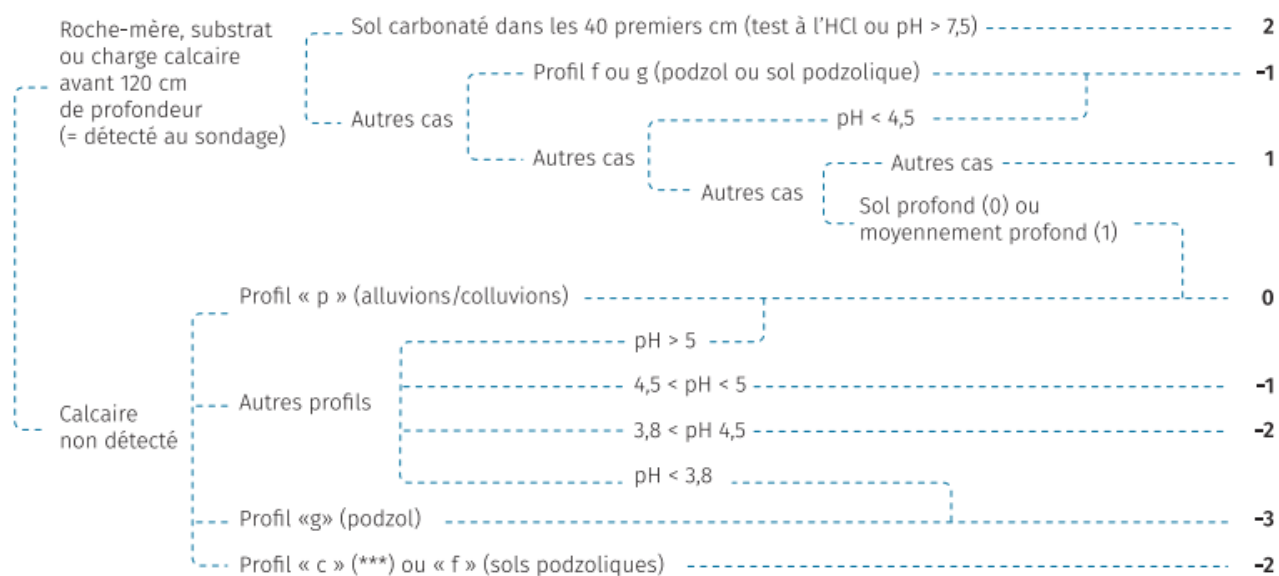
Hz 2 :

Schéma du profil

Type de profil :

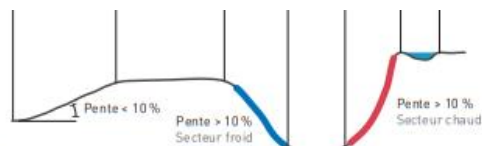






STATION : DATE :

- ☒ Présence discrète (< 5 %) ☒ Présence significative (5-25 %)
☒ Abondance [25-50 %] ☒ Dominance (> 50 %) ☒ Présence dans les ornières



		Niveau trophique											
		+ pauvre						+ riche					
		-3	-2	-1	0	1	2						
Niveau hydrique	+ sec					Atisier terminal ☐ Atisier terminal ☐ Alouchier ☐ Phalangère à fleurs de lis ☐ Silène penché		Hellébore fétide ☐ Buis ☐ Chêne pubescent ☐ Cornouiller mâle ☐ Dompthe venin ☐ Hélibore fétide ☐ Laiche basse ☐ Laurier des bois ☐ Nerprun purgatif ☐ Rosier pimprenelle ☐ Sceau de Salomon odorant ☐ Sésélière ☐ Troène commun ☐ Violette hérissée ☐ Viome lantane					
	4												
	3	Myrtille commune ☐ Callune ☐ Canche flexueuse ☐ Dicrane en balais ☐ Gaillet du Harz ☐ Laiche à pilules ☐ Leucobryum glauque ☐ Luzule multiflore ☐ Myrtille commune				Aspérule odorante ☐ Aspérule odorante ☐ Aubépine à deux styles ☐ Bois-joli ☐ Campanule gantelée ☐ Cornouiller sanguin ☐ Eglantier commun ☐ Érable champêtre ☐ Érable plane ☐ Fusain d'Europe ☐ Grosellier à maquereau ☐ Laitue des murailles ☐ Listère ovale ☐ Mélique uniflore ☐ Millepertuis hérissé ☐ Némotte nid-d'oiseau ☐ Orme champêtre ☐ Raiponce en épi ☐ Rosier des champs ☐ Sanicle ☐ Scille à deux feuilles ☐ Valériane officinale des collines		Laiche digitée ☐ Ancoïte vulgaire ☐ Belladonne ☐ Camérisier ☐ Céphalanthères ☐ Clématite des haies ☐ Digitale jaune ☐ Laiche des montagnes ☐ Laiche digitée ☐ Mélisse penchée ☐ Mercuriale vivace ☐ Orchis mâle ☐ Origan ☐ Primèvere officinale ☐ Pulmonaire des montagnes ☐ Ronce des rochers ☐ Tilleul à grandes feuilles					
	2	Germandrée scorodaine ☐ Agrostide capillaire ☐ Bourdaine ☐ Calamagrostide des bois ☐ Epervière de Savoie ☐ Epervière en ombelle ☐ Fougère odorante ☐ Fougère aigle ☐ Germandrée scorodaine ☐ Gesse des montagnes ☐ Houlique molle ☐ Houx ☐ Luzule blanche ☐ Maianthemum à deux feuilles ☐ Millepertuis couché ☐ Millepertuis élégant ☐ Néflier ☐ Polytrichum élégant ☐ Sceau de Salomon à feuilles verticillées		Violette de Rivin ☐ Luzule poilue ☐ Pâturin montagnard ☐ Potentille faux-fraisier ☐ Stellaire holostée ☐ Violette de Rivin		Lamier jaune ☐ Brachypode des bois ☐ Dactyle commun ☐ Epipactis helleborine ☐ Euphorbe des bois ☐ Fraisier des bois ☐ Jacinthe des bois ☐ Laiche des bois ☐ Lamier jaune ☐ Lampsane commune ☐ Merisier ☐ Véronique petit chêne ☐ Vesce des haies ☐ Violette de Reichenbach							
	1	Épilobe en épi ☐ Digitale pourpre ☐ Epilobe en épi ☐ Genêt à balais ☐ Seneçon de Fuchs ☐ Seneçon des bois ☐ Sureau à grappes		Fétuque des bois ☐ Fétuque des bois Anémone sylvie ☐ Anémone sylvie ☐ Atrichie ondulée ☐ Charme ☐ Epilobe des montagnes ☐ Erable sycomore ☐ Fougère mâle ☐ Millet des bois ☐ Noisetier ☐ Pâturin des bois ☐ Petite pervenche ☐ Raiponce bleue ☐ Sceau Salomon multiflore ☐ Scrofalaire noueuse		Polystichum à aiguillons ☐ Orme de montagne ☐ Polystichum à aiguillons		Goutte tacheté ☐ Goutte tacheté ☐ Ornithogale des Pyrénées ☐ Parisette ☐ Renoncule tête d'or					
0					Benoîte commune ☐ Benoîte commune ☐ Compagnon rouge ☐ Galéopsis tétrahit ☐ Géranium herbe à Robert ☐ Meringie trinervie ☐ Myosotis des forêts ☐ Sureau noir ☐ Véronique à feuilles de lierre		Ortie dioïque ☐ Alliaire ☐ Bardane des bois ☐ Berce commune ☐ Cerfeuil penché ☐ Cerfeuil sauvage ☐ Consoude officinale ☐ Gaillet gratteron ☐ Lierre terrestre ☐ Ortie dioïque ☐ Podagraire						
-1	Dryopteris ☐ Bouleau pubescent ☐ Dryopteris des chartroux ☐ Dryopteris dilatée ☐ Laiche pâle		Fougère femelle ☐ Canche cespitueuse ☐ Cardamine des bois ☐ Fougère femelle ☐ Glycérie flottante ☐ Juncus aggloméré ☐ Juncus éparé ☐ Laiche espacée ☐ Lysimachie des bois ☐ Oxalis petite oreille ☐ Renoncule flamette ☐ Renouée poivre d'eau		Circée de Paris ☐ Bugle rampante ☐ Cardamine des prés ☐ Circée de Paris ☐ Colchique d'automne ☐ Épiaire des bois ☐ Myosotis des forêts ☐ Pâturin commun ☐ Véronique des montagnes		Ficaire fausse renoncule ☐ Ficaire fausse renoncule ☐ Frêne ☐ Moscatelline ☐ Primèvere élevée ☐ Pulmonaire à fleurs sombres						
-2	Molinie ☐ Blechnum en épi ☐ Luzule des bois ☐ Molinie ☐ Polystichum des montagnes ☐ Trientalis				Stellaire des bois ☐ Balsamine des bois ☐ Dorine à feuilles alternes ☐ Fétuque géante ☐ Pétaïte officinale ☐ Renouée bistorte ☐ Saule blanc ☐ Stellaire des bois		Ail des ours ☐ Ail des ours ☐ Anémone fausse-renoncule ☐ Benoîte des ruisseaux ☐ Corydalis solide ☐ Gage des bois ☐ Hélibore vert ☐ Lathraie écaillée						
-3			Reine des prés ☐ Agrostide stolonifère ☐ Angélique sauvage ☐ Aulne glutineux ☐ Chiendent canin ☐ Menthe (sauf aquatique) ☐ Reine des prés ☐ Renoncule rampante ☐ Thuidie à feuilles de tamaris ☐ Valériane officinale à rojets				Cardère velue ☐ Aconit tue-loup ☐ Cardère velue ☐ Houblon ☐ Orme lisse ☐ Ronce bleue						
-4	Sphaignes ☐ Juncus à tépales aigus ☐ Myrtille de loup ☐ Osmonde ☐ Polytrichum des marais ☐ Saule à oreillettes ☐ Scutellaire naine ☐ Sphaignes ☐ Violette des marais		Cirse des marais ☐ Agrostide des chiens ☐ Cirse des marais ☐ Crépis des marais ☐ Epilobe des marais ☐ Gaillet des fanges ☐ Gaillet des marais ☐ Laiche lisse ☐ Lotier des fanges ☐ Prêle des forêts ☐ Scirpe des bois ☐ Valériane dioïque		Populaire des marais ☐ Populaire des marais ☐ Baldingère ☐ Épiaire des marais ☐ Iris jaune ☐ Laiche allongée ☐ Lycopode ☐ Lysimachie commune ☐ Scutellaire toquée		Laiche des marais ☐ Lisier des haies ☐ Laiche des marais ☐ Laiche paniculée ☐ Laiche pendante ☐ Morelle douce-amère ☐ Salicaire commune ☐ Scrofalaire aquatique						
		Sphaignes ☐ Juncus à tépales aigus ☐ Myrtille de loup ☐ Osmonde ☐ Polytrichum des marais ☐ Saule à oreillettes ☐ Scutellaire naine ☐ Sphaignes ☐ Violette des marais		Cirse des marais ☐ Agrostide des chiens ☐ Cirse des marais ☐ Crépis des marais ☐ Epilobe des marais ☐ Gaillet des fanges ☐ Gaillet des marais ☐ Laiche lisse ☐ Lotier des fanges ☐ Prêle des forêts ☐ Scirpe des bois ☐ Valériane dioïque		Dorine à feuilles opposées ☐ Cardamine amère ☐ Dorine à feuilles opposées ☐ Menthe aquatique ☐ Myosotis des marais ☐ Stellaire des fanges		Grande prêle ☐ Grande prêle					
		HYPER-ACIDIPHILE		ACIDIPHILE		NEUTRO-ACIDICLINE		NEUTROCLINE		NEUTROPHILE		CALCARICOLE	

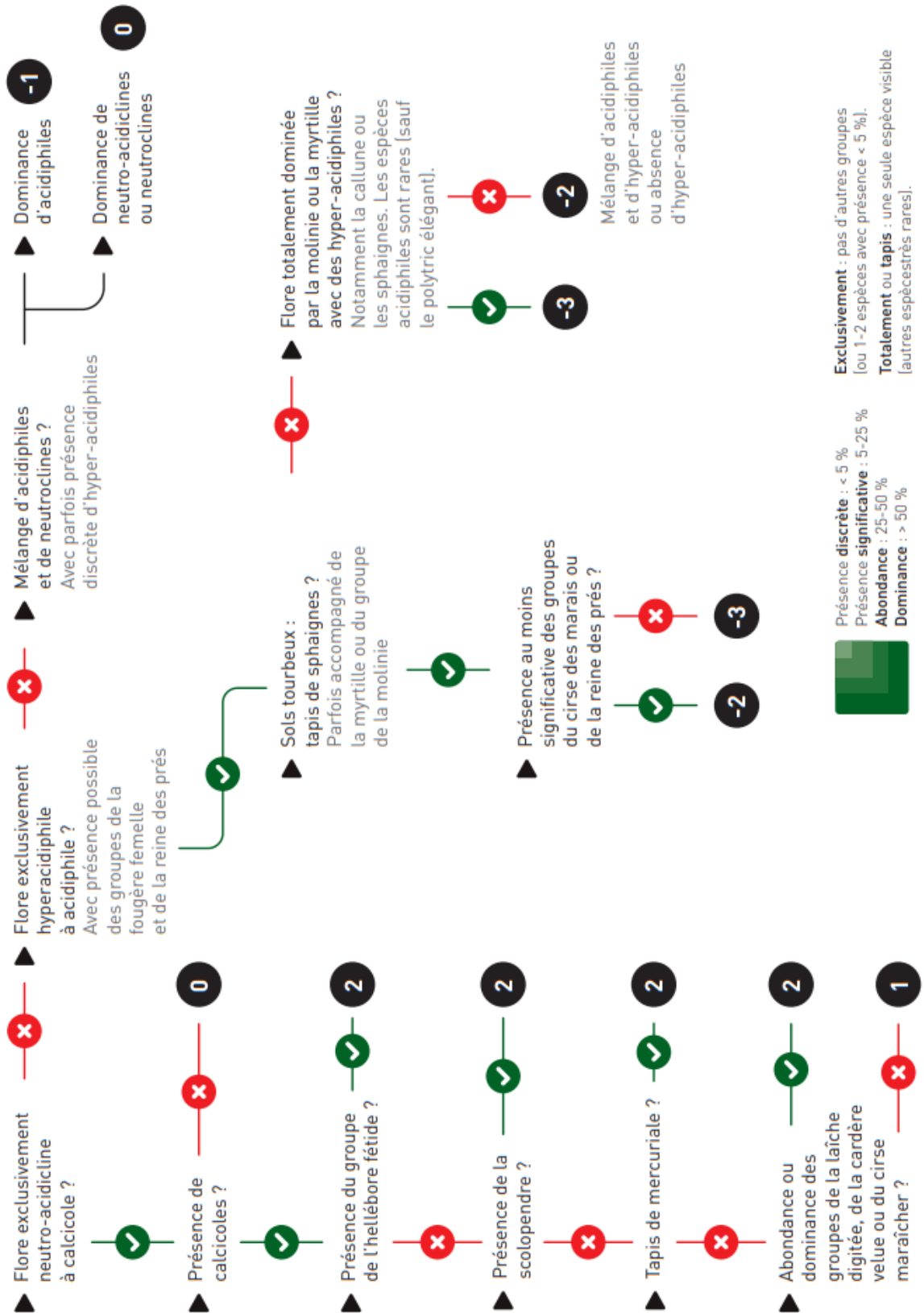
- ① Espèce fidèle seulement au niveau trophique
 ② Espèce fidèle seulement au niveau hydrique

- Nitrophiles
 ● Hygroscaphiles
 ● Alluviales
 ● Paludicoles
 ● Rhéophiles

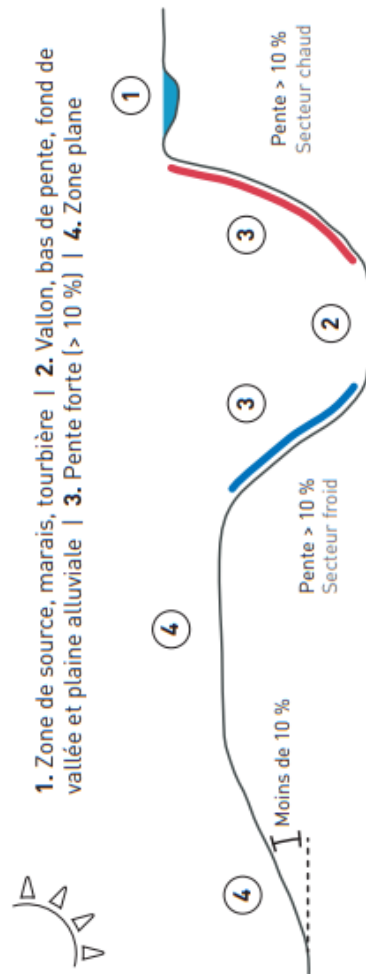
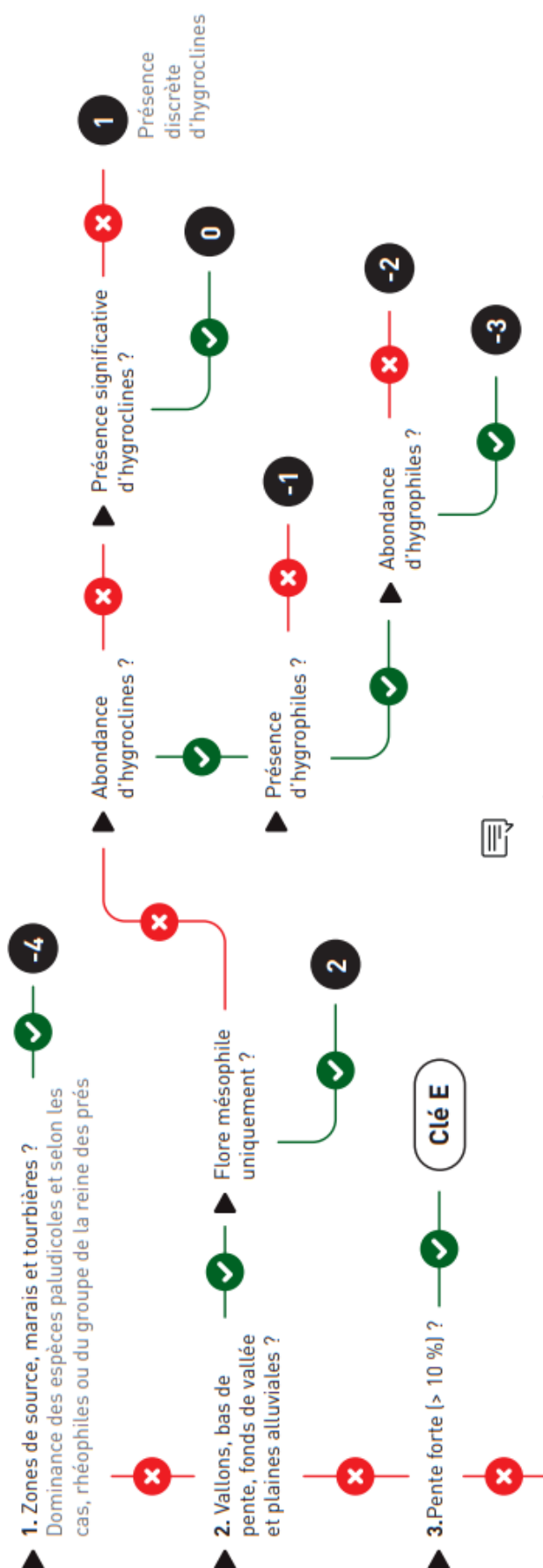
En italique : bonne indicatrice mais rare ou difficile à reconnaître
 * Favorisée par le tassement de sol
 ** Typique des ornières humides

Clés floristiques de détermination des niveaux hydrique et trophique d'une station forestière

CLÉ TROPHIQUE FLORISTIQUE



CLÉ HYDRIQUE FLORISTIQUE



Contexte des plateaux ardennais	Clé A
Contexte argilo-schisteux famennien (dépression et tennes argilo-schisteuses)	Clé B
Contexte des plateaux et tennes calcaires de Caléstienne	Clé C
Autres contextes	Clé D

Présence **discrète** : < 5 %
 Présence **significative** : 5-25 %
 Abondance : 25-50 %
 Dominance : > 50 %

Exclusivement : pas d'autres groupes
 (ou 1-2 espèces avec présence < 5 %).
Totalement ou tapis : une seule espèce visible
 (autres espèces très rares).

CLÉ HYDRIQUE FLORISTIQUE - CLÉ A : ZONES PLANES - CONTEXTE DES PLATEAUX ARDENNAIS



Souvent, explosion de jonc épars, canche cespiteuse, laïche espacée dans les zones tassées et les ornières

► Abondance ou dominance d'hygroclines ?
Présentes en plages, particulièrement de touradons de molinie ou de canche cespiteuse

► Présence discrète d'hygroclines, principalement : les Dryopterides, la grande fétuque et la Surelle (Oxalis)

La molinie est indicatrice d'humidité lorsqu'elle forme des touradons. Sinon, elle indique uniquement l'hyper-acidité (podzols et sols podzoliques, sols très pauvres des hauts plateaux d'Ardenne).

► Présence d'hygrophiles ?
Groupes des sphaignes, du cirse des marais et en particulier : le polytrich des marais (en « boules »), les sphaignes (microreliefs, drains) et la luzule des bois (plages)

► Caractère humide prédominant

Présence **discrète** : < 5 %
Présence **significative** : 5-25 %
Abondance : 25-50 %
Dominance : > 50 %

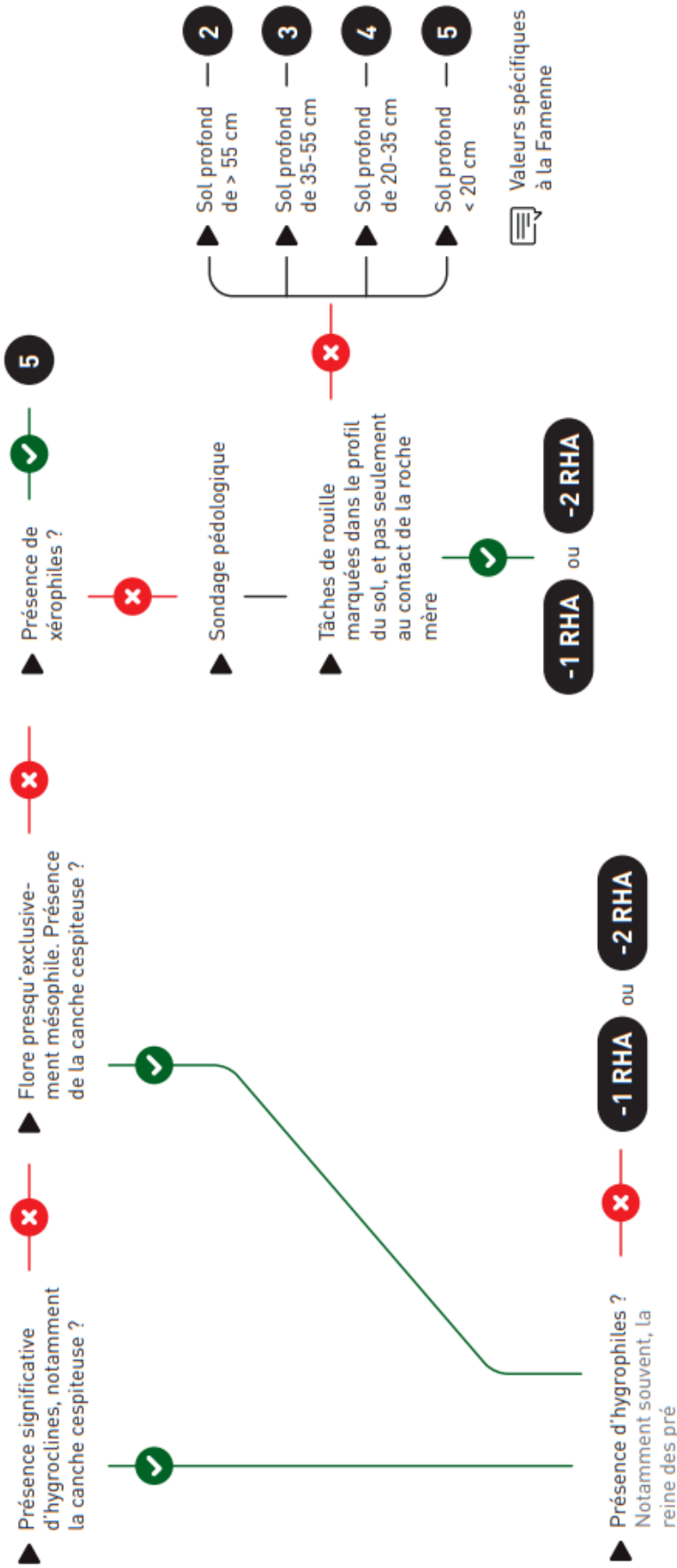
Exclusivement : pas d'autres groupes (ou 1-2 espèces avec présence < 5 %).
Totalement ou **tapis** : une seule espèce visible (autres espèces très rares).

Présence **discrète** : < 5 %
 Présence **significative** : 5-25 %
Abondance : 25-50 %
Dominance : > 50 %

Exclusivement : pas d'autres groupes
 (ou 1-2 espèces avec présence < 5 %).
Totalement ou **tapis** : une seule espèce visible
 (autres espèces très rares).

CLÉ **HYDRIQUE** FLORISTIQUE

CLÉ **B** : ZONES PLANES - CONTEXTE ARGILO-SCHISTEUX FAMENNIEN (DÉPRESSIONS ET TIENNES ARGILO-SCHISTEUSES)



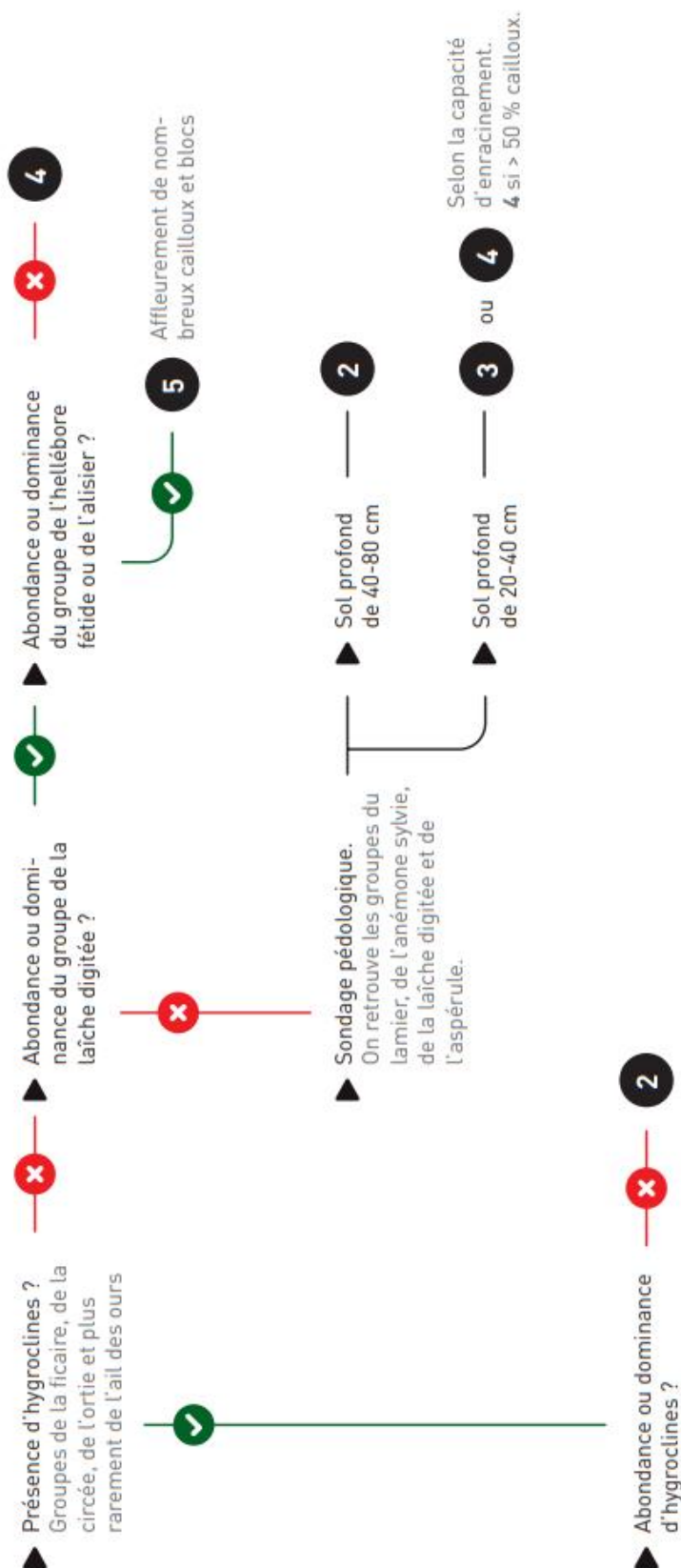
Le régime hydrique alternatif perturbe le diagnostic floristique : l'humidité du printemps favorise certaines espèces alors que la sécheresse estivale en favorise d'autres et toutes coexistent sur la station.

En dehors des zones de tassement, une attention particulière doit être apportée à la **canche cespiteuse**, même lorsqu'elle est discrète, car elle est bonne indicatrice de la présence d'une nappe d'eau.

CLÉ **HYDRIQUE** FLORISTIQUE

CLÉ **C** : ZONES PLANES - CONTEXTE DES PLATEAUX ET TIENNES CALCAIRES DE CALESTIENNE

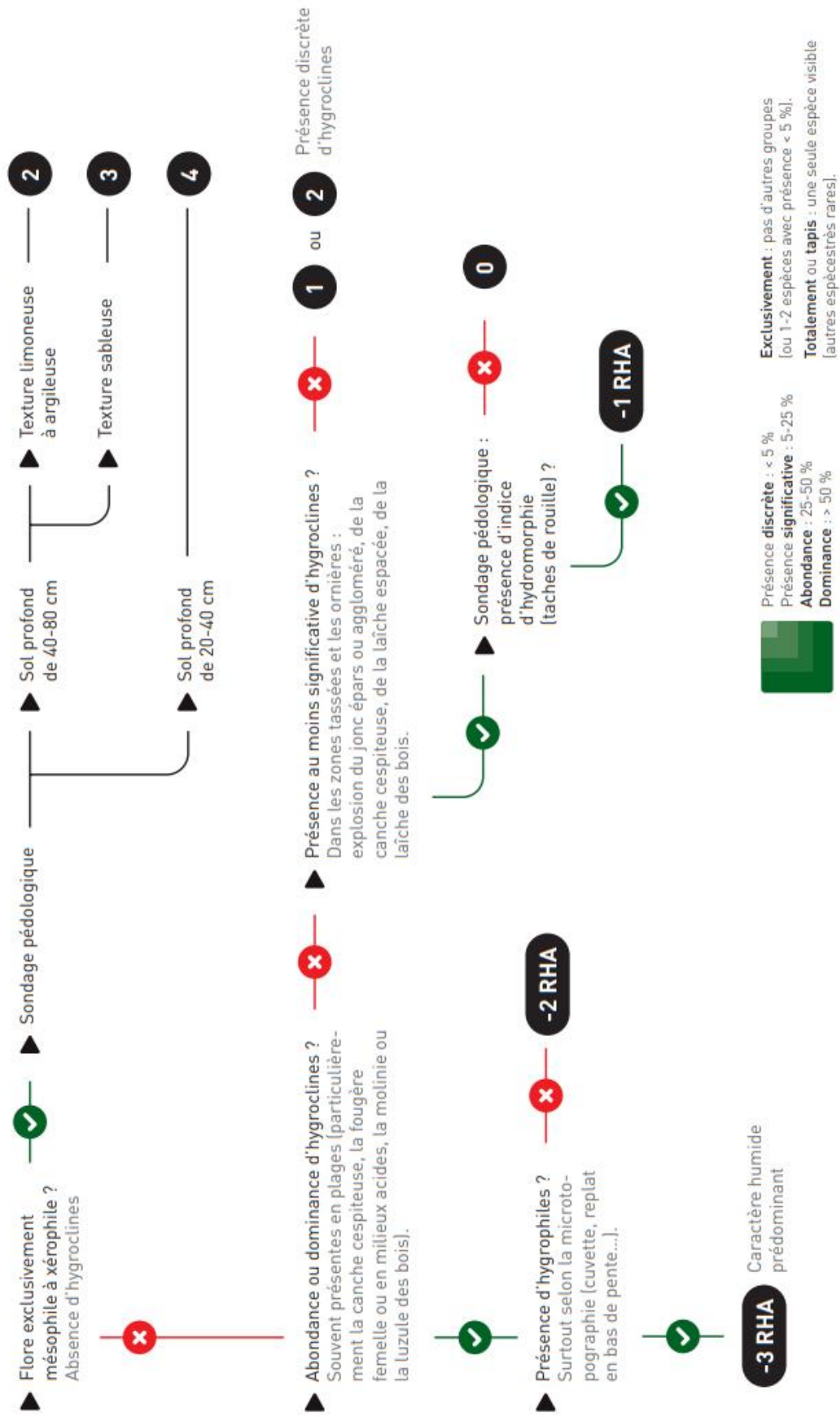
Abondance des groupes de l'anémone, du lamier jaune et de l'aspérule (dans le cas contraire, se référer à la clé des autres contextes : clé D).

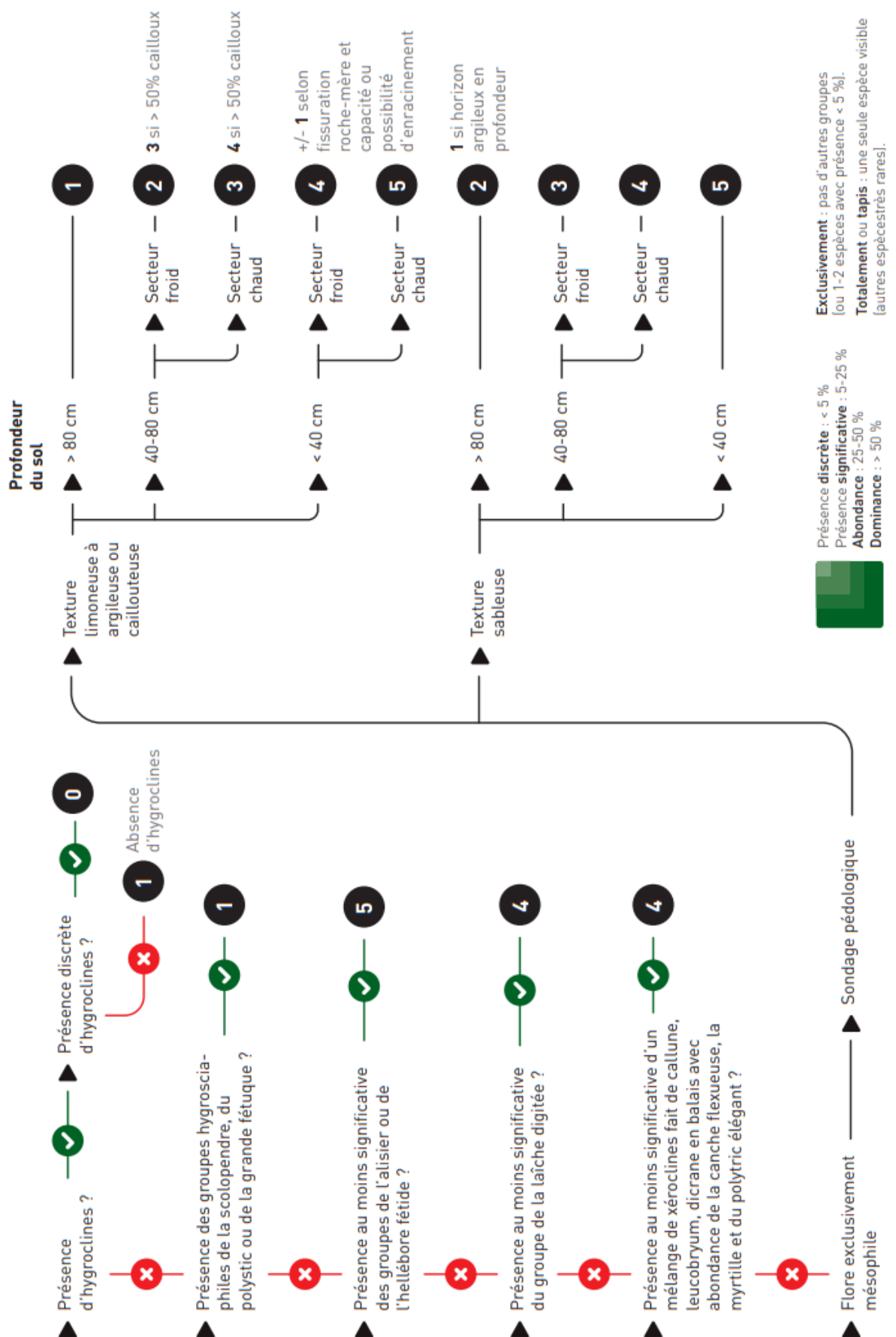


Présence **discrète** : < 5 %
Présence **significative** : 5-25 %
Abondance : 25-50 %
Dominance : > 50 %

Exclusivement : pas d'autres groupes (ou 1-2 espèces avec présence < 5 %).
Totalement ou tapis : une seule espèce visible (autres espèces très rares).

CLÉ HYDRIQUE FLORISTIQUE - CLÉ D : ZONES PLANES - AUTRES CONTEXTES



CLÉ **HYDRIQUE** FLORISTIQUE - CLÉ **E** : PENTE FORTE (> 10 %)

Annexe 6. Fiches d'adéquation essences-station

Arboretum	Bergeval
Zone bioclimatique	Ardenne centro-orientale
Topographie	Versant nord
Exposition	Froide
Apport d'eau	Par les précipitations uniquement
Type de sol	Ebbr2
Réserve utile moyenne	Sondage: 79,7 mm Extrapolation 1m: 119,3 mm
Niveau hydrique	2
Niveau trophique	-2

Humus	Dysmoder
Description du profil	Horizon A : entre 7 à 10 cm d'épaisseur, texture limon lourd Horizon B : entre 40 et 53 cm d'épaisseur, texture argile légère/lourde
Charge caillouteuse	30%
Profondeur de sondage	Entre 60 et 70 cm
Cause de l'arrêt du sondage	Trop caillouteux
Compaction	Peu compact



Essences plantées	<i>Fagus sylvatica</i> <i>Fagus orientalis</i>
-------------------	---

Résumé des contraintes :

Sol peu profond, réserve utile entre 70 et 100 mm (contrainte forte)

Adéquation des essences :

Fagus sylvatica et *Fagus orientalis*-> la réserve utile entre 70 et 100 mm peut entraîner une production feuillue aléatoire.

Arboretum	Ciergnon (3)
Zone bioclimatique	Fagne, Famenne et Caléstienne
Topographie	Plateau
Exposition	Neutre
Apport d'eau	Par les précipitations uniquement
Type de sol	Gbbf4
Réserve utile moyenne	Sondage : 41,1 mm
Niveau hydrique	4
Niveau trophique	-2



Humus	Dysmoder
Description du profil	Horizon A : 5 cm d'épaisseur, présent dans les 2 premières micro-fosses, texture limon léger. Horizon B : de 10 à 45 cm d'épaisseur dans la 3 ^{ème} micro-fosse, texture limon léger Horizon B plus caillouteux : de 10 à 15 cm, texture limon léger Horizon C : couche de schiste horizontale mais friable et pénétrable facilement à la tarière sur une dizaine de centimètre dans la 3 ^{ème} micro-fosse. Dans les 2 autres, la couche de schiste est verticale et plus difficilement pénétrable.
Charge caillouteuse	40%
Profondeur de sondage	entre 25 et 50 cm
Cause de l'arrêt du sondage	Horizon C ou D atteint
Compaction	Peu compact

Essences plantées	<i>Quercus petraea</i>
-------------------	------------------------

Résumé des contraintes :

Sol sec (niveau hydrique de 4), sol peu profond voire superficiel, réserve utile entre 40 et 70 mm (contrainte majeure)

Adéquation des essences :

Quercus petraea : une réserve utile entre 40 et 70 mm peut entraîner une production feuillue aléatoire, le sol peu profond voire superficiel empêche son enracinement profond qui fait partie de ses adaptations face à la sécheresse

Arboretum	Ciergnon (1)
Zone bioclimatique	Limite entre Fagne, Famenne et Calestienne et Sambre-et-Meuse et Condroz
Topographie	Pente faible
Exposition	Neutre
Apport d'eau	Par les précipitations uniquement
Type de sol	Gbbf4
Réserve utile moyenne	Sondage : 38,2 mm
Niveau hydrique	4
Niveau trophique	0

Humus	Mull
Description du profil	Horizon A : entre 6 et 8 cm d'épaisseur, texture limon léger. Horizon B : entre 10 et 13 cm d'épaisseur, Horizon C Présence de traces d'oxydation à la limite entre l'horizon B et C : drainage h assez pauvre
Charge caillouteuse	40%
Profondeur de sondage	Entre 20 et 35 cm
Cause de l'arrêt du sondage	Horizon C ou D atteint
Compaction	Peu compact



Essences plantées	<i>Fagus orientalis</i> <i>Fagus sylvatica</i>
-------------------	---

Résumé des contraintes :

Sol sec (niveau hydrique de 4), sol superficiel, réserve utile inférieure à 40 mm (contrainte extrême)

Adéquation des essences :

Fagus sylvatica -> la réserve utile inférieure à 40 mm entraîne un état boisé aléatoire et dépendant de la fissuration des roches, sol trop sec (niveau hydrique optimal entre -1 et 3)

Fagus orientalis -> la réserve utile inférieure à 40 mm entraîne un état boisé aléatoire et dépendant de la fissuration des roches

Arboretum	Ciergnon (2)
Zone bioclimatique	Fagne, Famenne et Calestienne
Topographie	Pente faible
Exposition	Neutre
Apport d'eau	Par les précipitations uniquement
Type de sol	Gbbf4
Réserve utile moyenne	Sondage : 41,7 mm
Niveau hydrique	4
Niveau trophique	0
Humus	Mull
Description du profil	Horizon B : entre 18 et 25 cm d'épaisseur, texture limon lourd. Horizon C : couche de schiste oblique difficilement pénétrable.
Charge caillouteuse	10-20%
Profondeur de sondage	25 cm
Cause de l'arrêt du sondage	Horizon C ou D atteint
Compaction	Peu compact



Essences plantées	<i>Pinus heldreichii</i> <i>Quercus cerris</i> <i>Quercus frainetto</i> <i>Quercus petraea</i>
-------------------	---

Résumé des contraintes :

Sol sec (niveau hydrique de 4), sol superficiel, réserve utile entre 40 et 70 mm (contrainte majeure)

Adéquation des essences :

Toutes les essences : la réserve utile entre 40 et 70 mm entraîne une production de bois aléatoire fortement dépendante de la fissuration des roches.

Pinus heldreichii : sol trop sec (niveau hydrique optimal entre -1 et 3)

Quercus cerris : sol trop sec (niveau hydrique optimal entre -2 et 3 + RHA)

Arboretum	Couthuin
Zone bioclimatique	Hesbigno-Brabançon
Topographie	Pente faible
Exposition	Neutre
Apport d'eau	Par les précipitations uniquement
Type de sol	EbBr4 et GbBr4
Réserve utile moyenne	Sondage : 38,5 mm Extrapolation 50 cm : 49,7 mm
Niveau hydrique	4
Niveau trophique	-1



Humus	Mor
Description du profil	Horizon A : grisâtre, présent dans les 2 micro-fosses à l'extrémité, entre 2 et 5 cm d'épaisseur, texture argileuse légère ou limoneuse en fonction de la micro-fosse. Horizon B : entre 25 et 36 cm d'épaisseur, texture argileuse légère ou limoneuse en fonction de la micro-fosse.
Charge caillouteuse	40%
Profondeur de sondage	entre 33 et 48 cm
Cause de l'arrêt du sondage	Trop caillouteux
Compaction	Peu compact

Essences plantées	<i>Pinus nigra</i> <i>Pinus sylvestris</i>
-------------------	---

Résumé des contraintes :

Sol peu profond voire superficiel avec une charge caillouteuse élevée, sol sec avec un niveau hydrique de 4, faible réserve utile (contrainte majeure)

Adéquation des essences :

Pinus nigra -> le sol superficiel et sa charge caillouteuse peuvent entraver le développement de son enracinement pivotant et profond, la faible réserve utile entre 40 et 70 mm entraîne une production de bois aléatoire qui dépend de la fissuration des roches

Pinus sylvestris -> le sol superficiel et sa charge caillouteuse peuvent entraver le développement de son enracinement pivotant et profond, la faible réserve utile entre 40 et 70 mm entraîne une production de bois aléatoire qui dépend de la fissuration des roches

Arboretum	Creppe
Zone bioclimatique	Basse et moyenne Ardenne
Topographie	Pente est
Exposition	Froid
Apport d'eau	Par les précipitations uniquement
Type de sol	Gbb2
Réserve utile moyenne	Sondage : 70,1 mm
Niveau hydrique	2
Niveau trophique	-2

Humus	Dysmoder
Description du profil	Horizon A : de 3 à 5 cm d'épaisseur, texture limon lourd Horizon B : de 45 à 53 cm d'épaisseur, texture limon lourd
Charge caillouteuse	De 20 à 40% avec la profondeur croissante
Profondeur de sondage	Entre 50 et 65 cm
Cause de l'arrêt du sondage	Trop caillouteux
Compaction	Peu compact



Essences plantées	<i>Fagus sylvatica</i> <i>Quercus frainetto</i> <i>Quercus petraea</i> <i>Quercus pubescens</i>
-------------------	--

Résumé des contraintes :

Réserve utile entre 70 et 100 mm (contrainte forte), sol peu profond, sol acide pauvre en nutriments

Adéquation des essences :

Quercus pubescens : le sol peu profond peut empêcher le développement de son enracinement profond qui est un trait de résistance à la sécheresse.

Quercus pubescens, *Quercus frainetto*, *Quercus petraea* et *Fagus sylvatica* : production feuillue aléatoire pour un sol avec une réserve utile entre 70 et 100 mm.

Arboretum	Fellenne
Zone bioclimatique	Basse et moyenne Ardenne
Topographie	Pente faible
Exposition	Neutre
Apport d'eau	Par les précipitations uniquement
Type de sol	Gbbr5
Réserve utile moyenne	Sondage : 29,4 mm
Niveau hydrique	4
Niveau trophique	-1

Humus	Dysmoder
Description du profil	Horizon A : entre 3 et 7 cm d'épaisseur, texture limon lourd Horizon B : entre 8 et 18 cm d'épaisseur, texture limon lourd
Charge caillouteuse	40-50%
Profondeur de sondage	Entre 15 et 30 cm
Cause de l'arrêt du sondage	Trop caillouteux
Compaction	Compact



Essences plantées	<i>Calocedrus decurrens</i> <i>Fagus orientalis</i> <i>Fagus sylvatica</i> <i>Quercus petraea</i> <i>Liquidambar styraciflua</i>
-------------------	--

Résumé des contraintes :

Sol avec une réserve utile de moins de 40 mm (contrainte extrême), sol sec avec un niveau hydrique de 4, sol compact, sol superficiel avec une charge caillouteuse importante.

Adéquation des essences :

Calocedrus decurrens : sol trop sec (adéquation pour un niveau hydrique entre 3 et -3), un sol superficiel empêche son enracinement profond qui lui confère sa résistance à la sécheresse.

Quercus petraea : un sol superficiel empêche son enracinement profond qui lui confère sa résistance à la sécheresse.

Fagus sylvatica : sol trop sec (adéquation pour un niveau hydrique entre 3 et -1), ne supporte pas les sols compact, risque de chablis en cas de sol superficiel.

Toutes les essences : la réserve utile de moins de 40 mm rend l'état boisé aléatoire et dépendant de la fissuration des roches.

Arboretum	Gingelom
Zone bioclimatique	/
Topographie	Plateau
Exposition	Neutre
Apport d'eau	Par les précipitations uniquement
Type de sol	Gbb0_1
Réserve utile moyenne	Sondage : 134,9 mm Extrapolation 1m : 168,1 mm
Niveau hydrique	1
Niveau trophique	-1

Humus	Mull avec présence de vers
Description du profil	Horizon A: 20 cm d'épaisseur, texture limon léger à limon sableux Horizon B: entre 52 et 60 cm d'épaisseur, texture limon lourd
Charge caillouteuse	5%
Profondeur de sondage	80 cm de profondeur
Cause de l'arrêt du sondage	Profondeur suffisante atteinte
Compaction	Compact dans une fosse Peu compact dans 2 fosses



Essences plantées	<i>Fagus orientalis</i> <i>Fagus sylvatica</i> <i>Quercus frainetto</i>
-------------------	---

Résumé des contraintes :

Sol compact

Adéquation des essences :

Fagus sylvatica : ne supporte pas les sols compacts

Arboretum	Gomery
Zone bioclimatique	Basse Lorraine
Topographie	Pente faible
Exposition	Neutre
Apport d'eau	Par les précipitations uniquement
Type de sol	Eha0_1
Réserve utile moyenne	Sondage : 148,7 mm
Niveau hydrique	-2 RHA
Niveau trophique	-1

Humus	Mull
Description du profil	Horizon A : entre 5 et 8 cm d'épaisseur, texture limon lourd Horizon B : entre 25 et 30 cm d'épaisseur, texture limon lourd. Pseudogley à partir de 30-40 cm Couche orangée très compacte dans une fosse (à 30 cm de profondeur)
Charge caillouteuse	10-20%
Profondeur de sondage	entre 65 et 95 cm
Cause de l'arrêt du sondage	Profondeur suffisante atteinte (à la tarière mécanique)
Compaction	Compact



Essences plantées	<i>Quercus cerris</i> <i>Quercus frainetto</i> <i>Quercus petraea</i> <i>Quercus pubescens</i>
-------------------	---

Résumé des contraintes :

Sol compact, régime hydrique alternatif

Adéquation des essences :

Quercus pubescens : ne tolère pas le régime hydrique alternatif

Quercus frainetto : ne tolère pas les sols à régime hydrique alternatif de -2 RHA et -3 RHA.

Arboretum	Gozée
Zone bioclimatique	Sambre-et-Meuse et Condroz
Topographie	Pente faible (bas de versant)
Exposition	Neutre
Apport d'eau	Variable
Type de sol	uADp0_1
Réserve utile moyenne	Sondage :153,2 mm
Niveau hydrique	-1
Niveau trophique	0

Humus	Mull avec présence de vers
Description du profil	Horizon A : entre 35 et 50 cm d'épaisseur, texture limon léger, charge caillouteuse 5%. Horizon B : entre 25 et 70 cm d'épaisseur, texture argile léger, charge caillouteuse 5%.
Profondeur de sondage	Entre 65 et 105 cm
Cause de l'arrêt du sondage	Trop graveleux ou trop compact
Compaction	Compact



Essences plantées	<i>Tilia cordata</i>
-------------------	----------------------

Résumé des contraintes :

Compaction de l'horizon B

Adéquation des essences :

Pas de contraintes notables pour *Tilia cordata*

Arboretum	Hamoir
Zone bioclimatique	Sambre-et-Meuse et Condroz
Topographie	Plateau
Exposition	Neutre
Apport d'eau	Par les précipitations uniquement
Type de sol	Gbbr0_1
Réserve utile moyenne	Sondage : 155,4 mm
Niveau hydrique	1
Niveau trophique	-2

Humus	Dysmoder
Description du profil	Horizon A: entre 3 à 5 cm d'épaisseur Horizon B: entre 70 et 115 cm d'épaisseur, texture limon lourd et texture argile légère quelques centimètres avant le schiste Horizon C: couche de schiste horizontale à partir de 120 cm de profondeur sur 60 cm de profondeur (vu dans la fosse)
Profondeur de sondage	entre 80 à 180 cm
Charge caillouteuse	30%
Cause de l'arrêt du sondage	Profondeur suffisante atteinte (fosse) et trop caillouteux
Compaction	Compact

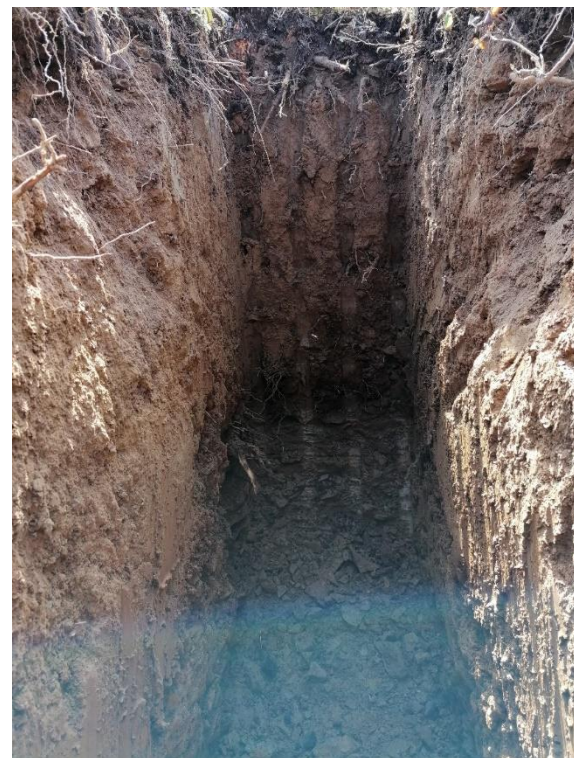
Essences plantées	<i>Abies bornmuelleriana</i> <i>Abies nordmanniana</i> <i>Cedrus atlantica</i> <i>Pinus nigra corsicana</i> <i>Quercus cerris</i> <i>Quercus petraea</i> <i>Quercus pubescens</i>
-------------------	---

Résumé des contraintes :

Sol compacté, dalle de schiste à 1,20m de profondeur -> contrainte à l'enracinement, sol acide et pauvre en nutriments

Adéquation des essences :

Abies nordmanniana, *Cedrus atlantica*, *Pinus nigra Corsicana* -> sensibilité aux sols compacts



Arboretum	Haut-Fays
Zone bioclimatique	Basse et moyenne Ardenne
Topographie	Pente nord-ouest
Exposition	Neutre
Apport d'eau	Par les précipitations uniquement
Type de sol	Gbbfi2, Gbbfi3
Réserve utile moyenne	Sondage : 74,8 mm
Niveau hydrique	4
Niveau trophique	-2

Humus	Dysmoder
Description du profil	Horizon A : 5 cm d'épaisseur, texture limon lourd voire argile légère Horizon B : entre 15 et 30 cm d'épaisseur dans les micro-fosses, 70 cm dans la fosse, texture argile légère
Charge caillouteuse	20-40%
Profondeur de sondage	Entre 25 et 110 cm
Cause de l'arrêt du sondage	Horizon C atteint et trop caillouteux
Compaction	Peu compact



Essences plantées	<i>Pinus sylvestris</i> <i>Quercus cerris</i> <i>Quercus petraea</i> <i>Quercus pubescens</i> <i>Tilia cordata</i>
-------------------	--

Résumé des contraintes :

Sol superficiel par endroit, sol sec, sol acide pauvre en nutriments, réserve utile entre 70 et 100 mm (contrainte forte).

Adéquation des essences :

Pinus sylvestris : le sol superficiel par endroit peut empêcher le développement de son enracinement pivotant

Quercus petraea : le sol superficiel par endroit peut empêcher le développement de son enracinement pivotant

Quercus pubescens : le sol superficiel par endroit peut empêcher le développement de son enracinement pivotant

Quercus cerris : sol trop sec (niveau hydrique idéal entre -2 et 3)

Quercus cerris, *Quercus petraea*, *Quercus pubescens* et *Tilia cordata* : la faible réserve utile peut entraîner une production feuillue aléatoire

Arboretum	Helchteren
Zone bioclimatique	/
Topographie	Plateau
Exposition	Neutre
Apport d'eau	Par les précipitations uniquement
Type de sol	Sdc1
Réserve utile moyenne	98,2 mm
Niveau hydrique	-1 RHA
Niveau trophique	-3

Humus	Mor
Description du profil	Sol podzolique avec une incursion de matière organique à 50 cm suivi d'une couche indurée où le fer a migré et d'un pseudogley (60 cm). Pseudogley : à partir de 35-40 cm de profondeur
Charge caillouteuse	<5%
Profondeur de sondage	Entre 90 et 100 cm
Cause de l'arrêt du sondage	Trop compact
Compaction	Peu compact Compact à partir de la couche indurée



Essences plantées	<i>Pinus pinaster</i>
-------------------	-----------------------

Résumé des contraintes :

Couche indurée compacte en profondeur, régime hydrique alternatif, sol pauvre en nutriments

Adéquation des essences :

Pas de contraintes notables pour *Pinus pinaster*

Arboretum	Hoof
Zone bioclimatique	Sambre-et-Meuse et Condroz
Topographie	Plateau
Exposition	Neutre
Apport d'eau	Par les précipitations uniquement
Type de sol	GbBf2
Réserve utile moyenne	Sondage : 86,4 mm
Niveau hydrique	2
Niveau trophique	-2

Humus	Eumoder
Description du profil	Horizon A : entre 8 et 5 cm d'épaisseur, texture limon lourd Horizon B : entre 40 et 50 cm d'épaisseur, texture limon lourd Horizon C à 50 cm suivi de l'horizon D (schiste) à 55 cm (visible dans la fosse)
Charge caillouteuse	30-40%
Profondeur de sondage	Entre 55 et 80 cm
Cause de l'arrêt du sondage	Horizon D atteint et trop caillouteux
Compaction	Peu compact



Essences plantées	<i>Fagus sylvatica</i>
-------------------	------------------------

Résumé des contraintes :

Sol peu profond -> dalle de schiste, sol acide pauvre en nutriments, réserve utile entre 70 et 100 mm (contrainte forte).

Adéquation des essences :

Fagus sylvatica : la réserve utile entre 70 et 100 mm peut causer une production feuillue aléatoire.

Arboretum	Jenneret (1)
Zone bioclimatique	Sambre-et-Meuse et Condroz
Topographie	Pente concave nord
Exposition	Froide
Apport d'eau	Apports d'eau variables
Type de sol	GbBf1
Réserve utile moyenne	Sondage : 124 mm Extrapolation à 1m : 150,6 mm
Niveau hydrique	-1
Niveau trophique	0

Humus	Mull
Description du profil	Horizon A : entre 15 et 20 cm d'épaisseur, texture limon léger Horizon B : entre 60 à 80 cm d'épaisseur, texture limon léger
Charge caillouteuse	5-20%
Profondeur de sondage	Entre 68 et 110 cm
Cause de l'arrêt du sondage	Trop caillouteux
Compaction	Peu compact



Essences plantées	<i>Sequoia sempervirens</i>
-------------------	-----------------------------

Résumé des contraintes :

Pas de contraintes notables

Adéquation des essences :

Pas de contraintes notables pour *Sequoia sempervirens*

Arboretum	Jenneret (4)
Zone bioclimatique	Sambre-et-Meuse et Condroz
Topographie	Pente concave
Exposition	Froide
Apport d'eau	Apports variables
Type de sol	Gdap2
Réserve utile moyenne	Sondage : 118,2 mm
Niveau hydrique	0
Niveau trophique	-1

Description du profil	Horizon A : entre 5 et 7 cm d'épaisseur, texture limon léger Horizon B : entre 55 et 75 cm d'épaisseur
Charge caillouteuse	10-20%
Profondeur de sondage	Entre 60 et 83 cm
Cause de l'arrêt du sondage	Trop caillouteux et trop compact
Compaction	Compact



Essences plantées	<i>Quercus pubescens</i>
-------------------	--------------------------

Résumé des contraintes :

Sol compact

Adéquation des essences :

Pas de contraintes notables pour *Quercus pubescens*

Arboretum	Jenneret (2)
Zone bioclimatique	Sambre-et-Meuse et Condroz
Topographie	Pente forte
Exposition	Froide
Apport d'eau	Par les précipitations uniquement
Type de sol	LbBp2
Réserve utile moyenne	Sondage : 50,7 mm
Niveau hydrique	2 et 3
Niveau trophique	0



Humus	Mull
Description du profil	Horizon A : entre 20 et 25 cm d'épaisseur, texture limon sableux Horizon B : entre 10 et 35 cm d'épaisseur, texture limon sableux
Charge caillouteuse	30-40%
Profondeur de sondage	Entre 30 et 60 cm
Cause de l'arrêt du sondage	Trop caillouteux
Compaction	Peu compact

Essences plantées	<i>Pinus nigra</i> <i>Pinus heldreichii</i>
-------------------	--

Résumé des contraintes :

Sol peu profond, sol plutôt sec, réserve utile entre 40 et 70 mm (contrainte majeure)

Adéquation essences :

Pinus nigra et *Pinus heldreichii* : la réserve utile entre 40 et 70 mm peut entraîner une production de bois aléatoire dépendante de la fissuration des roches, le sol peu profond peut empêcher le développement de leur enracinement pivotant.

Arboretum	Lierneux (1)
Zone bioclimatique	Basse et moyenne Ardenne
Topographie	Versant est
Exposition	Froide
Apport d'eau	Par les précipitations uniquement
Type de sol	Gbbr2
Réserve utile moyenne	Sondage : 87,4 mm
Niveau hydrique	2
Niveau trophique	-1

Humus	Dysmoder
Description du profil	Horizon A : entre 11 et 14 cm d'épaisseur, texture limon léger Horizon B : entre 55 et 58 cm d'épaisseur, texture limon léger
Charge caillouteuse	30-40%
Profondeur de sondage	70 cm
Cause de l'arrêt du sondage	Trop caillouteux
Compaction	Peu compact



Essences plantées	<i>Pseudotsuga menziesii</i> <i>Cedrus atlantica</i> <i>Abies nordmanniana</i>
-------------------	--

Résumé des contraintes :

Sol peu profond, réserve utile entre 70 et 100 mm (contrainte forte)

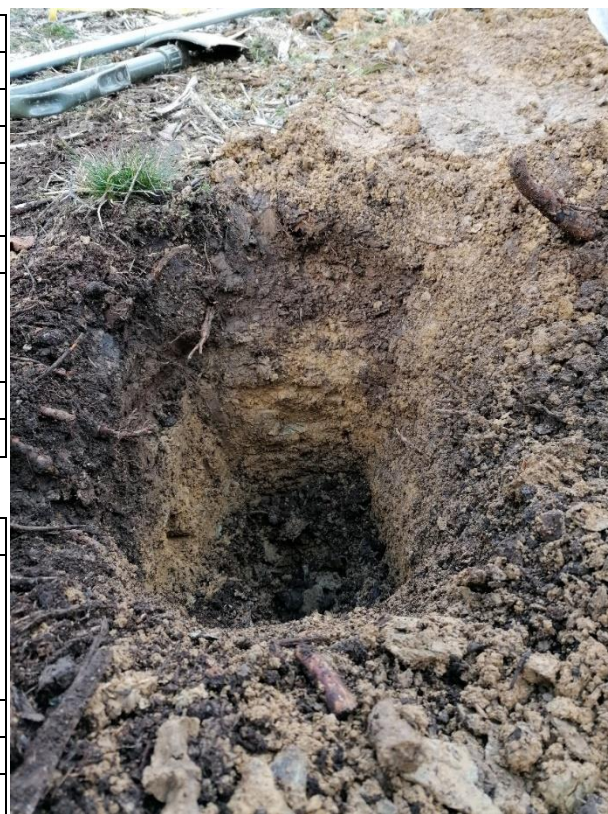
Adéquation des essences :

Cedrus atlantica : un sol peu profond peut empêcher le développement de son enracinement pivotant

Abies nordmanniana : un sol peu profond peut empêcher le développement de son enracinement pivotant

Pseudotsuga menziesii : la réserve utile entre 70 et 100 mm peut être une contrainte forte pour les essences demandeuses en eau comme le Douglas.

Arboretum	Lierneux (2)
Zone bioclimatique	Basse et moyenne Ardenne
Topographie	Plateau
Exposition	Neutre
Apport d'eau	Par les précipitations uniquement
Type de sol	Gbbf1_2
Réserve utile moyenne	Sondage : 116,2 mm Extrapolation à 1m : 143,9 mm
Niveau hydrique	1
Niveau trophique	-2



Humus	Dysmoder
Description du profil	Horizon A : 10 d'épaisseur, texture limon lourd Horizon B : entre 50 et 110 cm d'épaisseur, texture limon lourd
Charge caillouteuse	De 20 à 40 %
Profondeur de sondage	Entre 64 et 120 cm
Cause de l'arrêt du sondage	Trop caillouteux et profondeur suffisante atteinte
Compaction	Peu compact Compact dans l'horizon B d'une micro-fosse

Essences plantées	<i>Abies bornmuelleriana</i> <i>Quercus cerris</i> <i>Tilia cordata</i>
-------------------	---

Résumé des contraintes :

Sol compact par endroit

Adéquation des essences :

Pseudotsuga menziesii : ne tolère pas les sols compacts

Arboretum	Ohey (2)
Zone bioclimatique	Sambre-et-Meuse et Condroz
Topographie	Pente faible
Exposition	Neutre
Apport d'eau	Par les précipitations uniquement
Type de sol	Aba1 et Aha1
Réserve utile moyenne	Sondage : 164,3 mm
Niveau hydrique	0
Niveau trophique	0

Humus	Mull
Description du profil	Horizon A : entre 20 et 25 cm d'épaisseur, texture limon lourd Horizon B : entre 75 et 78 cm d'épaisseur, texture argile légère
Charge caillouteuse	10-15%
Profondeur de sondage	95 cm
Cause de l'arrêt du sondage	Profondeur suffisante atteinte
Compaction	Peu compact Compact dans une fosse



Essences plantées	<i>Liriodendron tulipifera</i> <i>Liquidambar styraciflua</i>
-------------------	--

Résumé des contraintes :

Sol compact par endroit

Adéquation des essences :

Pas de contraintes notables pour les essences plantées

Arboretum	Ohey (1)
Zone bioclimatique	Basse et moyenne Ardenne
Topographie	Pente faible
Exposition	Neutre
Apport d'eau	Par les précipitations uniquement
Type de sol	Gbap2
Réserve utile moyenne	66,3 mm
Niveau hydrique	1
Niveau trophique	-1

Humus	Mull
Description du profil	Horizon A : entre 20 et 40 cm d'épaisseur, texture limon léger Horizon B : entre 20 et 40 cm d'épaisseur, texture limon léger/limon lourd
Charge caillouteuse	20-40%
Profondeur de sondage	Entre 40 et 60 cm
Cause de l'arrêt du sondage	Trop caillouteux
Compaction	Compact



Essences plantées	<i>Quercus petraea</i> <i>Quercus pubescens</i>
-------------------	--

Résumé des contraintes :

Sol compact, réserve utile entre 40 et 70 (contrainte majeure) mais proche de 70 mm, sol peu profond

Adéquation des essences :

Quercus petraea et *Quercus pubescens* : un sol peu profond peut empêcher le développement de leur enracinement pivotant, la réserve utile entre 40 et 70 mm peut entraîner une production de bois aléatoire dépendante de la fissuration des roches.

Arboretum	Ouffet
Zone bioclimatique	Sambre-et-Meuse et Condroz
Topographie	Plateau
Exposition	Neutre
Apport d'eau	Par les précipitations uniquement
Type de sol	Gbbk4
Réserve utile moyenne	Sondage : 63,3 mm
Niveau hydrique	4
Niveau trophique	2

Humus	Mull
Description du profil	Sol sans développement de profil
Charge caillouteuse	20-30%
Profondeur de sondage	entre 25 et 45 cm
Cause de l'arrêt du sondage	Trop sec et trop compact
Compaction	Très compact



Essences plantées	<i>Pinus heldreichii</i> <i>Quercus frainetto</i> <i>Quercus petraea</i> <i>Quercus pubescens</i> <i>Sequoia sempervirens</i>
-------------------	---

Résumé des contraintes :

Sol très compact, sol sec (niveau hydrique de 4), réserve utile entre 40 et 100 mm (contrainte forte à majeure), sol peu profond, sol calcaire

Adéquation des essences :

Sequoia sempervirens : sol trop sec (niveau hydrique optimal entre -3 et 2), ne tolère pas les sols calcaires

Pinus heldreichii : sol trop sec (niveau hydrique optimal entre -1 et 3)

Quercus petraea, *Quercus pubescens*, *Pinus heldreichii* : un sol peu profond peut empêcher le développement de leur enracinement pivotant

Arboretum	Overijse
Zone bioclimatique	/
Topographie	Plateau
Exposition	Neutre
Apport d'eau	Par les précipitations uniquement
Type de sol	Aba1_2
Réserve utile moyenne	Sondage : 145,3 mm
Niveau hydrique	1
Niveau trophique	0

Humus	Mull
Description du profil	Horizon A : entre 15 et 20 cm d'épaisseur, texture limon léger Horizon B : entre 45 et 100 cm d'épaisseur, texture limon léger
Charge caillouteuse	5%
Profondeur de sondage	entre 65 et 120 cm
Cause de l'arrêt du sondage	Trop compact Trop caillouteux
Compaction	Compact



Essences plantées	<i>Tilia cordata</i>
-------------------	----------------------

Résumé des contraintes :

Sol compact

Adéquation des essences :

Pas de contraintes notables pour *Tilia cordata*

Arboretum	Péruwelz
Zone bioclimatique	Plaines et vallées Scaldisiennes
Topographie	Plaine
Exposition	Neutre
Apport d'eau	Apports constants
Type de sol	LdB1
Réserve utile moyenne	Sondage : 183,3 mm
Niveau hydrique	-1
Niveau trophique	2

Humus	Mull
Description du profil	Succession d'un horizon A (25 cm), d'un horizon B compacté (7 cm), d'un horizon B (80 cm) avec tâches de rouille à 60 cm et de pseudogley (à partir d'environ 100 cm)
Charge caillouteuse	5%
Profondeur de sondage	Entre 120 et 145 cm
Cause de l'arrêt du sondage	Profondeur suffisante atteinte
Compaction	Peu compact Couche de 3 cm compactée à 25 cm de profondeur



Essences plantées	<i>Tilia cordata</i>
-------------------	----------------------

Résumé des contraintes :

Pas de contraintes notables

Adéquation des essences :

Pas de contraintes notables pour *Tilia cordata*

Arboretum	Poppel
Zone bioclimatique	/
Topographie	Plaine
Exposition	Neutre
Apport d'eau	Par les précipitations uniquement
Type de sol	Zbc0_1
Réserve utile moyenne	Sondage : 76 mm Extrapolation à 1,5m : 92 mm
Niveau hydrique	2
Niveau trophique	-3

Humus	Dysmoder
Description du profil	Sol sableux podzolique avec superposition et enchevêtrement de couches de sable orangé, gris voire noir
Charge caillouteuse	<5%
Profondeur de sondage	Entre 90 et 120 cm
Cause de l'arrêt du sondage	Profondeur suffisante atteinte
Compaction	Meuble



Essences plantées	<i>Cedrus atlantica</i> <i>Pinus pinaster</i>
-------------------	--

Résumé des contraintes :

Sol podzolique pauvre en nutriments, réserve utile entre 70 et 100 mm (contrainte forte)

Adéquation des essences :

Pas de contraintes notables pour les essences plantées

Arboretum	Porcheresse
Zone bioclimatique	Basse et moyenne Ardenne
Topographie	Plateau
Exposition	Neutre
Apport d'eau	Par les précipitations uniquement
Type de sol	Gbbfi0_1
Réserve utile moyenne	Sondage : 114,2 mm
Niveau hydrique	1
Niveau trophique	-2

Humus	Dysmoder
Description du profil	Horizon A : entre 10 et 19 cm d'épaisseur, texture limon lourd/limon léger Horizon B : entre 36 et 70 cm d'épaisseur dans les micro-fosses, texture argile légère, tâches de rouille à 70 cm (dans les micro-fosses) Horizon C à partir de 60 cm de profondeur (fosse)
Charge caillouteuse	20-30%
Profondeur de sondage	Entre 65 et 85 cm
Cause de l'arrêt du sondage	Horizon C atteint et trop caillouteux
Compaction	Compact



Essences plantées	<i>Cedrus atlantica</i> <i>Pinus sylvestris</i>
-------------------	--

Résumé des contraintes :

Sol compact, sol acide pauvre en nutriments

Adéquation des essences

Cedrus atlantica : ne supporte pas les sols compacts

Arboretum	Postel 2
Zone bioclimatique	/
Topographie	Plaine
Exposition	Neutre
Apport d'eau	Par les précipitations uniquement
Type de sol	Zep1
Réserve utile moyenne	Sondage : 98,4 mm
Niveau hydrique	-2
Niveau trophique	0

Humus	Mull
Description du profil	Nappe permanente à partir de 85 cm dans une fosse et de 115 cm dans une autre
Charge caillouteuse	<5%
Profondeur de sondage	Entre 88 et 115 cm
Cause de l'arrêt du sondage	Nappe et profondeur suffisante atteinte
Compaction	Meuble



Essences plantées	<i>Pinus nigra</i> <i>Pinus sylvestris</i> <i>Pinus pinaster</i> <i>Quercus cerris</i> <i>Quercus petraea</i> <i>Quercus pubescens</i>
-------------------	---

Résumé des contraintes :

Sol humide, réserve utile entre 70 et 100 mm (contrainte forte)

Adéquation des essences :

Pinus nigra : le sol humide ne lui convient pas (niveau hydrique idéal entre -1 et 4)

Quercus cerris, *Quercus petraea* et *Quercus pubescens* : la réserve utile entre 70 et 100 mm peut entraîner une production feuillue aléatoire

Arboretum	Postel 1
Zone bioclimatique	/
Topographie	Plaine
Exposition	Neutre
Apport d'eau	Par les précipitations uniquement
Type de sol	Zbp0_1
Réserve utile moyenne	Sondage : 113,7 mm Extrapolation à 1,5m : 134,3 mm
Niveau hydrique	2
Niveau trophique	-1

Humus	Dysmoder
Description du profil	Sol sableux sans développement de profil
Charge caillouteuse	<5%
Profondeur de sondage	120 cm
Cause de l'arrêt du sondage	Profondeur suffisante atteinte
Compaction	Meuble



Essences plantées	<i>Cedrus atlantica</i>
-------------------	-------------------------

Résumé des contraintes :

Pas de contraintes notables

Arboretum	Roly
Zone bioclimatique	Fagne, Famenne et Calestienne
Topographie	Versant nord
Exposition	Froide
Apport d'eau	Par les précipitations uniquement
Type de sol	Acb0_1
Réserve utile moyenne	Sondage : 151 mm
Niveau hydrique	0
Niveau trophique	-1

Humus	Moder
Description du profil	Horizon A : entre 2 et 5 cm d'épaisseur, texture limon lourd Horizon B : entre 58 et 93 cm d'épaisseur, texture limon lourd
Charge caillouteuse	5%
Profondeur de sondage	Entre 60 et 95 cm
Cause de l'arrêt du sondage	Trop caillouteux
Compaction	Compact



Essences plantées	<i>Cedrus atlantica</i>
-------------------	-------------------------

Résumé des contraintes :

Sol compact

Adéquation des essences :

Cedrus atlantica : ne supporte pas les sols compacts

Arboretum	Rumillies
Zone bioclimatique	Plaines et vallées Scaldisiennes
Topographie	Plateau
Exposition	Neutre
Apport d'eau	variables
Type de sol	Lhc1
Réserve utile moyenne	Sondage : 156,9 mm
Niveau hydrique	-2 RHA
Niveau trophique	0



Humus	Mull
Description du profil	Horizon A : entre 5 à 8 cm d'épaisseur, texture limon sableux Horizon B : entre 25 à 35 cm d'épaisseur, texture limon sableux Pseudogley : à partir de 35-40 cm de profondeur
Charge caillouteuse	5-10%
Profondeur de sondage	entre 68 et 110 cm
Cause de l'arrêt du sondage	Trop compact
Compaction	Compact Très compact dans une fosse

Essences plantées	<i>Quercus cerris</i> <i>Quercus petraea</i> <i>Quercus pubescens</i>
-------------------	---

Résumé des contraintes :

Régime hydrique alternatif, sol compact voire très compact

Adéquation des essences :

Quercus pubescens : ne tolère pas les sols à régime hydrique alternatif

Arboretum	Saint-léger
Zone bioclimatique	Haute Lorraine
Topographie	Pente faible concave
Exposition	Neutre
Apport d'eau	Par les précipitations uniquement
Type de sol	Lbp0_1
Réserve utile moyenne	Sondage : 144,9 mm
Niveau hydrique	0
Niveau trophique	0

Humus	Mull
Description du profil	Horizon B : entre 85 à 105 cm d'épaisseur, texture limon sableux Le profil de sol est dit « sans développement de profil »
Charge caillouteuse	5%
Profondeur de sondage	entre 85 et 105 cm
Cause de l'arrêt du sondage	Trop compact
Compaction	Compact



Essences plantées	<i>Quercus frainetto</i> <i>Quercus petraea</i> <i>Quercus pubescens</i>
-------------------	--

Résumé des contraintes :

Sol compact

Adéquation des essences :

Pas de contraintes notables pour les essences plantées

Arboretum	Stoumont
Zone bioclimatique	Basse et moyenne Ardenne
Topographie	Versant nord
Exposition	Froide
Apport d'eau	Par les précipitations uniquement
Type de sol	Gbbr2
Réserve utile moyenne	Sondage : 63,8 mm Extrapolation à 1m et 0,5m : 81,8 mm
Niveau hydrique	2
Niveau trophique	-1



Humus	Dysmoder
Description du profil	Horizon A : entre 5 et 10 cm d'épaisseur, texture limon léger Horizon B : entre 25 et 50 cm d'épaisseur, texture limon léger
Charge caillouteuse	30%
Profondeur de sondage	Entre 40 et 60 cm
Cause de l'arrêt du sondage	Trop caillouteux
Compaction	Peu compact

Essences plantées	<i>Cedrus atlantica</i> <i>Pinus sylvestris</i>
-------------------	--

Résumé des contraintes :

Sol peu profond

Adéquation des essences :

Cedrus atlantica : un sol peu profond peut empêcher son enracinement pivotant

Pinus sylvestris : un sol peu profond peut empêcher son enracinement pivotant

Arboretum	Strud
Zone bioclimatique	Sambre-et-Meuse et Condroz
Topographie	Pente faible
Exposition	Neutre
Apport d'eau	Par les précipitations uniquement
Type de sol	GhBr2
Réserve utile moyenne	Sondage : 99,8 mm
Niveau hydrique	-1 RHA
Niveau trophique	-1



Humus	Dysmoder
Description du profil	Horizon A : entre 6 et 17 cm d'épaisseur, texture limon léger Horizon B : entre 25 et 60 cm d'épaisseur, texture limon léger, traces d'oxydation vers 50 cm de profondeur
Charge caillouteuse	30-40%
Profondeur de sondage	Entre 40 et 60 cm
Cause de l'arrêt du sondage	Trop caillouteux
Compaction	Très compact

Essences plantées	<i>Calocedrus decurrens</i>
-------------------	-----------------------------

Résumé des contraintes :

Régime hydrique alternatif, sol très compact, réserve utile entre 70 et 100 mm (contrainte forte), sol peu profond

Adéquation des essences :

Calocedrus decurrens : ne tolère pas les sols à régime hydrique alternatif, un sol peu profond peut empêcher son enracinement pivotant.

Arboretum	Tintange
Zone bioclimatique	Ardenne centro-orientale
Topographie	Pente faible
Exposition	Neutre
Apport d'eau	Par les précipitations uniquement
Type de sol	Gcb2
Réserve utile moyenne	Sondage : 81,9 mm
Niveau hydrique	1
Niveau trophique	-1

Humus	Dysmoder
Description du profil	Horizon A : entre 30 et 35 cm d'épaisseur, texture limon léger Horizon B : entre 25 et 26 cm d'épaisseur, texture limon léger, traces d'oxydation entre 50 et 80 cm de profondeur
Charge caillouteuse	40%
Profondeur de sondage	58 cm
Cause de l'arrêt du sondage	Trop caillouteux
Compaction	Compact



Essences plantées	<i>Abies bornmuelleriana</i> <i>Abies nordmanniana</i> <i>Cedrus atlantica</i> <i>Pinus nigra</i> <i>Quercus cerris</i> <i>Quercus petraea</i>
-------------------	---

Résumé des contraintes :

Sol compact, sol peu profond, réserve utile entre 70 et 100 mm (contrainte forte)

Adéquation des essences :

Abies nordmanniana : ne supporte pas les sols compacts

Cedrus atlantica : ne supporte pas les sols compacts

Pinus nigra : ne supporte pas les sols compacts

Abies bornmuelleriana, *Abies nordmanniana*, *Cedrus atlantica*, *Pinus nigra*, *Quercus petraea* : un sol peu profond peut empêcher le développement de leur enracinement pivotant qui est un trait d'adaptation à la sécheresse.

Arboretum	Vierves-sur-viroin
Zone bioclimatique	Basse et moyenne Ardenne
Topographie	Versant
Exposition	Froid
Apport d'eau	Par les précipitations uniquement
Type de sol	Gbbf2
Réserve utile moyenne	Sondage : 64,1 mm
Niveau hydrique	2
Niveau trophique	-2

Humus	Mull
Description du profil	Horizon A : entre 10 et 14 cm d'épaisseur, texture limon léger Horizon B : entre 35 et 45 cm d'épaisseur, texture limon léger
Charge caillouteuse	30%
Profondeur de sondage	Entre 40 et 55 cm
Cause de l'arrêt du sondage	Trop caillouteux
Compaction	Compact



Essences plantées	<i>Calocedrus decurrens</i> <i>Cedrus atlantica</i> <i>Pseudotsuga menziesii</i> <i>Quercus petraea</i> <i>Quercus pubescens</i> <i>Sequoia sempervirens</i>
-------------------	---

Résumé des contraintes :

Sol acide pauvre en nutriments, sol compact, sol peu profond

Adéquation des essences :

Cedrus atlantica : ne supporte pas les sols compacts

Pseudotsuga menziesii : ne supporte pas les sols compacts

Calocedrus decurrens, *Cedrus atlantica*, *Quercus petraea* et *Quercus pubescens* : un sol peu profond peut empêcher le développement de leur enracinement profond qui est un caractère d'adaptation à la sécheresse.

Arboretum	Voort
Zone bioclimatique	/
Topographie	Plaine
Exposition	Neutre
Apport d'eau	Constante
Type de sol	Ahb1
Réserve utile moyenne	Sondage : 158,7 mm
Niveau hydrique	-2 RHA
Niveau trophique	0

Humus	Oligomull
Description du profil	Horizon A : entre 10 et 15 cm d'épaisseur, texture limon sableux Horizon B : entre 50 et 120 cm d'épaisseur, texture limon sableux, incursion d'une couche noire organique, apparition de trace d'oxydation à partir de 30 cm
Charge caillouteuse	5%
Profondeur de sondage	Entre 60 et 135 cm
Cause de l'arrêt du sondage	Nappe atteinte
Compaction	Peu compact



Essences plantées	<i>Cedrus deodara</i> <i>Corylus colurna</i> <i>Fagus sylvatica</i> <i>Metasequoia glyptostroboides</i>
-------------------	--

Résumé des contraintes :

Sol humide à régime hydrique alternatif

Adéquation des essences :

Cedrus deodara : n'est pas en adéquation sur sol à régime hydrique alternatif (niveau hydrique idéal entre -1 et 2).

Fagus sylvatica : n'est pas en adéquation sur sol à régime hydrique alternatif (niveau hydrique idéale entre -1 et 3).

Metasequoia glyptostroboides : n'est pas en adéquation sur sol à régime hydrique alternatif (niveau hydrique idéale entre -3 à 2).

Corylus colurna : n'est pas en adéquation sur sol à régime hydrique alternatif (niveau hydrique idéale entre -1 à 4).

Arboretum	Yvoir (2)
Zone bioclimatique	Sambre-et-Meuse et Condroz
Topographie	Pente faible
Exposition	Neutre
Apport d'eau	Par les précipitation uniquement
Type de sol	AdB0_1
Réserve utile moyenne	Sondage : 215,7 mm
Niveau hydrique	-1 RHA
Niveau trophique	0



Description du profil	Horizon A: entre 4 et 7 cm d'épaisseur, texture limon lourd Horizon B : entre 28 et 50 cm d'épaisseur, texture limon lourd, Horizon B2 : entre 65 et 85 cm d'épaisseur, texture argile légère Traces d'oxydation après 50 cm de profondeur
Charge caillouteuse	5%
Profondeur de sondage	120 cm
Cause de l'arrêt du sondage	Profondeur suffisante atteinte
Compaction	Peu compact

Essences plantées	<i>Corylus colurna</i> <i>Fagus sylvatica</i> <i>Quercus cerris</i>
-------------------	---

Résumé des contraintes :

Régime hydrique alternatif

Adéquation des essences :

Fagus sylvatica : ne supporte pas les sols en RHA

Corylus colurna : ne supporte pas les sols en RHA

Arboretum	Yvoir (1)
Zone bioclimatique	Sambre-et-Meuse et Condroz
Topographie	Versant sud
Exposition	Chaud
Apport d'eau	Variable (replat)
Type de sol	GdBf1
Réserve utile moyenne	Sondage : 110,9 mm
Niveau hydrique	-1
Niveau trophique	0

Humus	Oligomull
Description du profil	Horizon A : entre 25 et 30 cm d'épaisseur, texture limon lourd Horizon B : entre 75 et 55 cm d'épaisseur, texture limon lourd, traces d'oxydation à partir de 50 cm de profondeur
Charge caillouteuse	30%
Profondeur de sondage	Entre 85 et 100 cm
Cause de l'arrêt du sondage	Trop caillouteux
Compaction	Compact



Essences plantées	<i>Pseudotsuga menziesii</i>
-------------------	------------------------------

Résumé des contraintes :

Sol compact

Adéquation des essences :

Pseudotsuga menziesii : ne supporte pas les sols compacts