



Pré-étude pour l'élaboration d'un ou plusieurs outils de choix des essences et des stations forestières en Basse-Normandie en prévision du changement climatique

Lucille Mouchet

► To cite this version:

Lucille Mouchet. Pré-étude pour l'élaboration d'un ou plusieurs outils de choix des essences et des stations forestières en Basse-Normandie en prévision du changement climatique. Sciences de l'environnement. 2012. hal-01869347

HAL Id: hal-01869347

<https://hal.univ-lorraine.fr/hal-01869347>

Submitted on 6 Sep 2018

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

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



AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-memoires-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php

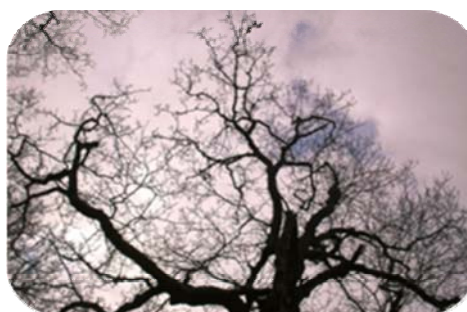
<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>

MASTER 2 FAGE
Biologie et Ecologie pour la Forêt, l'Agronomie et l'Environnement
Spécialité
Gestion et Fonctionnement des Ecosystèmes

Pré-étude pour l'élaboration d'un ou plusieurs outils de choix des essences
et des stations forestières en Basse-Normandie en prévision du changement
climatique

Mémoire de stage, soutenu à Nancy le 4 Septembre 2012,

MOUCHET Lucille



Encadrant du stage : Jean Baptiste Reboul, Ingénieur forestier en charge du développement

Tuteur universitaire : Daniel Epron, Ecophysiologiste, responsable du master FAGE

Structure d'accueil : Centre Régional de la Propriété Forestière de Normandie
1, rue Georges Clémenceau, 76235 Bois-Guillaume

Université : Faculté des Sciences et Techniques de Nancy,
Campus Aiguillettes, 54506 Vandoeuvre les Nancy

Session : 2011/2012

Remerciements

Dans un premier temps, je tiens à remercier le Centre Régional de la Propriété Forestière de Normandie pour m'avoir accueillie et permis d'effectuer ce stage.

Je remercie vivement Jean-Baptiste Reboul (maître de stage) qui a su me guider, m'aider, me donner des conseils et me faire part de son expérience sur les stations forestières tout au long de ces 7 mois de stage afin d'en assurer le bon déroulement et d'atteindre les objectifs. Merci!

Merci aussi aux techniciens de la Basse-Normandie (Christelle Joseph, Béatrice Lacoste et Maxime Brugier) pour les « petites » journées de terrain qu'ils m'ont consacrées et le partage de leurs connaissances en termes de gestion forestière et des stations forestières bas-normandes. Les journées de terrains furent très formatrices.

Je n'oublie pas les techniciens de la Haute-Normandie (Cyril Retout et Sébastien Bombrault) pour m'avoir fait participer à d'autres missions du CRPF (suivi de placettes ou diagnostics de boisement de terres agricoles).

Je remercie la direction pour m'avoir fait participer à la formation FOGEFOR (Formation à la Gestion Forestière) où j'ai pu mettre à jour mes connaissances en gestion forestière mais aussi rencontrer des propriétaires très impliqués dans leur forêt. Ce fut une vraie source d'échanges. Merci aux animateurs (Sébastien et Béatrice) !

Je remercie également pas l'ensemble du personnel et stagiaires du CRPF (Christelle, Valérie, Virginie, Annick, Carine, Eric, Nicolas, Alexandre, Richard, Stéphane, Jean et Baptiste) pour leur bonne humeur, leurs aides et leurs conseils tout au long du stage.

Merci à toutes les personnes qui ont participé au comité de pilotage pour leurs conseils avisés sur la mise en place d'un tel outil de choix des essences en Basse-Normandie et aux personnes ayant mis à disposition des données nécessaires au stage.

Merci à ma famille et mes amis pour le soutien qu'ils m'ont apporté.

Bref, un grand merci à toutes ses personnes, sans qui, ce stage n'aurait pas pu se faire dans d'aussi bonnes conditions de travail et de convivialité.

Liste des sigles.....	7
Liste des figures.....	8
Introduction	9
I. Contexte et problématique locale.....	10
I.1. Rappel sur la station forestière.....	10
I.1.1. La station forestière	10
I.1.2. Les types de stations.....	10
I.1.3. Les unités stationnelles	10
I.1.4. Les groupes écologiques	11
I.2. Pourquoi une révision des catalogues de stations et la mise en place d'un outil de choix des essences en Basse-Normandie?	11
I.2.1. Impact du changement climatique	11
I.2.1.1. L'évolution climatique	11
I.2.1.2. Conséquences sur les essences forestières, exemple du chêne pédonculé.....	11
I.2.1.3. Importance du bilan hydrique climatique ou édaphique	13
I.2.1.4. Prise en compte du changement climatique dans un outil de choix des essences.	13
I.2.2. Conservation des milieux forestiers productifs et enjeux des reboisements de peuplements pauvres*.....	14
I.2.3. Un territoire hétérogène	14
I.2.3.1. Variabilité climatique	14
I.2.3.2. Variabilité géologique	14
I.2.4. Un territoire non couvert sur son ensemble par des outils typologiques	15
I.2.4.1. Limites des catalogues de stations bas-normands	15
I.2.4.2. Limites des guides de choix des essences bas-normands.....	15
I.2.4.3. Limite de l'outil diagnostic station existant en Basse-Normandie.....	16
I.2.5. Les missions du CRPF de Normandie.....	16
II. Méthodes potentielles pour la révision des catalogues de stations	17
II.1. Présentation des méthodes généralement utilisées pour la révision des catalogues de station	17
II.1.1. Analyse des catalogues : méthode analytique	17
II.1.2. Analyses statistiques classiques (AFC*/CAH*).....	17
II.1.3. Méthode s'appuyant sur les habitats*.....	18
II.1.4. Approche station/production	18
II.1.5. Apport de la bioprédiction (Ecoflore et Ecoplant).....	18
II.1.6. Tournées Terrains et relevés complémentaires.....	19
II.1.7. Approche SIG (Systèmes d'Informations Géographiques) et modélisation	20

II.2.	Apport des différentes méthodes aux enjeux de la pré-étude	20
II.3.	Schéma général de la méthode retenue.....	21
III.	Présentation détaillée de la méthode retenue et premiers résultats	22
III.1.	Lecture analytique des catalogues.....	22
III.1.1.	Structuration des types de station des catalogues	22
III.1.2.	Similarités des stations	22
III.1.3.	Pertinence des types de stations.....	23
III.1.4.	Constitution des groupes écologiques.....	23
III.2.	Mise en place d'une base de données écologiques et utilisation de la bioprédiction.....	24
III.2.1.	Quels sont les relevés qui permettent les analyses statistiques et la mise en place de modèles..	24
III.2.2.	Utilisation de la bioprédiction pour la caractérisation des relevés et des groupes écologiques .	25
III.2.2.1.	Pertinence des types de stations.....	25
III.2.2.2.	Extension des catalogues	25
III.2.2.3.	Construction des modèles à partir de la bioprédiction	26
III.2.2.4.	Interprétation des analyses statistiques par la bioprédiction	26
III.2.2.5.	Biais possibles de la bioprédiction	26
III.2.3.	Quelles sont les variables d'entrée des modèles (MNT ; Météo France ; BRGM..).....	27
III.2.3.1.	Les données climatiques.....	27
III.2.3.2.	Les données géologiques	27
III.2.3.3.	Les données issues du MNT* (Modèle Numérique de Terrain)	28
III.3.	Méthode statistique.....	28
III.3.1.	Analyse de la structuration des stations.....	28
III.3.1.1.	Tri sur les relevés.....	28
III.3.1.2.	Interprétation des axes	29
III.3.2.	Constitution des Groupes écologiques.....	30
III.4.	Apport du terrain	30
III.4.1.	Biais possible de la bioprédiction.....	31
III.4.2.	Limites possibles des modèles	31
III.4.3.	Pertinence et extension des catalogues sur les SER	32
III.4.3.1.	Pertinence des catalogues	32
III.4.3.2.	Extension des catalogues sur les SER	32
	Conclusion et perspectives de travail.....	33
	Bibliographie	34
	Lexique	35
	Liste des annexes	37

Liste des sigles

AFC : Analyse Factorielle des Correspondances
ASTEC : Analyse Spatiale et Temporelle des espèces et des communautés
BRGM : Bureau de Recherches Géologiques et Minières
CAH : Classification Ascendante Hiérarchique
CNPF : Centre National de la Propriété Forestière
CRPFN : Centre Régionale de la Propriété Forestière de Normandie
ENGREF : Ecole Nationale du Génie Rural des Eaux et des Forêts
ETP : Evapotranspiration potentielle
GE : Groupe Ecologique
GEI : Groupe Ecologique Indicateur
GIEC : Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat
IDF : Institut du Développement Forestier
IGN : Institut Géographique National
IFN : Inventaire Forestier National
LERFOB : Laboratoire d'Etude des Ressources Forêt-Bois
MNT : Modèle Numérique de Terrain
ONF : Office National des Forêts
pH : potentiel Hydrogène
RF : Région Forestière
RUM : Réserve Utile Maximale
RMT AFORCE : Réseau Mixte Technologique Adaptation des Forêts au Changement Climatique
SER : Sylvoécorégion
SIG : Système d'Information Géographique
SRA : Schéma Régional d'Aménagement
SRGS : Schéma Régional de Gestion Sylvicole
US : Unité stationnelle

Liste des figures

Figure 1 : Schéma présentant le principe de la station forestière (S. Gaudin, CRPF Champagne-Ardenne)	10
Figure 2 : Cartographie des zones de vulnérabilité actuelle du chêne pédonculé (étude « chênaies atlantiques », Lemaire J., 2011).....	1
Figure 3 : Concept d'unités stationnelles prenant en compte le changement climatique (d'après S. Gaudin, CRPF Champagne-Ardenne).....	1
Figure 4 : Carte bioclimatique* de la Basse-Normandie pour une RU théorique de 70 mm (C. Rebel, 1994)	1
Figure 5 : Exemple de regroupements de types de stations entre deux catalogues	22
Figure 6 : Tableau illustrant un exemple d'homogénéisation de groupes écologiques des catalogues.....	24
Figure 7 : Ecogramme des relevés IFN classés dans la station N2a du catalogue des Hautes Collines de Normandie	25
Figure 8: Relevés IFN de trois régions forestières projetés dans Ecoflore.....	26
Figure 9 : Valeurs propres des axes issus de l'AFC	29
Figure 10 : Régression multiple sur l'axe 1 (Tanagra)	1
Figure 11: Régression linéaire entre l'axe 1 et le pH	1

Le changement climatique est un facteur prépondérant à prendre en compte pour la sylviculture actuelle et future. Dans un climat changeant, les forestiers doivent désormais se confronter à une nouvelle contrainte et s'orienter vers de nouvelles pratiques sylvicoles notamment pour le choix des essences. En effet, le choix des essences ne peut plus se limiter à une liste d'espèces présentes ou plantées couramment dans la région naturelle. Pour le sylviculteur, il existe différents outils qui peuvent l'aider dans le choix des essences et leur sylviculture, ce sont les guides et les catalogues de stations forestières. L'identification puis la cartographie des stations forestières préoccupent depuis longtemps les forestiers. Initiées dans les années 1950 par Philippe Duchaufour, les études stationnelles se sont multipliées en France à partir des années 1970.

Face à ce constat, Bernard ROMAN-AMAT a préconisé que la recherche-développement concerne en priorité la connaissance des potentialités forestières (notamment en ce qui concerne l'économie de l'eau), le choix des essences et la prévention des risques (Roman-Amat B., 2007). Il a insisté sur la *« nécessité d'une nouvelle définition de la station incluant des paramètres quantifiés et explicites, notamment la réserve en eau du sol et le niveau trophique, dans le but d'une évolution dynamique. C'est-à-dire permettant d'évaluer les potentialités et les contraintes de la station sous des climats simulés différents de l'actuel »*. Il prône ainsi la mise en place d'outils adaptés de description et de cartographie et a demandé la mise en place d'un : Réseau Mixte Technologique d'Adaptation des Forêts au Changement Climatique (RMT AFORCE) sur les stations forestières.

Cependant ces outils typologiques sont inégalement répartis sur le territoire français et certaines régions n'en sont pas entièrement recouvertes. La Basse-Normandie n'est actuellement pas recouverte dans son ensemble par des outils de choix des essences. Le sylviculteur normand manque donc d'un outil régional pour gérer au mieux ses peuplements.

Pour contrer ce manque, le Centre Régional de La Propriété Forestière de Normandie a lancé en 2012 une pré-étude pour l'élaboration d'un ou plusieurs outils en Basse-Normandie pour le choix des essences et la considération de la station forestière dans le cadre du changement climatique. La pré-étude n'a donc pas la prétention de concevoir l'outil mais elle a pour objectif de **proposer une méthode permettant de construire ce ou ces outils de choix des essences sur l'ensemble de la Basse-Normandie**.

La préétude vise ainsi trois objectifs :

- **Identifier les manques et les limites des outils sur les stations forestières existants en Basse-Normandie**
- **Regrouper les documents typologiques (guides, catalogues, cartes de stations...) et construire une base de données écologiques**
- **Définir la méthode de construction d'un ou plusieurs outils de choix des essences intégrant le changement climatique**

Elle devra répondre à différentes questions :

- Peut-on construire un outil simplifié de choix des essences commun à l'ensemble de la Basse-Normandie ou faut-il se référer aux sylvoécorégions définies par l'IFN?
- La synthèse des catalogues de stations existants peut-elle être étendue aux zones actuellement non recouvertes ?
- Quelle méthode de construction retenir pour cet ou ces outils ?
- Comment intégrer le changement climatique ?

I. Contexte et problématique locale

I.1. Rappel sur la station forestière

I.1.1. La station forestière

Selon l’Inventaire Forestier National (IFN), une station forestière est « une étendue de terrain de superficie variable (du m² à plusieurs dizaines d’hectares), homogènes dans ses conditions physiques et biologiques (climat local, topographie, géomorphologie, sol, composition floristique et structure de la végétation spontanée). Une station forestière justifie pour une essence déterminée, une sylviculture précise avec laquelle on peut espérer une productivité comprise entre des limites connues».

C’est à cette échelle que le choix des essences s’effectue lors d’un reboisement ou de la mise en place d’une régénération naturelle et où la notion de changement climatique interviendra de plus en plus dans la décision du sylviculteur.

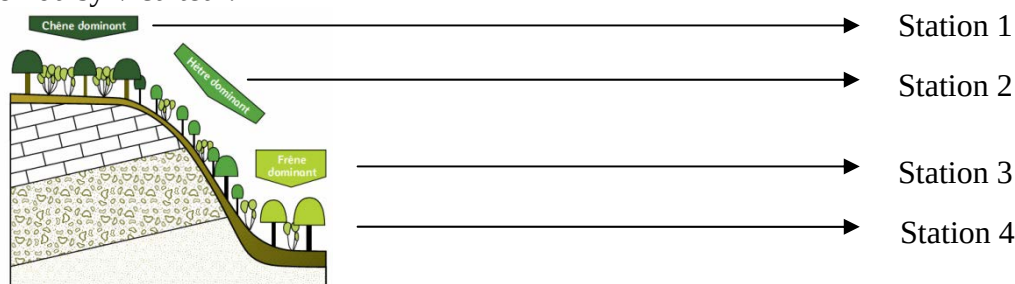


Figure 1 : Schéma présentant le principe de la station forestière (S. Gaudin, CRPF Champagne-Ardenne)

I.1.2. Les types de stations

Un type de station est une synthèse des caractéristiques d’un ensemble de stations analogues selon la flore, le sol, le climat...

Les types de stations sont généralement regroupés dans des catalogues.

Les catalogues de stations sont des documents qui présentent l’inventaire de tous les types de stations présents pour une région naturelle et leur description précise, ainsi que des critères simples pour les reconnaître sur le terrain (IFN). Ils comprennent en général les parties suivantes :

- une présentation générale de la région étudiée ;
- une synthèse sur la méthodologie employée pour la construction et des éléments de diagnostic comme la végétation ;
- une description des différents types de stations forestières où chaque type de station est illustré par un relevé type ou exemple type (relevé botanique géolocalisé* accompagné du profil pédologique).

I.1.3. Les unités stationnelles

Les unités stationnelles sont des regroupements de types de station (d’un ou plusieurs catalogues) ayant les mêmes potentialités* pour les principales essences d’une région. Ces regroupements sont construits essentiellement dans un but de production et d’aménagement sylvicole. Les unités stationnelles sont généralement décrites et regroupées dans un guide pour le choix des essences.

Ces unités de station sont constituées par le regroupement de types de station d’un ou plusieurs catalogue(s). Ces guides de choix des essences ont été mis en place pour simplifier les catalogues et les rendre accessibles aux gestionnaires. Ces derniers peuvent ainsi choisir de façon raisonnée les essences écologiquement les mieux adaptées aux conditions de milieu, et parfois adapter leurs itinéraires sylvicoles. Ils fournissent des informations pratiques sur des aspects appliqués liés aux stations : fertilité, habitats, dynamique de la végétation, conséquences de certaines pratiques sylvicoles, conseils pour le choix des essences à cultiver, etc.

I.1.4. Les groupes écologiques

Un groupe écologique est l'ensemble des espèces végétales présentant approximativement la même amplitude par rapport à un ou plusieurs facteurs écologiques (trophique, hydrique). Les catalogues de stations possèdent chacun une liste de groupes écologiques propres à la région traitée. Les groupes écologiques sont souvent classés en fonction du niveau hydrique et trophique de la végétation (exemple de groupes : neutrocline, acidicline-hygrocline...).

I.2. Pourquoi une révision des catalogues de stations et la mise en place d'un outil de choix des essences en Basse-Normandie?

I.2.1. Impact du changement climatique

Le changement climatique influencera de manière considérable la forêt (migration des espèces, dépérissement...) et la gestion de celle-ci dans les prochaines décennies. Ainsi dans un contexte de climat changeant, la prise en compte du climat au niveau de la station s'avère plus que nécessaire lors de reboisement ou de diverses opérations sylvicoles.

I.2.1.1. L'évolution climatique

Pour mieux comprendre les risques liés au changement climatique, le Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC) a été créé en 1988. Ce groupe travaille sur les conséquences possibles du changement climatique et les éventuelles stratégies d'adaptation et d'atténuation.

Le quatrième rapport du GIEC datant de 2007 montre que la principale cause du réchauffement climatique résulte des activités humaines et de la libération en masse de gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère.

Au niveau national, au cours du 20^{ième} siècle, les scientifiques ont relevé une augmentation des températures moyennes de 0.74°C pour la période 1906-2005 (Bernstein L. et al., 2007).

Le GIEC a mis en place différents scénarios évalués à partir des comportements socio-économiques de la planète (allant du plus pessimiste au plus optimiste). Les scénarios pessimistes évoquent une augmentation des températures moyennes de 4 à 6°C. Au contraire, les scénarios optimistes prévoient une augmentation de 1 à 3°C pour le siècle à venir (Bernstein L. et al., 2007).

Le changement climatique se caractérisera essentiellement par une accentuation des contrastes saisonniers : des étés plus secs contre des hivers plus pluvieux (Roman-Amat B., 2007).

Il sera aussi caractérisé par une augmentation des aléas climatiques extrêmes notamment les épisodes de sécheresses estivales voire printanières.

I.2.1.2. Conséquences sur les essences forestières, exemple du chêne pédonculé

Les essences forestières sont conditionnées aussi bien par la pédologie que par le climat local. Ainsi, la température et l'alimentation en eau sont deux facteurs limitants.

L'augmentation des températures provoque chez les arbres un allongement de la saison de végétation (débourrement précoce et chute de feuilles tardive). Les arbres seront donc plus sensibles aux gelées précoces et tardives, avec pour conséquence une baisse de la floraison et de l'activité photosynthétique (Roman-Amat B., 2007).

La diminution des précipitations jouera un rôle dans le bon fonctionnement physiologique de l'arbre. Les déficits hydriques seront plus fréquents et pourront provoquer des embolies au niveau des vaisseaux conducteurs de sève ce qui affaiblira considérablement l'arbre. La diminution des précipitations engendrera aussi une contrainte hydrique notamment sur les sols avec une réserve utile maximale* (RUM) faible à moyenne actuellement.

Le type de sol se combine aux effets du climat. En effet, les caractéristiques du sol (richesse chimique, texture, structure, profondeur, nappe proche de la surface...) conditionneront la répartition des

essences mais aussi leur état sanitaire. Le Chêne sessile (*Quercus petraea*), sensible au froid et aux gelées de printemps, peut néanmoins accepter une faible alimentation en eau durant l'été et une richesse chimique assez faible du sol. Au contraire, le Chêne pédonculé (*Quercus robur*) exige des sols plus riches avec une alimentation en eau constante toute l'année. Une alimentation en eau non constante lui sera défavorable. Le Chêne sessile est adapté à un plus grand nombre de sols que le Chêne pédonculé, notamment à des sols à faible réserve en eau. Sur ce type de sol ou dans les secteurs climatiques à faibles précipitations, le Chêne sessile doit-être favorisé en ne conservant le Chêne pédonculé qu'en essence secondaire (mélange) lors des coupes de régénération* (source : CRPF de Normandie).

Actuellement en France, de nombreux massifs forestiers présentent des taux élevés de dépérissement du Chêne pédonculé. Une étude (Rodrigues A., 2009) a montré que l'augmentation du déficit hydrique liée à l'augmentation des températures était la principale cause de mortalité des chênes pédonculés.

De même, les CRPF de la façade Atlantique constatent des dépérissements dans les chênaies de leurs régions depuis plusieurs années. Les changements climatiques risquent d'être un défi majeur pour la filière bois et les chênaies en particulier. Plusieurs CRPF se sont réunis, avec l'Institut pour le Développement Forestier (IDF) pour un projet visant à caractériser les facteurs de dépérissement du Chêne pédonculé. Ces dépérissements sont en général caractérisés par un taux de défoliation plus important, une mortalité accrue et une croissance ralentie. Des seuils climatiques ont été mis en évidence par cette étude (Lemaire J., 2011). Un des critères retenus a été le bilan hydrique* climatique de la saison de végétation (Avril à Octobre). Il s'agit de la différence entre la moyenne des précipitations et ce qui est perdu par la transpiration des végétaux et par l'évaporation de l'eau au sol, communément appelée évapotranspiration (ETP)*. Ces seuils sont à connaître pour la gestion du Chêne pédonculé car le risque de dépérissement en dépend. Les données climatiques de la station météorologique la plus proche comme la température moyenne ou le niveau de précipitations suffisent souvent pour définir le risque.

La forêt privée bas-normande est composée essentiellement de feuillus dont les principales essences sont le chêne sessile, le chêne pédonculé et le hêtre (4 700 000 m³, 4 000 000 m³ et 1 700 000 m³ en volume sur pied respectivement selon le Schéma Régional de Gestion Sylvicole de Basse-Normandie (SRGS 2006). La région est donc directement concernée par le problème du changement climatique et le risque de dépérissements.

Plus la vulnérabilité climatique est importante, plus la niche productive du Chêne pédonculé sera réduite. Dans les zones à vulnérabilité climatique élevée, il sera à réserver aux sols riches à forte réserve en eau ou bien alimentés en eau.

En Normandie, des peuplements à Chênes pédonculés prépondérants dépérissants ont ainsi été localisés dans les zones climatiques moins favorables (*points violets sur la carte, figure 2*) sur des sols difficiles. Ces cartes montrent l'importance de construire un outil de choix des essences en phase avec les connaissances actuelles sur le changement climatique et l'autécologie* des essences.

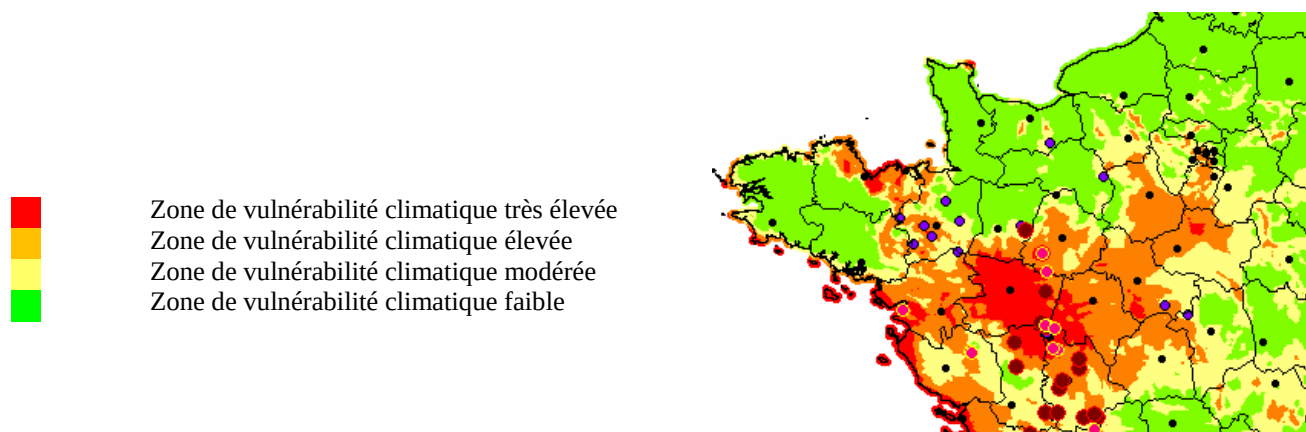


Figure 2 : Cartographie des zones de vulnérabilité actuelle du chêne pédonculé (étude « chênaies atlantiques », Lemaire J., 2011)

I.2.1.3. Importance du bilan hydrique climatique ou édaphique

Face au changement climatique, le développement forestier vise en priorité la connaissance des potentialités forestières (notamment en ce qui concerne l'économie de l'eau), le choix des essences et la prévention des risques (Roman-Amat, 2007). Des travaux en géomatique ont été mis en place pour caractériser la variabilité en termes de bilan hydrique édaphique des unités stationnelles des guides réalisés classiquement (Richard J.B., 2011). Les guides définis à large échelle comme celui envisagé en Basse-Normandie devrait avoir comme premier facteur de variation le climat. Il est donc nécessaire d'affiner le choix des essences grâce aux cartes climatiques et aux différents indices de stress climatiques (Lebourgeois F., Piedallu C. 2005 ; Rodrigues A. 2009).

Pour évaluer et quantifier au mieux l'impact du changement climatique sur les essences et le milieu, il est nécessaire d'évaluer différents indices biopédoclimatiques. L'eau est un des éléments les plus importants et déterminants dans l'adaptation des essences dans leur milieu. Effectuer le bilan hydrique de la station est donc primordial pour la bonne adéquation de l'essence à la station.

Un bilan hydrique édaphique est la variation du contenu en eau du sol résultant des apports et des pertes en eau pour une période de temps déterminée (journée, semaine, décade, saison, année). Les apports d'eau sont en général, pour le végétal, issus des précipitations (=l'offre) et de la réserve en eau du sol (réserve utile RU)*. Les sorties d'eau du système se font à travers l'évapotranspiration* (la demande) mais aussi par les pertes liées au relief et au drainage au niveau du sol (Cantat et al. 2009).

Il ne faut pas oublier les autres variables essentielles à prendre en compte au niveau de la station qui sont la température, le vent, l'ensoleillement, la pluie... A partir de toutes ces variables, différents indices hydriques climatiques répondant aux divers scénarii climatiques sur divers pas de temps pourront être calculés grâce notamment au modèle numérique de terrain au pas de 50 m et aux données de Météo France. Ces indices permettront d'expliquer la productivité et l'aire de répartition de nombreuses essences.

I.2.1.4. Prise en compte du changement climatique dans un outil de choix des essences

Les nouveaux outils de choix des essences auront une approche dynamique, essentiellement centrée sur les aspects climatiques en reprenant les seuils (hydriques) définis pour les principales essences forestières de production. La prise en compte du climat, de son évolution dans le temps et de son impact sur les « unités stationnelles » en termes de bilan hydrique édaphique sera un des facteurs clés de leur construction (figure 3). En effet, l'augmentation des températures fera évoluer, par exemple, une station fraîche vers une station plus sèche et donc possédant des potentialités différentes.

La variabilité spatiale du climat est aussi à prendre en compte. Les cartes bioclimatiques de la Basse-Normandie (Rebel C., 1994) montrent des déficits hydriques pour une réserve en eau théorique. L'exemple de la carte (figure 4) souligne la variabilité des climats normands pour une réserve utile assez faible de 70 mm. Le risque de dépérissement variera entre ces zones climatiques. Il est donc important en Normandie de prendre en compte le climat local. Le choix des essences est à

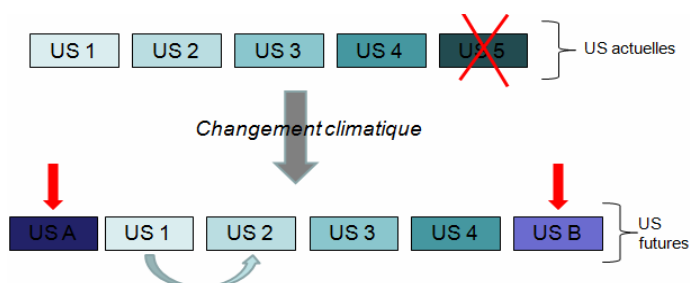


Figure 3 : Concept d'unités stationnelles prenant en compte le changement climatique (d'après S. Gaudin, CRPF Champagne-Ardenne, 2007)

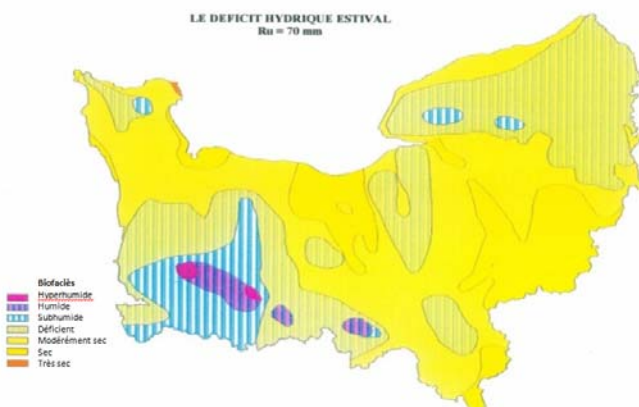


Figure 4 : Carte bioclimatique* de la Basse-Normandie pour une RU théorique de 70 mm (C. Rebel, 1994)

adapter à la zone climatique surtout dans un contexte de climat changeant. En effet des essences sensibles comme le hêtre ne seront plus à préconiser dans les secteurs déjà secs actuellement.

I.2.2. Conservation des milieux forestiers productifs et enjeux des reboisements de peuplements pauvres*

En Basse-Normandie, la forêt privée représente 81 % de la surface boisée contre seulement 19 % pour les forêts domaniales.

Cependant, ce taux de boisement est très variable d'un département normand à l'autre puisqu'il varie de 7 % dans la Manche (l'un des départements les moins boisés de France) à 17% dans l'Orne, département le plus boisé de Basse-Normandie (voir carte en annexe 1). Les feuillus occupent une grande proportion des surfaces boisées (environ 80 %) par rapport aux résineux (environ 20 %).

La Basse-Normandie s'inscrit dans un contexte régional de dynamique de reboisement des peuplements pauvres sur des stations à potentiels de production. La gestion forestière doit donc favoriser l'adaptation des nouveaux peuplements, afin de conserver le maximum de leurs potentialités intégrant leur rôle de séquestration de carbone atmosphérique.

Pour autant, 56% des peuplements pauvres (représentant 35000 ha dans leur totalité) ne sont pas couverts par un guide de choix des essences en Basse-Normandie, comme d'ailleurs 47% du territoire régional.

Leur mobilisation n'excluant pas le prélèvement des bois rémanents* (découpe fin inférieure à 7 cm de diamètre) doit toutefois être raisonnée en fonction des caractéristiques physico-chimiques des sols en place. La mise en place d'un outil unique de choix des essences est un enjeu fort pour le reboisement de ces peuplements.

I.2.3. Un territoire hétérogène

La région Basse-Normandie est un territoire qui couvre 17590 km² ce qui représente 3.2% du territoire national. Elle est constituée de trois départements : la Manche, l'Orne et le Calvados.

La difficulté de construire un outil sur l'ensemble de la Basse-Normandie est que la région dispose d'un territoire hétérogène autant sur le plan climatique, géologique que forestier (voir cartes en annexe 2).

I.2.3.1. Variabilité climatique

La Basse-Normandie appartient en grande partie au domaine climatique de type océanique. Le climat de type océanique est principalement lié à sa situation géographique (mer de la Manche) qui influe sur la pluviométrie, les températures ainsi que le vent. Cependant, la Basse-Normandie reste une région avec des climats contrastés entre les régions du littoral et celles de l'intérieur des terres. Comme disait le biogéographe Gérard Houzard (1995): « *La Basse-Normandie est une région verdoyante et humide où l'on écoute l'herbe pousser, d'un vert pays où fleurit le pommier... mais où la réalité se révèle beaucoup plus complexe et changeante* ».

Les précipitations vont de 1300 mm dans le secteur Nord de la Manche à moins de 700 mm dans l'Orne (Pays d'Argentan).

Idem pour les températures qui sont fortement conditionnées par la proximité ou l'éloignement de la mer. Dans la Manche, les températures moyennes annuelles se situent autour de 11°C alors que dans l'Orne et le Calvados, elles sont comprises entre 10 et 10.7°C (SRGS, 2006).

I.2.3.2. Variabilité géologique

La Basse-Normandie se divise en deux grands ensembles géologiques : La Normandie Armoricaire, constituée de terrains anciens et la Normandie sédimentaire qui s'appuie sur des couches géologiques plus récentes (SRGS, 2006).

La Normandie armoricaire se situe du côté occidental de la Basse-Normandie. Elle est constituée de roches de l'ère primaire telles que les grès, les schistes, ou les granites. Elle se traduit par un paysage varié

alternant des collines (allant parfois jusqu'à 400 m d'altitude dans la région des hautes collines de Normandie) et des bassins.

Au contraire, à l'Est, on se trouve sur le plateau sédimentaire appartenant au Bassin parisien, où les calcaires et les craies dominent. Une grande partie de cette zone est recouverte par l'argile à silex (produit issu de la décalcification de la craie).

La pré-étude et la suite de l'étude, via la phase de terrain, permettra de voir si la géologie est source de variabilité des stations forestières bas-normandes. S'il s'avère qu'il y a une variabilité due à la géologie, il sera peut-être nécessaire de la distinguer dans le futur outil de choix des essences.

I.2.4. Un territoire non couvert sur son ensemble par des outils typologiques

La Basse-Normandie n'est pas recouverte dans son ensemble par des outils typologiques simples de choix des essences (voir annexe 3), ce qui est un manque criant notamment dans le cadre de la politique forestière actuelle de reboisement des peuplements pauvres.

La Basse-Normandie, tout comme les autres régions métropolitaines, est découpée en régions forestières. Les régions forestières sont des divisions territoriales où règnent des conditions similaires (géologie, climat) du point de vue forestier. La Basse-Normandie possède 10 régions naturelles. Depuis 2007, l'IFN a regroupé les régions forestières (RF) en sylvoécorégions* (SER) (voir annexe 4). Peut-on étendre les typologies existantes à une SER et ainsi recouvrir les zones non couvertes ? Si oui, comment ? Si oui, les typologies existantes sont-elles valides, notamment dans le cadre du changement climatique ?

Des guides ont été récemment développées avec une volonté d'intégration du changement climatique dans le conseil de choix des essences, mais ces méthodes se basent sur un fort dire d'expert (Gaudin S., 2007 ; Reboul J-B., 2011).

Les outils existants en Basse-Normandie ont souvent été définis à petite échelle mais surtout à climat constant. Ces ouvrages, bien que complets, possèdent donc des limites.

I.2.4.1. Limites des catalogues de stations bas-normands

Les catalogues de stations sont des documents très complets du point de vu scientifique mais ils possèdent néanmoins des limites (voir caractéristiques des catalogues en annexe 5). La pré-étude a permis de mettre en avant ces limites par une lecture des différents catalogues, de tests sur le terrain ou par la caractérisation des relevés de l'IFN :

- **Ouvrages souvent « lourds »** : plus de 200 pages et difficiles à lire pour des non spécialistes et un grand nombre de types de stations décrits ;
- **Peu maniables sur le terrain** : clés de détermination trop grandes (plus de 4 pages), un grand nombre de types de stations, des nomenclatures et des groupes écologiques divergents d'un catalogue à l'autre ;
- **Statiques face au changement climatique** : limite la mise en place d'une sylviculture durable dans le temps. En effet, si les conditions climatiques changent, il faut réviser le catalogue.
- **Ouvrages anciens** (années 80-90) : pas de prise en compte des avancées récentes de la recherche en écologie forestière et du degré d'augmentation de température durant la dernière décennie ;
- **Peu didactiques pour les problématiques de tassement du sol ou de la fragilité chimique** : absence de caractère quantitatif des descriptions des types de stations (aucune borne pour le pH, la réserve en eau ou la sensibilité au tassement).

Tous ces points constituent trois obstacles majeurs pour une approche à l'échelle régionale.

I.2.4.2. Limites des guides de choix des essences bas-normands

Les guides de choix des essences présentent aussi des limites :

- **Construction par potentialité forestière** et moins en termes d'écologie de la station (flore, habitat, sol, climat ou de la topographie de la station). Or, un facteur tel que la topographie est un facteur important à prendre en compte dans le cadre du changement climatique ;
- **Manque d'harmonisation entre ces guides au niveau régional** : la Basse-Normandie possède seulement deux guides sur deux régions forestières aux nomenclatures différentes (Pays d'Auge et Hautes collines de Normandie) ;
- **Statique face au changement climatique** : en Basse-Normandie, la gestion sylvicole n'est pas raisonnée en fonction de ce paramètre majeur, au contraire du guide pour l'identification des stations et le choix des essences de l'Argonne (Perrier C., 2007) qui préconise des essences en fonction du changement climatique, de même que le guide de la région Centre (Reboul J-B, 2011).

I.2.4.3. Limite de l'outil diagnostic station existant en Basse-Normandie

Le CRPF de Normandie possède depuis 2005 un outil informatique « DIAGSTAT v.β » qui effectue un diagnostic de station assez général. Il prend en compte les critères usuels tels que la géologie, la topographie, le sol, la flore et le climat (intégration des travaux des bioclimats de Houzard). Cet outil ne prend pas en compte l'évolution du climat et les risques qui en découlent. Cet outil sera donc à actualiser et à moderniser suite aux résultats de la pré-étude et aux avancées de la recherche forestière sur l'autécologie des essences et des recherches sur le climat (cartes bioclimatiques...).

I.2.5. Les missions du CRPF de Normandie

Le CRPFN est un établissement public national (délégation du Centre National de la Propriété Forestière). Il représente la propriété forestière privée à travers son conseil d'administration composé de propriétaires élus par l'ensemble de la profession. Ses différentes actions portent essentiellement sur :

L'établissement des Schémas Régionaux de Gestion Sylvicole (SRGS). Ce sont des documents qui précisent et orientent la politique forestière en fonction des conditions naturelles et des caractéristiques de la forêt privée régionale. Actuellement, le SRGS de Basse-Normandie (2006) comporte des limites face au changement climatique. En effet, peu de préconisations dans le choix des essences par rapport au changement climatique sont dictées. Une prise en compte des recherches actuelles sur l'écologie des essences et du changement climatique serait un plus dans l'élaboration du SRGS.

La rédaction des Codes de Bonnes Pratiques sylvicoles (CBPS) qui est un document d'orientation permettant de gérer durablement sa forêt par des consignes sylvicoles précises pour les petites propriétés (4 à 10 ha).

L'agrément des Plans Simples de Gestion (PSG). Les PSG sont des dossiers qui rassemblent les renseignements administratifs d'une propriété forestière (surface, localisation...), la description du milieu naturel, les peuplements forestiers et le programme de coupes et travaux sur 10 à 20 ans. Les techniciens du CRPF sont les personnes qui instruisent les PSG et ce sont eux qui conseillent les propriétaires lors de reboisement. L'agrément du PSG est donné par le conseil d'administration sur rapport des techniciens instructeurs. Un outil de choix des essences s'avère donc nécessaire pour orienter et faciliter le choix des essences dans le cadre du changement climatique.

Le conseil, le développement et la vulgarisation de la gestion forestière (expérimentations, fiches techniques...) sont d'autres missions du CRPF. Ces services sont un « moteur » pour le développement forestier et l'adaptation des forêts au changement climatique (mise en place d'arboretums expérimentaux du projet européen REINFORCE pour savoir quelles essences seront les mieux adaptées au changement climatique, participation à l'étude « chênaie atlantique...).

Point sur la partie I :

L'incontestabilité du changement climatique, l'absence d'une typologie de choix des essences homogène sur l'ensemble de la Basse-Normandie, les missions (conseil, développement...) et la politique actuelle du CRPF sur le reboisement des peuplements pauvres renforcent le choix du CRPF sur l'établissement d'un nouvel outil de choix des essences en Basse-Normandie.

II. Méthodes potentielles pour la révision des catalogues de stations

La pré-étude et les méthodes développées pour la révision des catalogues de station doivent répondre aux questions suivantes :

- Identifier les limites et les manques des outils sur les stations forestières et évaluer la fiabilité des outils existants,
- Synthèse des typologies existantes et mise en place d'une base de données écologiques,
- Définition de la zone de validité du guide et méthode de construction du ou des guides simplifiés de choix des essences.

II.1. Présentation des méthodes généralement utilisées pour la révision des catalogues de station

Pour construire un outil de choix des essences, différentes méthodes existent. Certaines peuvent s'utiliser seules, mais en générale elles sont couplées entre elles. L'ouvrage « *Les outils d'aide à la reconnaissance des stations forestières et au choix des essences. Méthodes et recommandations pratiques ou Guide-âne* » (Dumé G., Forêt M., 2006) est un guide faisant une analyse détaillée de l'ensemble des outils réalisés pour l'identification des stations forestières, de leurs méthodes d'élaboration et des différentes pratiques pour la mise en place d'un guide de station. Les méthodes listées ci-dessous se réfèrent pour la plupart à cet ouvrage. Les méthodes ci-après sont celles-couramment utilisées pour la construction de guide de choix des essences.

II.1.1. Analyse des catalogues : méthode analytique

Cette méthode repose sur une lecture synthétique (grille de lecture, tableau synthétique) des types de stations permettant de faire ressortir les grandes variables écologiques conditionnant celles-ci.

Cette méthode permet de faire une synthèse des facteurs écologiques structurant un catalogue, d'analyser par contraintes sylvicoles (facteurs limitants comme l'eau, la richesse chimique...) les types de stations et de définir des groupes écologiques (GE) communs au niveau régional. Elle propose ainsi un premier regroupement des types de stations en unités stationnelles.

L'inconvénient d'une telle méthode est qu'il y a une perte de l'information lors de la mise en place d'une grille de lecture commune des catalogues car on ne garde que les principaux facteurs communs d'un catalogue à l'autre.

II.1.2. Analyses statistiques classiques (AFC*/CAH*)

Cette méthode nécessite au préalable de rassembler l'ensemble des relevés écologiques (pédologiques ou phytoécologiques) de la zone étudiée (relevés types des catalogues de stations, relevés issus de diverses bases de données...).

L'AFC (Analyse Factorielle des Correspondances) des données floristiques permettra d'avoir un aperçu des facteurs qui conditionnent la répartition des relevés et des espèces sur la région étudiée.

Puis la CAH (Classification Hiérarchique Ascendante) à partir des coordonnées factorielles issues de l'AFC, permettra de constituer (et/ou valider) des unités stationnelles et des groupes écologiques. Cette analyse constituera ainsi une base pour le regroupement de certaines stations et permettra de vérifier la pertinence des types de station ou des groupes écologiques construits à partir des catalogues existants. De plus, cette méthode validera l'extension des catalogues sur les zones actuellement non couvertes. Il sera en effet possible d'observer si certains types de station sont similaires aux types de stations des zones préalablement couvertes.

Cette méthode est particulièrement adaptée pour des régions dépourvues de catalogues comme pour le Parc Naturel Régional du Livradois-Forez (T.Merrien, 2005) ou dans notre cas: la Basse-Normandie. Richard Bœuf (ONF), en partant des données initiales des catalogues, a utilisé cette méthode (AFC/CAH)

pour la constitution de groupes de relevés et de nouveaux groupes écologiques pour le guide de choix des essences de la vallée du Rhin (Madesclaire A., 2003).

L'analyse des résultats issus de l'AFC/CAH validera les Groupes Ecologiques ou les Unités Stationnelles proposés suite à la synthèse des catalogues. Elle indiquera également s'il y a un effet fort des SER ou des régions forestières (nécessité ou pas d'une distinction dans le futur outil ?).

Cette méthode a l'inconvénient d'être longue, car il faut homogénéiser les différents relevés (avoir une base de données de relevés sols et floristiques cohérentes). Le risque de cette méthode est de donner une prépondérance à l'information floristique et moins à d'autres paramètres comme la géologie ou le sol. De plus, si elle est réalisée sur une région trop vaste à forte diversité stationnelle, il peut y avoir un risque de lissage des groupes constitués (milieux rares moins pris en compte par exemple).

II.1.3. Méthode s'appuyant sur les habitats*

Cette méthode repose sur l'utilisation d'une clé de reconnaissance des habitats définie au niveau d'une région naturelle donnée. Cette clé permet de répartir les types de stations et les sous types dans un habitat spécifique (correspondance « station/habitat ») en partant des relevés types ou autres relevés (terrains, bases de données). Un exemple de guide s'appuyant sur cette méthode est le guide de la région Centre (Reboul, J-B, 2011).

L'avantage de cette méthode est que les habitats fournissent des informations précises sur l'écologie de la station (variations climatiques, pédologie, topographie...) et ils prennent en compte la dynamique forestière. Les autres avantages de cette méthode est qu'elle regroupe rapidement des types de stations similaires de catalogues différents. Les habitats sont définis au niveau régional et sont relativement précis en termes d'écologie du milieu (variations climatiques, pédologie, niveau hydrique et trophique).

Un inconvénient est qu'elle n'est pas suffisante pour former des unités stationnelles (US). En effet, les habitats à large amplitude doivent être redécouverts en variantes pour former des US.

De plus, il se pose le problème des sylvo-faciés* des peuplements pour certains relevés (exemple des peuplements résineux) et la difficulté de les relier à des habitats. Enfin en Basse-Normandie, il n'existe pas encore de clé d'habitats et il y a peu ou pas d'exemples types de stations dans les catalogues ce qui pose problème pour caractériser les types de stations.

II.1.4. Approche station/production

L'approche station/production est une approche à ne pas négliger car c'est une des premières interrogations du sylviculteur: quel niveau de production de bois en volume peut-on espérer pour telle essence ? Quelle sera la qualité des produits obtenus ? Cette approche rend compte des potentialités d'une station forestière (caractérisation du milieu, caractérisation de la production avec un indice de fertilité et mise en relation du milieu avec l'indice de fertilité). Pour exemple, *Le livret vert du Pays d'Auge* (Véronique E., 1987) s'appuie sur les potentialités de chaque essence pour constituer les unités stationnelles en partant de la pré-étude effectuée en amont.

Les inconvénients d'une telle méthode est qu'il faut mettre en place un protocole dendrométrique* (lourd à mettre en place). La production est un paramètre difficile à quantifier car nécessite un suivi dynamique du peuplement (volume, mortalité, croissance, surface terrière...). A cela, s'ajoute la difficulté d'interprétation et de prédiction de l'évolution de l'indice de fertilité à cause de la pollution atmosphérique (augmentation des teneurs azotées atmosphériques...).

Cette méthode sera à traiter pour la suite du projet, mais elle ne sera pas traitée dans la pré-étude.

II.1.5. Apport de la bioprédiction (Ecoflore et Ecoplant)

Il existe différents outils permettant de prédire, à partir de la végétation, le niveau hydrique et trophique de la station. Si ces outils sont validés, ils seront intéressants pour la révision de l'outil diagnostic station du CRPFN.

- **Ecoflore** (Bartoli et al., 2000) :

La végétation possède l'avantage de renseigner les caractéristiques climatiques et édaphiques d'une station. Pour faciliter ce diagnostic écologique, un outil informatique (Ecoflore) a été mis au point par l'ONF. Le logiciel Ecoflore est un logiciel se basant sur « la valeur indicatrice des plantes » issu de la Flore Forestière Française (Rameau et al., 1989). Il permet ainsi de déterminer pour chaque espèce son rattachement à un groupe d'espèces indicatrices (GEI) croisant le niveau trophique et le niveau hydrique. Ce croisement est illustré par un écogramme. Ecoflore place un relevé floristique dans l'écogramme en calculant la position moyenne des espèces présentes, pondérée par leur coefficient d'abondance-dominance. Cet outil permet d'obtenir un écogramme d'une station forestière, d'un relevé ou d'une espèce.

Le logiciel donne une représentation graphique de la station, qui superposée à la niche écologique de l'espèce, permet de voir si cette dernière est oui ou non en station.

- **Variables indicatrices et Predictions Vi** (Gégout et al., 2001) :

Jean Claude Gégout a mis au point à partir de la base de données Ecoplant du LERFOB (AgroParisTech de Nancy) un programme utilisant les valeurs indicatrices des plantes et permettant de déterminer une valeur moyenne (pH*, S/T (taux de saturation), C/N*, ETP sur la période (mars-mai), bilan hydrique...) du milieu à partir d'un relevé floristique. Chaque plante est caractérisée par un optimum écologique (valeur pour laquelle la fréquence de l'espèce est maximale). Ce programme permet d'avoir un diagnostic rapide du niveau trophique et hydrique du sol à partir de la végétation.

L'utilisation de ces outils aidera à la validation des catalogues (pertinence des types de stations, extension des catalogues) ou à étudier la variabilité entre SER ou régions naturelles.

II.1.6. Tournées Terrains et relevés complémentaires

Afin de pouvoir construire un outil fiable et cohérent, il est préférable en amont de valider les guides et catalogues de stations existants par rapport à l'analyse de trois contraintes stationnelles que sont la fragilité chimique (risque d'appauvrissement des sols), la fragilité physique (sensibilité au tassement) et le bilan hydrique (réserve en eau, présence ou absence des nappes d'eau temporaire ou permanente). Cette étape permettra de faire un listing des failles (stations manquantes, exposition et topographie non prises en compte...) des catalogues et des guides. Les typologies de stations existantes pourront alors être validées ou réévaluées.

De plus, il paraît nécessaire d'effectuer des relevés complémentaires pour tester les catalogues de stations existants sur les zones dépourvues de catalogue de la même sylvoécocorégion mais aussi de voir la variabilité du territoire Bas-Normand.

La réalisation de nouveaux relevés écologiques est souvent utile tout au long de l'élaboration d'un guide. Leur nombre et leur localisation doivent être adaptés et homogènes au territoire étudié (points insuffisants en fond de vallons par exemple...).

Une première phase sera d'effectuer une tournée destinée à se familiariser avec le contexte local et les documents existants (catalogues). Ces relevés serviront à garder une trace des points visités, mais ils ne seront pas utilisés pour des traitements de données ultérieurs.

Une autre phase de terrain sert à réaliser de nouveaux relevés destinés, cette fois-ci, à être analysés et rajoutés au jeu de données constitué. Pour apprécier toute la variabilité de la zone géographique concernée, il faut visiter le maximum de sites représentatifs sur le terrain, en choisissant au mieux l'emplacement des relevés.

Un relevé phytoécologique comporte un relevé de végétation avec l'abondance / dominance de chaque espèce, une description de profil de sol à la tarière avec description de l'humus et diverses informations sur la géographie, la position topographique, l'exposition, la pente ainsi que des éléments sur le contexte local (type de peuplements, âge, stade en dynamique, perturbations...). Le relevé est effectué sur 400 m². Ces relevés permettront aussi de valider ou de tester les outils de bioprédiction (Ecoflore (ONF), Ecoplant (ENGREF)) vus précédemment.

II.1.7. Approche SIG (Systèmes d'Informations Géographiques) et modélisation

Les travaux du Guide âne cités ci-dessus précisent les manières classiques de construction des catalogues de station et des guides simplifiés de choix des essences. Ces méthodes sont limitées car elles n'intègrent pas le climat et son évolution. Depuis peu, des travaux en géomatique ont été mis en place pour caractériser la variabilité en termes de bilans hydriques édaphiques des unités stationnelles des guides réalisés classiquement et pour définir quelles peuvent être les utilisations de ces cartes (Richard J-B., 2011). Il ressort que pour les guides qui sont définis à large échelle comme celui que l'on envisage en Basse-Normandie, la variabilité climatique est le premier facteur de variation dans les bilans hydriques édaphiques des unités stationnelles.

Le SIG permettra ainsi de coupler une méthode classique de construction des catalogues de stations à une approche prospective grâce à la géomatique dans le but d'obtenir une carte prédictive des stations avec comme variables d'entrées : le climat (modèle Aurehly de Météo France ou Hélios de l'ENGREF), la géologie (couche harmonisée du BRGM) et le MNT (Modèle Numérique de Terrain). L'enjeu est d'utiliser un jeu de données pédologiques (RUM) ou un jeu de relevés phytoécologiques, auquel on applique la bioprédiction que l'on modélise avec les variables d'entrées (topographie, géologie, climat).

Une des faiblesses de la pré-cartographie prédictive des stations (Piedallu C. et al., 2006) venait du relatif manque de précision des modèles sur le niveau trophique ou hydrique. Ces modèles sont ensuite combinés afin de construire une carte prédictive des stations à haute résolution (50 m).

Cette carte prédictive permettra :

- D'étendre à moindre coût les types de station sur l'ensemble de la Basse-Normandie.
- De voir les types de station non pris en compte ou mal décrits dans les anciennes typologies.

II.2. Apport des différentes méthodes aux enjeux de la pré-étude

Méthodes	Validité des catalogues	Extension des catalogues	Méthode retenue
Lecture analytique des catalogues	Analyse de la pertinence des différents types de stations en fonction de trois grands facteurs de contraintes (hydrique, chimique et physique).	Elle ne résout pas le problème d'extension des catalogues sur les zones non couvertes mais elle permet de voir si les caractéristiques structurant ces derniers sont similaires entre les SER	oui
Statistiques (AFC/CAH)	Validation des types de stations des catalogues initiaux par la constitution d'unités stationnelles à différentes échelles (RF, SER, région)	L'analyse des résultats de l'AFC/CAH réalisée sur des relevés régionaux (ensemble de la Basse-Normandie) indiquera s'il est nécessaire de distinguer certaines SER ou RF d'autres.	oui
Habitats	Regroupement des stations similaires en partant d'une clé et de manière rapide. On verra alors la pertinence des types de stations définis dans les catalogues (certains types dans plusieurs habitats).	Les habitats sont définis au niveau régional, ils s'appliquent donc aux zones forestières non recouvertes par un catalogue de stations, permettant ainsi de proposer des regroupements.	Pas pour l'instant car pas de clé des habitats en Basse-Normandie
Station/production	Partiellement car on réfléchit à l'adéquation de l'essence à la station, révélée par la production	non	oui mais pas dans la préétude
Bioprédiction	Test de la pertinence des typologies existantes. Test de la variabilité des types de station, GE et US construits à partir de ces typologies	Test des catalogues sur les régions forestières appartenant à la même SER en appliquant les clés correspondants aux relevés types ou relevés de l'IFN.	oui
Terrain	Test de la pertinence des typologies existantes	Test de la typologie des catalogues sur les régions forestières appartenant à la même SER	oui
SIG	Voir si toutes les situations écologiques ont été prises en compte	Identifie les situations écologiques par le croisement de différentes couches (climat, géologie...)	oui

II.3. Schéma général de la méthode retenue

1^{ère} approche: lecture analytique des catalogues

- Connaissance de la région naturelle et de la structuration des types de station
- Identification des facteurs structurant les stations (trophique, hydrique, pédologique ou floristique)
- Identification des limites existantes des typologie de stations
- Premières propositions de groupes écologiques (GE) et d'unités stationnelles (US)

Outils de bioindication
(Ecoflore/ Ecoplant)

- Pertinence des types de station et GE des catalogues
- Comparaison des régions naturelles
- Extension des catalogues

Validation
extension
GE, US,

2^{ème} approche : le terrain

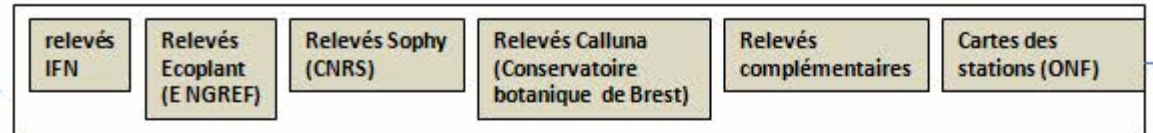
- Connaissance des stations bas-normandes
- Relevés complémentaires
- Test de la bioprédiction
- Test des catalogues existants sur zones couvertes par des typologies
- Test des catalogues existants sur les régions forestières de la même SER non couvertes par des typologies

Mise en évidence des zones de
vulnérabilité au changement
climatique

Extension peu couteuse des
catalogue de station

Meilleure gestion des sols forestiers
(fragilité chimique et physique)

3^{ème} approche: constitution d'une bases de données écologiques



a Homogénéisation des variables écologiques et floristique des différentes bases de données

b Tris sur les relevés et les espèces

Analyse statistique (AFC)

c Explication des axes factorielles (F1, F2...)

Approche de la bioindication

Axe F1
Facteur écologique n

Axe F2
Facteur écologique n'

Analyse statistique (CAH)

d Constitution de GE
et d'US

Outils de bioindication
(Ecoflore/ Ecoplant)

e Validation des GE/US en
comparaison avec ceux
construits avec les catalogues

4^{ème} approche: la modélisation des facteurs structurant les stations forestières en Basse-Normandie (hors pré-étude)

a Données SIG: variables d'entrées

- Climatiques (données Météo France)
- Topographiques (MNT)
- Géologiques (carte du BRGM)
- hydrologiques...

Validation des modèles

b Cartographie prédictive des stations

Validation des modèles

c Proposition d'US avec prise en compte du changement climatique

III. Présentation détaillée de la méthode retenue et premiers résultats

La pré-étude a pour objectif premier de proposer un ensemble de méthodes sur l'établissement d'un outil de choix des essences en Basse-Normandie. Il n'y a pas de résultats à proprement parler, mais plutôt une méthode accompagnée de quelques prémices de résultats.

III.1. Lecture analytique des catalogues

Dans le cadre de la pré-étude, seuls les catalogues des stations forestières des Hautes collines de Normandie et du Perche ont été analysés pour la structuration des catalogues et l'ensemble des outils existants pour la mise en place des groupes écologiques harmonisés au niveau régional.

III.1.1. Structuration des types de station des catalogues

Une grille de lecture est construite pour chaque catalogue avec en ligne les types de stations et en colonne les facteurs écologiques et les groupes écologiques (extrait de la grille de lecture pour le catalogue du Perche ornaïs en annexe 6). Une grille de lecture commune sera réalisée pour l'analyse de l'ensemble des catalogues de la Basse-Normandie. Les types de stations comportent en général des informations sur les groupes écologiques, le sol, la géologie, la topographie, les essences en place...

Prenons l'exemple du catalogue des stations forestières du Perche-ornaïs qui est une région naturelle avec un climat globalement homogène. Les types de stations ont surtout été définis par l'homogénéité de la flore, du sol et de la topographie. Les types de stations ont été rangés par les caractères trophiques et hydriques (ex : hygroclines, hygrophiles, neutroclines...).

III.1.2. Similarités des stations

Un autre point de la lecture analytique est de proposer des regroupements de types de stations ou des groupes écologiques. Néanmoins, chaque catalogue construit sa typologie des types de stations selon des critères différents. Pour établir une grille de lecture commune à tous les catalogues, il faut uniformiser les informations collectées et donc codifier les paramètres choisis. Les types de stations de l'ensemble des catalogues sont alors reclassés selon une structuration unique et cohérente en fonction des principaux facteurs écologiques.

Cette grille de lecture va permettre de rassembler les types de stations et les groupes écologiques similaires d'un même catalogue ou de différents catalogues (voir figure 5). Les résultats obtenus à l'issue de la lecture analytique de tous les catalogues seront très dépendants de la qualité des catalogues existants. La démarche devra être adaptée à l'hétérogénéité de construction de ces derniers mais aussi à l'hétérogénéité des stations de la Basse-Normandie.

	Types de stations du catalogue du Perche ornaïs	Types de stations du catalogue des Hautes collines de Normandie	Espèces communes	Sol commun	Potentialités communes
US1	S1- Station de fond de vallon à flore hygrophile et hygrocline sur sol limoneux épais	HN3- Chênaie pédonculée-aulnaie neutrocline de replat, de vallon étroit et vallée	Aulne, bouleau verruqueux, frêne, aubépine épineuse	Sol brun eutrophe avec hydromorphie temporaire	Bonne richesse chimique et bonne réserve en eau Bonnes potentialités pour l'aulne, le frêne
US2	S25- Stations à flore acidiphile sur sol limoneux épais	A4- Chênaie sessiliflore-Hêtraie acidiphile, sur limon épais à hydromorphie de profondeur	Bouleau pubescent, châtaignier, chêne pédonculé et sessile, bourdaine, houx, sorbier des oiseleurs	Sol lessivé à micropodzolisation	Richesse chimique moyenne et une bonne réserve en eau Bonnes potentialités pour le chêne sessile, ou douglas

Figure 5 : Exemple de regroupements de types de stations entre deux catalogues

III.1.3. Pertinence des types de stations

Un des objectifs de la lecture analytique est de vérifier la cohérence des types de stations des catalogues afin d'évaluer ceux qui sont mal définis ou mal décrits. La prise en compte des contraintes stationnelles, hydriques (topographie et climat), chimiques (pH, S/T...) et physiques (sensibilité au tassement) doivent toujours être présentes lors de la lecture. Cette lecture attentive des types de stations permettra de « pointer » les stations à risques mais aussi les « failles » des recommandations sylvicoles et de choix des essences.

Les défauts que l'on retrouve souvent dans les catalogues lus (Perche et Hautes Collines de Normandie) sont que :

- les types de stations sont définis sur des humus* variés. Un type de station avec un humus allant d'un eumull à un dysmull aura des potentialités forestières différentes (problème surtout identifié dans le catalogue des Hautes Collines de Normandie).

- l'exposition et la topographie ne sont pas toujours prises en considération. Or, dans un climat changeant où l'alimentation en eau est déséquilibrée, ces deux paramètres sont à prendre en compte dans le choix des essences. Il sera donc essentiel, par exemple, de distinguer une station de versant avec une exposition Nord, d'une station de haut de rebord de plateau avec une exposition Sud.

- la non prise en compte de l'engorgement pour distinguer les types de stations dans le catalogue du Perche par exemple est une faille. En effet, la présence d'une nappe proche de la surface à un certain moment de l'année provoque le phénomène d'hypoxie racinaire. L'hypoxie engendre alors une nécrose du système racinaire et limite la prospection en profondeur. Le système racinaire se développera une fois que le sol sera bien ressuyé. L'enracinement n'est alors pas suffisamment développé avant l'apparition d'une sécheresse et on observe une diminution de la réserve utile pour les arbres (Jabiol, Levy, Bonneau et al., 2009).

Exemple du catalogue du Perche ornaïs (voir fiche station en annexe 7):

Dans le catalogue du Perche, l'exposition est indiquée mais n'est pas prise en compte lors du choix des essences. Le choix des essences n'est pas toujours indiqué ce qui rend son utilisation peu attractif pour les gestionnaires ou même des propriétaires avertis. Prenons le cas de la station S8 (Stations à flore calcicole sur rendzine), cette station se situe sur un sol peu développé et calcaire. L'exposition est sud ouest. L'essence préconisée est le hêtre. Sachant que le Perche a une pluviosité annuelle aux alentours de 750 mm, le hêtre (nécessitant une pluviométrie supérieure à 750 mm, Rameau JC et al., 1989) ne sera plus en place dans cette région d'ici une cinquantaine d'année dans le cadre du changement climatique. Cette fiche est donc à revoir notamment pour le choix des essences.

III.1.4. Constitution des groupes écologiques

Les groupes écologiques sont en général une base pour la constitution de la clé de détermination des types de stations ou des unités stationnelles harmonisés à l'échelle régionale. La constitution des groupes écologiques harmonisés à l'échelle de la région donnera un premier aperçu sur la pertinence d'établir un guide sur l'ensemble de la région et donc de voir s'il y a des régions naturelles qui se distinguent des autres (Nord Cotentin par exemple). D'une manière générale, les groupes écologiques permettent dans un guide simplifié d'identifier d'une manière rapide le niveau hydrique et trophique de la station.

Suite à la lecture analytique, des premiers regroupements à dire d'experts des groupes écologiques harmonisés de la région sont établis.

Il faut établir un tableau de correspondance entre les GE des différents catalogues afin de proposer un classement final à dire d'expert. En effet, une même espèce peut-être dans différents GE dans différents catalogues car :

- L'espèce n'a pas la même signification écologique en fonction de la région forestière ;
- L'espèce à la même signification écologique mais la dénomination des GE est différente.

Espèces	GE catalogue des Hautes Collines de Normandie	GE du Perche ornais	GE du catalogue du Pays d'Ouche	GE du catalogue du Nord cotentin	GE du catalogue du Pays d'Auge (V.E)	GE "dire d'expert"
<i>Daphne laureola</i>	neutroclines, mésohygroclines	neutrocalcicline	neutrocalcicole	mul eutrophe à mésotrophes sur sol riche et frais	neutrophiles supportant le calcaire	milieux riches en calcaire
<i>Lamiasstrum galeobdolon</i>	neutroclines, d'amplitude moyenne (milieux frais)	neutroacidicline	calcicline à large amplitude	mul eutrophe à acide	neutrocline à large amplitude	milieux riches et frais
<i>Luzula sylvatica</i>	neutroclines, d'amplitude moyenne					milieux acides et frais
<i>Prunus avium</i>	neutroclines, à acidoclines	neutroacidicline	neutrocline à amplitude moyenne	mul eutrophe à mul-modér	neutroacidoclines	milieux neutres à acides
<i>Veronica chamaedrys</i>		neutroacidicline	neutrocline			milieux riches et frais

Figure 6 : Tableau illustrant un exemple d'homogénéisation de groupes écologiques des catalogues

L'analyse des catalogues a ainsi permis de constituer 14 groupes écologiques sur un total de 323 espèces. Ces groupes écologiques seront ensuite validés et complétés par les analyses statistiques (AFC/CAH) une fois que tous les relevés floristiques de l'ensemble de la Basse-Normandie seront récupérés.

III.2. Mise en place d'une base de données écologiques et utilisation de la bioprédiction

La constitution d'une base de données est indispensable pour la mise en place du futur outil de choix des essences. Effectuer des relevés phytoécologiques complets recouvrant l'ensemble des gradients écologiques de la Basse-Normandie est une tâche longue et coûteuse. De plus, les relevés ayant permis la construction des catalogues n'ont pas été tous retrouvés (travaux des années 80). Il est alors essentiel de se baser sur des données déjà existantes.

Une des missions de la pré-étude a été de rassembler l'ensemble des relevés phyto-écologiques géoréférencés sur le territoire de la Basse-Normandie (données flore-humus-sol). Cette base de données servira à l'élaboration ou à la validation des groupes écologiques et des unités stationnelles en partant des méthodes classiques (basées sur des analyses statistiques AFC*/CAH*). Elle servira également de base à l'élaboration des modèles des variables écologiques. Une partie des relevés servira à leur construction, et l'autre, à leur validation (Piedallu et al. 2006). Le stage a permis de récupérer un certain nombre de bases de données intéressantes pour leurs relevés géoréférencés floristiques et/ou pédologiques.

Toutes ces données étant hétérogènes entre elles, il sera nécessaire de les homogénéiser en une seule base de données à l'aide d'une codification unique entre chaque variable écologique (Merrien T, 2005). La base de données de référence est, en général, la plus simple de toutes ce qui peut engendrer une perte de l'information.

Plusieurs homogénéisations devront ainsi se faire :

- Dans un premier temps (stage) : homogénéisation des tableaux floristiques pour que les noms d'espèces des relevés soient conformes à une liste de noms d'espèces de référence.
- Dans un deuxième temps (suite du projet) : homogénéisation des variables écologiques (humus, sol, topographie...) selon une codification unique entre toutes les bases de données.

III.2.1. Quels sont les relevés qui permettent les analyses statistiques et la mise en place de modèles

Les relevés récupérés ou en attente d'être récupérés sont issus des bases de données suivantes :

- La base de données Ecoplant (réalisée par le LERFoB de Nancy, Gégout et al., 2005) qui comprend des relevés phytoécologiques avec un inventaire floristique (issus de mémoires, thèses, études, catalogues de stations...) et la mesure de variables écologiques telles que la géologie, l'altitude, la pente, l'exposition et des variables édaphiques (type de sol, humus, analyses chimiques du sol...). Ces relevés permettront essentiellement de caractériser les facteurs écologiques (analyse statistique (AFC/CAH)), de vérifier la robustesse des outils typologiques existants, de constituer les groupes écologiques et de construire les modèles.
- La base de données de l'IFN qui comprend des relevés phytoécologiques avec un inventaire floristique et la mesure de variables écologiques et édaphiques sur 400 m² (texture, pierrosité, profondeur du sol...). De même que les relevés d'Ecoplant, ces relevés vont permettre entre autre d'évaluer à minima la réserve utile du sol, de caractériser les facteurs écologiques, de constituer les groupes écologiques et de construire les modèles.

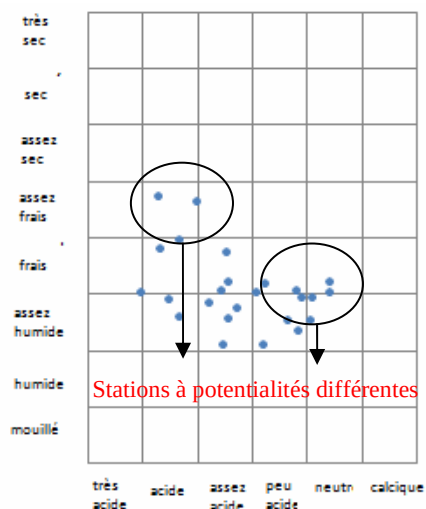
- La base de données floristique Calluna du Conservatoire botanique de Brest qui inventorie tous les relevés phytosociologiques géoréférencés de la Basse-Normandie. Ces relevés serviront essentiellement à la constitution des groupes écologiques et à la caractérisation des facteurs écologiques.
- La base de données Sophy (CNRS) qui comprend des relevés phytoécologiques géoréférencés (même utilisation que les relevés de la base Calluna).
- Les relevés issus des catalogues de stations et les relevés de l'ONF permettront la validation des modèles.
- Les cartes de stations et les relevés réalisés par le CRPFN et l'Agence ONF de Basse-Normandie serviront au test des modèles mis en place, notamment de la carte prédictive des stations.

Le tableau en annexe 8 précise les caractéristiques et l'utilisation de ces bases de données.

III.2.2. Utilisation de la bioprédiction pour la caractérisation des relevés et des groupes écologiques

III.2.2.1. Pertinence des types de stations

L'outil Ecoflore permet de projeter des relevés floristiques dans un écogramme. La projection des relevés types, des relevés ayant permis la construction des catalogues (lorsqu'ils sont existants) ou des relevés de l'IFN dans cet écogramme montrera les types de stations correctement définis (amplitude écologique trop restrictive ou non). Une telle projection pointera les types de stations à risque tant sur le plan chimique qu'hydrique mais aussi la pertinence des types de station. Prenons le schéma ci-dessous présentant la projection de relevés IFN classés (avec la clé de détermination du catalogue des Hautes Collines de Normandie) en station N2a (*Chênaie pédonculée-Frênaie neutrocline de plateau et milieu de versant, variante hydromorphe*).



Grâce aux projections, on observe les limites des types de stations. En effet, ici on observe une forte amplitude du niveau trophique. La variabilité du niveau trophique vient du fait que la station est caractérisée par des humus de type eumull à dysmull. Or ces deux types d'humus révèlent des sols différents, des potentialités forestières différentes et donc des risques face au changement climatique différents. Cette variabilité peut aussi traduire des clés de reconnaissance des types de station non valides.

Figure 7 : Écogramme des relevés IFN classés dans la station N2a du catalogue des Hautes Collines de Normandie

III.2.2.2. Extension des catalogues

Une étude en Champagne-Ardenne (Forêt M. et al. 2005) a montré que l'utilisation des relevés IFN pouvait permettre une extension des catalogues à moindre coût. Les relevés de l'IFN rendent compte des caractéristiques physiques et écologiques des régions forestières. Si les régions forestières montrent des caractéristiques écologiques semblables, on peut émettre l'hypothèse d'une possible extension d'un catalogue d'une région forestière aux régions naturelles voisines appartenant à la même sylvoécorégion. Si non, une phase de terrain devra se faire pour caractériser les stations présentes localement.

Pour la préétude, nous avons choisi de faire le test sur la sylvoécorégion « Bocage normand et Pays de Fougères » qui contient le catalogue des Hautes collines de Normandie. Nous avons voulu voir si ce catalogue pouvait s'étendre aux régions forestières de la SER. Qualitativement, l'étude des relevés IFN

montre que les régions forestières de la SER se ressemblent (du point de vu pédologique et climatique, voir graphiques en annexe 9). Une étude plus approfondie devra être réalisée pour déterminer les similitudes ou les différences de chaque région naturelle afin de conclure sur la possibilité d'une extension.

Une fois que les grandes caractéristiques écologiques des régions naturelles ont été étudiées, l'analyse des relevés floristiques appartenant à la SER peut se faire. Les écogrammes issus d'Ecoflore renseignent sur la variabilité des situations écologiques et de la fréquence des relevés de l'IFN et donc de la variabilité des stations au sein d'une SER. Par conséquent, les régions naturelles ou les groupes de relevés aux conditions écologiques différentes seront repérés. Cette étude appliquée à l'ensemble de la Basse-Normandie mettra en évidence si des catalogues de stations peuvent s'étendre au niveau des régions forestières d'une même SER mais aussi de voir les régions forestières qui devront être distinguées dans le futur guide.

Les relevés de l'IFN de trois régions forestières provenant de la même SER (« Bocage normand et Pays de Fougères ») ont été projetés dans Ecoflore. Les trois écogrammes (ci-dessous) montrent que les régions forestières se ressemblent. On peut supposer qu'il est possible d'étendre le catalogue des Hautes collines de Normandie aux deux autres régions forestières de la SER. Néanmoins, toute proposition d'extension devra être vérifiée par un passage sur le terrain.

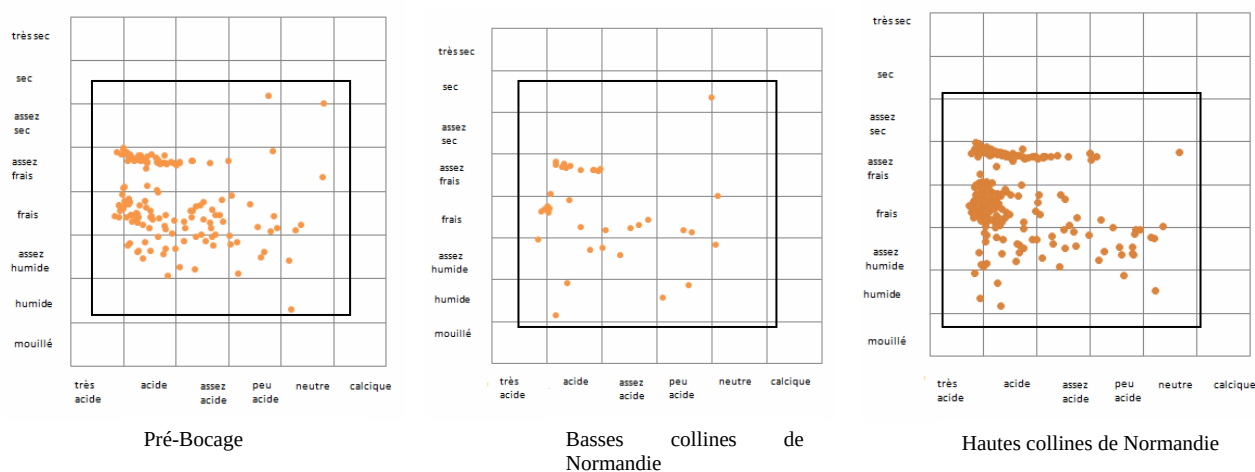


Figure 8: Relevés IFN de trois régions forestières projetés dans Ecoflore

III.2.2.3. Construction des modèles à partir de la bioprédiction

Les valeurs bioindicatrices issues d'Ecoplant (pH, S/T, C/N, ETP...) appliquées sur les relevés floristiques récupérés permettent de construire des cartes prédictives (pH bioindiqué par exemple) (Programme « Bioindicateurs de qualité des sols », Gégout J-C, 2008). Le pH ou l'engorgement bioindiqués sont les variables à interpréter à partir de la topographie, du climat ou de la géologie.

III.2.2.4. Interprétation des analyses statistiques par la bioprédiction

La bioprédiction aidera à l'interprétation de l'AFC réalisée sur les relevées phyto-écologiques de la Basse-Normandie, de même pour l'interprétation des US ou des GE issus de la CAH. Par exemple, les coordonnées factorielles des relevés pour l'axe 1 pourront être corrélées au pH bioindiqués de ces mêmes relevés.

III.2.2.5. Biais possibles de la bioprédiction

Ecoflore :

L'inconvénient d'Ecoflore est qu'une même espèce en fonction du secteur géographique ou de la station peut appartenir à différents Groupe Ecologique Indicateur (GEI). Par conséquent dans certains relevés, le diagnostic écologique risque d'être biaisé. Lorsque l'on rentre un relevé dans Ecoflore, il faut

faire attention à la note écologique d'une espèce en fonction du milieu où elle a été observée. Prenons l'exemple de la bourdaine qui est classiquement caractérisée d'«acidiphile de moder hygrocline». Elle s'acclimate aussi bien sur des milieux secs et calcaires où elle sera qualifiée de « mésoxérophiles calcaricoles et calcicoles ». Un même relevé peut donc être positionné différemment en fonction du classement retenu pour la bourdaine. Il faut aussi faire attention au type de peuplement. En effet, un relevé effectué sous un peuplement de résineux sera moins exhaustif qu'un relevé effectué sous feuillu. Sous une plantation de résineux, la flore peut ne pas être révélatrice du caractère trophique et hydrique du sol : la bioprédiction est alors biaisée.

Prédictions Ecoplant :

Il est apparu que ce programme possède certaines limites. En effet, il ne prend pas en compte les différentes niches écologiques des espèces (exemple de l'alisier torminal caractérisé d'acidiphile à neutrocalcicole) ce qui peut surestimer ou sous-estimer le pH dans certains relevés. De plus, les données climatiques telles que l'ETP, le bilan hydrique ou les températures moyennes peuvent-elles être vraiment révélées par la flore à l'échelle fine de la Normandie ? L'annexe 10 présente une carte d'ETP issue de la bioprédiction « ecoplant » appliquée sur les relevés floristiques IFN et une carte d'ETP issue des données Météo-France. On observe une nette différence entre les deux cartes. Ces deux cartes montrent la difficulté de modéliser l'évapotranspiration uniquement par la flore issue des relevés IFN, surtout en plaine. La bioindication du climat est plus intéressante et plus révélatrice en contexte montagnard où la végétation est plus influencée par la topographie (relief plus marqué...). En effet, le climat est, en général, très influencé par le relief, les vents ou la proximité de la mer. La végétation seule peut apporter une indication sur le bioclimat local lorsque le relevé floristique est pertinent mais elle ne peut substituer aux cartes climatiques de Météo France, relativement précises.

Les données bioindiquées par la flore telles que les données climatiques ou le pH sont très intéressantes pour avoir un aperçu général du niveau trophique ou hydrique d'une station mais ces informations sont à prendre avec précautions. Il faut vérifier au préalable le jeu de relevés floristiques (éviter les relevés sous plantations de résineux et avoir un nombre d'espèces suffisant par exemple). Puis en cas de doute, il faut vérifier par des analyses complémentaires (mesure du pH au pHmètre, analyse des horizons du sol avec une tarière ou avec une fosse, récupération des données climatiques des stations de Météo France se trouvant à proximité du relevé...).

III.2.3. Quelles sont les variables d'entrée des modèles (MNT ; Météo France ; BRGM...)

L'utilisation de variables climatiques (AURELHY), édaphiques (carte géologique BRGM harmonisée, relevés IGN), hydrologiques (réserve utile), ou topographiques (MNT) associés aux données phytoécologiques spatialisées provenant des relevés de terrain (base de données IFN, ECOPLANT, CALLUNA...) aideront à la construction de modèles climatique et trophique et à la construction de la cartographie prédictive des stations sur l'ensemble du territoire bas-normand.

III.2.3.1. Les données climatiques

Les données climatiques de Météo-France (*Aurélhy*) serviront à cartographier les seuils climatiques (sécheresse par exemple, Lebourgeois F., Piedallu C., 2005) afin d'évaluer les zones de vulnérabilité des espèces au climat. Ces données serviront au calcul de différents indices climatiques permettant la construction des modèles. Ces données pourront aussi intervenir pour la caractérisation des relevés IFN, ce qui permettra de faire une comparaison entre les données de Météo-France et ceux issus des valeurs bioindiquées par Ecoplant.

III.2.3.2. Les données géologiques

La modélisation fine des variables trophiques et hydriques nécessite aussi de disposer à l'échelle régionale des couches géologiques numérisées et harmonisées. Le Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) a réalisé cette harmonisation à partir de l'âge des substrats géologiques. Le CRPF de

Normandie a ainsi récupéré la couche géologique sous couvert forestier de la Basse-Normandie. Il faudra harmoniser les couches géologiques entre chaque département afin de les incorporer dans les modèles.

III.2.3.3. Les données issues du MNT (Modèle Numérique de Terrain)*

Le traitement du MNT servira à récupérer les données liées à la topographie (relief, exposition, altitude) qui sont des variables indispensables à la compréhension des conditions stationnelles (bilan hydrique, drainage...).

III.3. Méthode statistique

III.3.1. Analyse de la structuration des stations

Les résultats des AFC/CAH sur les relevés floristiques seront différents en fonction de la source des données considérées. Par exemple, la base de données CALLUNA aura tendance à sur-échantillonner les milieux rares comme les fonds de vallons alors que la base de données de l'IFN aura tendance à les sous-échantillonner. Les résultats pourront être comparés entre les différentes sources de données sachant que ces dernières pourront être compilées pour obtenir les résultats les plus fins possibles.

Pour le stage, seuls les relevés de l'IFN ont été utilisés car le temps imparti du stage n'a pas permis de récupérer toutes les bases de données et d'informatiser les relevés ayant permis la construction des catalogues. Le traitement des relevés IFN aura comme finalité de définir une méthode que l'on pourra appliquer à l'ensemble des données dans la suite de l'étude.

Les analyses factorielles de correspondance (AFC) sont réalisées à partir des relevés floristiques de l'IFN en présence/absence. La signification des axes est étudiée par des régressions multiples entre les coordonnées factorielles des relevés et les valeurs des variables écologiques relevées sur les placettes ou issues des valeurs d'Ecoplant.

La préparation du tableau floristique pour l'AFC a été effectuée sur Excel. Les analyses statistiques ont été effectuées grâce au logiciel TANAGRA. Pour effectuer une analyse statistique correcte, des tris sur les variables de milieu devront être effectués.

III.3.1.1. Tri sur les relevés

L'inconvénient de l'inventaire forestier national est que les relevés sont réalisés toute l'année, avec des problèmes de détermination d'espèces durant la saison hors végétation avec un temps limité pour la réalisation des inventaires, ce qui peut conduire à des relevés incomplets. Or, la qualité des relevés dépend de la saison où il a été fait, de l'observateur et du temps. Il paraît évident qu'un relevé effectué en Décembre sera moins exhaustif qu'un relevé effectué en avril. Cependant Gégout J-C (2008) a montré qu'un relevé hors saison ne biaisait pas tant l'analyse bioindicatrice du sol. L'étude a montré que la conservation de 60% des espèces des relevés ne conduit à pratiquement aucune dégradation de la qualité de la bioindication*. En somme, les prédictions de pH sont de faible qualité lorsque moins de 6 espèces sont échantillonnées. Elles sont de qualité acceptable lorsque les prédictions sont réalisées avec 7 à 15 espèces. Ces résultats permettent d'étendre la période de travail toute l'année avec une qualité de prédiction peu dégradée en hiver si les relevés sont réalisés soigneusement par des personnes ayant une bonne connaissance de la flore. Cependant, sachant que la végétation est plus exhaustive durant la période de végétation, seuls les relevés effectués entre le 21/03 et le 21/11 ont été pris en compte pour les analyses statistiques par mesure de sécurité.

Les tris suivants ont été réalisés sur les relevés IFN :

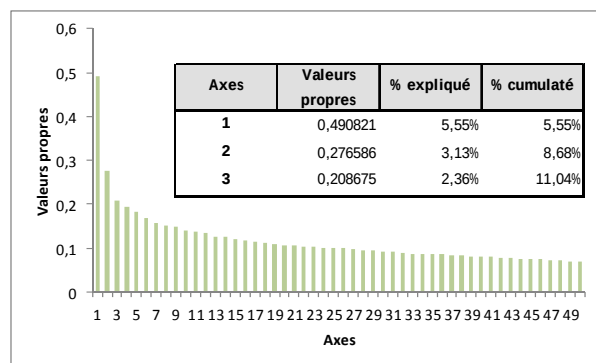
- Seuls les relevés situés durant la saison de végétation (Entre le 21/03 et 21/10) ont été gardés
- Suppression des espèces présentes dans moins de 1% des relevés
- Suppression des relevés situés sur des milieux en dynamiques de types landes

- Suppression des milieux « artificiels » de type agricole, peupleraie, plantation de résineux...
- Il reste le biais des plantations résineuses non traitées dans les analyses mais à rectifier par la suite.

III.3.1.2. Interprétation des axes

Suite à ce tri une analyse multivariée (AFC) a été réalisée sur le tableau floristique (1134 relevés et 117 espèces) et de l'ensemble des relevés IFN à l'aide du logiciel Tanagra.

Figure 9 : Valeurs propres des axes issus de l'AFC



Seuls les trois premiers axes ont été gardés pour exploiter l'AFC. On remarque sur l'histogramme que l'axe 1 explique en grande partie la variabilité. Les 3 axes cumulés permettent d'expliquer 11 % de la variabilité des relevés (figure 9).

• L'axe 1 : niveau trophique

L'axe 1 de l'analyse factorielle des correspondances représente 5.55 % de l'inertie totale du jeu de données. La régression entre les coordonnées factorielles de l'axe 1 et le pH bioindiqué montre que cet axe 1 peut-être interprété comme le niveau trophique (figure 10).

L'axe 1 est donc fortement corrélé au niveau trophique. Plus les valeurs des coordonnées de l'axe 1 sont positives et plus les valeurs de pH sont basiques. L'axe 1 est donc corrélé à tous les facteurs liés au niveau trophique du milieu comme la topographie, le pH, l'humus, le S/T, le C/N, la roche mère ou le type de sol.

La régression multiple (figure 11) confirme cette première conclusion avec un R^2 de 0.97. L'axe 1 est bien corrélé à la quantité d'éléments minéraux échangeables, à la nutrition azotée et au renouvellement de la matière organique.

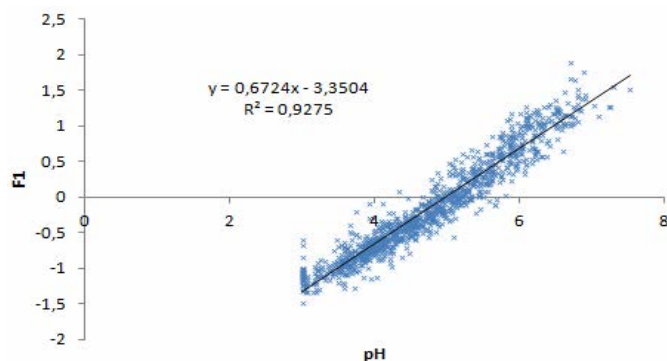


Figure 11: Régression linéaire entre l'axe 1 et le pH

Variables	Coefficient	Valeur de p
pH	0.25	0
S/T	0.005	0
C/N	-0.03	0

Figure 10 : Régression multiple sur l'axe 1 (Tanagra)

• L'axe 2 : luminosité du sous-bois

L'analyse multifactorielle montre que l'axe 2 est moins interprétable que l'axe 1. Néanmoins, l'analyse a permis de mettre en évidence une corrélation entre la luminosité du sous-bois et l'axe 2. En effet le graphique en annexe 11 montre que plus les valeurs moyennes des coordonnées sont négatives plus on trouve des espèces se rencontrant lorsque la luminosité du sous-bois est faible. Une étude a montré (Sciama D. 2009) que les espèces telles que *Anemone nemorosa*, *Carex sylvatica*, *Euphorbia amygdaloides*, *Milium effusum* ou *Luzula pilosa* sont des espèces typiques des forêts anciennes

caractérisées par une luminosité du sous-bois plus faible que les forêts récentes. Au contraire, les espèces se trouvant dans la partie basse de l'AFC comme *Galium aparine*, *Alnus glutinosa*, *Glechoma hederacea* sont des espèces connues pour être retrouvées en forêts récentes.

Suite à ces constations, l'axe 2 peut-être corrélé à la luminosité arrivant au sol sous le couvert boisé mais la corrélation « forêt ancienne /forêt récente » n'a pas été approfondie. Cela peut opposer également des espèces en dynamique forestière plus riche en azote à des milieux forestiers plus stables et moins riches en azote.

- **Bilan de l'AFC**

L'AFC effectuée sur les relevés de l'IFN a montré que la végétation est structurée selon deux grands types de facteurs : le niveau trophique et la dynamique du milieu (forêts anciennes ou récentes...).

Dans un premier temps, l'AFC fournit des coordonnées factorielles qui serviront à la CAH pour la construction de groupes écologiques ou d'unités stationnelles.

Dans un second temps (hors cadre de la pré-étude), les coordonnées pourront servir à la modélisation de facteurs écologiques tels que le niveau trophique (les coordonnées de l'axe 1 de l'AFC constituent un bon indicateur de la nutrition des sols). Il sera alors intéressant de garder en mémoire ce résultat pour modéliser un indice de niveau trophique pour la construction de carte trophique, comme cela a été fait dans l'étude « Cartographie prédictive des stations forestières du Massif Vosgien » (Piedallu et al. 2006).

III.3.2. Constitution des Groupes écologiques

La CAH, effectuée à partir des coordonnées factorielles des espèces (issues de l'AFC précédente) sur les trois premiers axes, conforte ou précise les premiers groupes « à dire d'experts » issus de la lecture des catalogues. Chaque groupe écologique constitué à partir des relevés de l'IFN sera projeté dans ECOFLORE afin de voir son amplitude écologique et donc sa pertinence.

La CAH a permis de créer 10 groupes écologiques sur 117 espèces. La finalisation des groupes écologiques ne sera effective qu'une fois l'ensemble des bases de données floristiques acquise pour effectuer de nouvelles AFC et CAH. Une comparaison avec les groupes écologiques issus des catalogues pourra alors se faire afin d'obtenir des groupes écologiques pertinents. Néanmoins, l'annexe 12 présente les résultats de la CAH. Elle permet de voir le regroupement d'espèces qui se ressemblent au niveau de leur écologie mais aussi les biais par rapport à la lecture des catalogues. Prenons l'exemple du groupe écologique '5' composé de *Hypnum cupressiforme* et *Scleropodium purum*. Après lecture de tous les catalogues bas-normands, ces deux espèces sont identifiées comme espèces à large amplitude. Or, la CAH les classent en espèces de milieu plutôt acide. Les phases de terrain et l'analyse sur l'ensemble des relevés floristiques de toutes les bases de données permettront de vérifier ces « interrogations » sur l'écologie de certaines espèces.

III.4. Apport du terrain

Le temps du stage n'a pas été suffisant pour effectuer des relevés complémentaires sur l'ensemble de la Basse-Normandie. Ce travail sera effectué à la suite du projet. Cependant des jours de terrains ont été entrepris pour observer la diversité du territoire bas-normand et les différents types de stations forestières. Cela a été l'occasion de discuter des problèmes que rencontrent quotidiennement les techniciens de secteur notamment pour le choix des essences sur des stations à risque, mais aussi des questions portant sur les limites des catalogues, des types de stations décrits, des zones dépourvues de catalogues, de tester la pertinence des outils de diagnostics de la flore (Ecoflore, ecoplant)... Les grands types de station ont été parcourus allant des stations fortement arrosées sur substrat gréseux du Nord Cotentin aux stations riches du Perche sur sables profonds.

Pour chaque arrêt, un relevé flore et une analyse des différents horizons du sol ont été effectués. Vous trouverez en annexe 13, un exemple de relevé station qui a été établie. Cette fiche de relevé sera reprise et améliorée pour la suite de l'étude.

III.4.1. Biais possible de la bioprédiction

Cette phase de terrain a été l'occasion de tester la pertinence des outils de diagnostics tels que le logiciel Ecoflore ou l'outil prédiction d'Ecoplant. En effet, les relevés floristiques seront transposés dans les deux outils et une comparaison sera effectuée entre les observations de terrain observée et les résultats issus des logiciels. Certains biais des outils pourront être alors diagnostiqués.

Les principaux biais observés sont des surestimations du niveau d'acidité. En effet, certaines espèces possèdent des niches écologiques* différentes selon les régions ou les types de sols. Les espèces telles que la molinie ou la bourdaine possèdent des amplitudes écologiques différentes. Une attention particulière devra donc être portée lorsque l'on entrera les relevés floristiques dans ces deux outils diagnostics.

III.4.2. Limites possibles des modèles

La phase de terrain a mis en évidence la difficulté de construire des modèles et une cartographie prédictive des stations. En effet, un des problèmes rencontré sur certaines stations est la présence d'une nappe temporaire souvent liée à la profondeur d'apparition d'un plancher argileux. Or sur les plateaux d'argile à silex, la profondeur du plancher est très variable dans l'espace et il n'est pas toujours révélé par la carte géologique. C'est notamment le cas dans le Perche. L'épaisseur des limons ou la charge en silex, facteurs structurant le catalogue de stations du Perche, sur les argiles à silex, ressortiront-ils des modèles sachant que cette donnée n'est pas ou peu informée dans les cartes géologiques... ? Comme la géologie n'est pas toujours suffisante, il faudrait établir des cartes de sols qui nécessitent l'ouverture de fosses et un grand nombre de points de sondage. Malheureusement, les sols ne sont que très rarement cartographiés. En Basse-Normandie, seul le département du Calvados est recouvert par une cartographie des sols et de la réserve utile maximale (Cantat O. et al., 2009) .

Par conséquent, il faudra faire attention à l'interprétation de certains modèles comme par exemple la réserve en eau. Sur la station suivante (voir photo ci-dessous), les limons sont profonds et donc la RUM estimée par l'IFN est importante (1150 mm). Or ces limons sont engorgés ce qui limite l'enracinement de nombreuses essences comme pour l'épicéa de Sitka qui ont alors accès à une faible RUM sur ce type de sol.

Les modèles permettront d'avoir des informations générales sur la station mais ils devront toujours être interprétés avec prudence. L'approche du terrain sera toujours nécessaire et complétera l'approche de la modélisation pour minimiser les erreurs.



Chablis d'épicéas de Sitka (commune de Saint Sauveur le Vicomte, Manche)

III.4.3. Pertinence et extension des catalogues sur les SER

III.4.3.1. Pertinence des catalogues

Un des points abordés lors de la phase de terrain a été de tester les catalogues de stations existants en Basse-Normandie et ainsi voir si les types de stations décrits dans les catalogues sont conformes à la réalité du terrain. La pertinence des clés de détermination et des types de stations ont été testées.

Ainsi des failles aux niveaux des catalogues ont été révélées, en voici quelques exemples:

- Dans le Pays d'Auge, certaines stations prospectées ne se classaient pas dans le catalogue de la région forestière.
- Dans le Nord Cotentin, certaines stations prospectées ne se trouvaient pas dans le catalogue de la région naturelle mais dans le Guide du sylviculteur du Centre Ouest Bretagne appartenant à la même SER.
- Pour être efficace, une clé doit être facile d'utilisation mais sans être trop sophistiquée. En Basse-Normandie, le Livret vert du Pays d'Auge possède une clé qui pourrait décourager son utilisateur (réaliser un relevé floristique en comptant le nombre de plantes présentes par groupe écologique puis noter les plantes caractéristiques : « plantes bornes » (noisetier, frêne...). Ensuite pour l'analyse du sol, de la topographie et du climat, il faut répondre à toute une liste de questions. Une fois les réponses à toutes ces questions obtenues, il faut tourner la page pour accéder à des tableaux permettant de définir les unités stationnelles.

Ce travail a permis de tester la fiabilité des catalogues existants. A la vue de certaines absences de stations dans les catalogues existants, le futur guide de choix des essences ne pourra pas se baser uniquement sur les types de stations existants.

III.4.3.2. Extension des catalogues sur les SER

L'application des catalogues sur les zones non couvertes par une typologie a permis de faire des propositions d'extensions des catalogues sur certaines régions forestières (voir annexe 14). Les régions forestières n'ont pas été prospectées de fond en comble durant le stage. Ces propositions d'extensions devront être vérifiées ultérieurement par une phase de terrains plus poussée, une analyse de la totalité des relevés et du croisement des couches SIG.

Point sur la partie III :

Toutes ces méthodes sont des méthodes classiquement utilisées pour la mise en place d'un guide de choix des essences. Elles servent dans un premier temps à connaître la zone d'étude sur ses caractéristiques écologiques et climatiques mais aussi d'identifier les limites des outils de choix des essences existants. Elles seront donc la base pour la construction du futur outil de choix des essences que le CRPF souhaite mettre en place, dont vous trouverez en annexe 15 la démarche méthodologique générale de cet outil.

Conclusion et perspectives de travail

La pré-étude a eu comme objectif de proposer une méthode peu coûteuse pour la mise en place d'unités stationnelles et de groupes écologiques valides sur l'ensemble du territoire bas normand. Une des méthodes retenues pour la construction du futur outil de choix des essences est l'utilisation de la géomatique et de modèles statistiques à partir des relevés phytoécologiques et des variables topo-géo-climatiques du territoire bas-normand pour les futures modélisations des facteurs écologiques structurant la station soit : le climat (et son évolution), le niveau trophique, la réserve en eau maximale des sols...

Pour identifier et isoler les biais possibles des modèles, la lecture des catalogues de stations existants et l'analyse de leur structuration est nécessaire. De même, l'analyse des relevés floristiques permet de cibler les biais que peut entraîner le développement de modèles se basant sur la bio-prédiction.

La pré-étude entre dans le cadre d'un projet à plus long terme visant à mettre en place un guide de choix des essences construit sur le concept d'unités stationnelles prenant en compte le changement climatique accompagné de cartes bioclimatiques, voir d'une cartographie prédictive des stations en Basse-Normandie. Ces cartes cibleront les stations les plus vulnérables face au changement climatique. Néanmoins, le format du futur outil reste à confirmer (version informatique ? distinction des SER et/ou distinction des deux zones géologiques... ?).

Ce travail entamé dans le cadre de la pré-étude pourra être poursuivi par un projet étudiant ASTEC (Analyse Spatiale et Temporelle des espèces et des communautés) d'Agro-Paris-TECH-ENGREF piloté par M. Christian Piedallu (maître de conférences d'Agro-Paris-TECH-ENGREF). A partir de l'ensemble du jeu de données préparé et en fonction des commandes du CRPFN, ils modéliseront les grands facteurs écologiques structurant les stations en Basse Normandie. Ils travailleront également à la mise en place de modèles sur l'évolution de la répartition des essences selon les différents scénarios du changement climatique. Les cartes climatiques permettront de mieux cibler les différentes zones à risque climatique pour des essences exigeantes. Ils proposeront alors des pistes pour l'élaboration d'unités stationnelles intégrant le changement climatique, valides à l'échelle du territoire bas-normand.

La liste des tâches restantes à réaliser sont résumées dans le tableau suivant :

Chronologie des tâches à réaliser		Tâches à réaliser
Fin 2012	1	Récupération et harmonisation des relevés phytoécologiques pour la mise en place des modèles
	2	Analyse de la structuration des catalogues, proposition d'unités stationnelles (US) et de Groupes écologiques (GE)
	3	Mise en place des modèles (projet des étudiants ENGREF, AgroParisTech Nancy)
Premier semestre 2013	4	Test des modèles (pH, RUM, climat...)
	5	Rédaction de notices d'utilisation de ces modèles
	6	Mise en place de la carte prédictive des stations
Second semestre 2013	7	Méthode pour la mise en place d'"unités stationnelles dynamiques" à partir des modèles et de la carte prédictive des stations
	8	Proposition d'US dynamiques
Premier semestre 2014	9	Rédaction des fiches descriptives des US dynamiques et des clés de reconnaissance
	10	Protocole pour validation des "US dynamiques"
	11	Validation des "US dynamiques"
Second semestre 2014	12	Correction des fiches et des clés de reconnaissance
	13	Coordination au niveau national pour la révision des outils diagnostics stations
	14	Révision de l'outil diagnostic station sur la Basse-Normandie en lien avec les "US dynamiques"
2015	15	Révision de l'outil diagnostic station réutilisable au niveau national

Bibliographie

- BARTOLI M. et al.** Ecoflore, un logiciel simple de diagnostic écologique. *Revue Forestière Française*, 2000, n°52, pp 530-547.
- BASTIEN Y., GAUBERVILLE (coord.).** Vocabulaire Forestier – Ecologie, gestion et conservation des espaces boisés. IDF, 2001, 554 p.
- BERGOVICI F.** Catalogue des stations forestières des Hautes collines de Normandie. PNR Normandie-Maine, CRPFN, 2000, 317 p.
- BERNSTEIN L. et al.** Climate Change 2007: Synthesis report. Contribution of working groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Pachauri, Reisinger (Eds). IPCC, Geneva, Switzerland. 2007. Vol. 104.
- CANTAT O. et al.** Le rôle de la topographie et des sols dans la modélisation spatiale d'échelle fine des bilans hydriques, Journée de climatologie, mars 2009, Besançon, 20 p.
- CHAUNU L.** Les stations forestières des forêts publiques du Cotentin. Rouen : ONF, 1990, 305 p.
- CHASSEGUET J.M.** Catalogue des stations forestières du Pays d'Ouche. Caen : CRPFN, 1994, 209 p.
- CHASSEGUET J.M.** Les milieux forestiers du Parc naturel régional Normandie-Maine. PNR Normandie-Maine, 2005, 317 p.
- CRPFN,** Schéma Régional de Gestion Sylvicole de Basse-Normandie, Rouen, CRPFN, 2006, 117 p.
- CRPFN.** Outil diagnostic des stations : Application « Diagstat-β1.xlt ». Rouen : CRPFN, 2005.
- CRPF de Bretagne.** Guide du sylviculteur Centre Ouest Bretagne, 2010, 80p.
- DE BROU F.** Catalogue des stations forestières su Perche Ornaïs. Caen : CRPFN, 1996, 62p.
- DUME G, FORET M.** Les outils d'aide à la reconnaissance des stations forestières et au choix des essences. IFN, 2006, 224 p.
- ETIENNE V.** Le livre vert du forestier du Pays d'Auge. Caen : CRPF de Normandie, ENITEF, 1987, 76 p.
- ETIENNE V.** Catalogue des stations forestières du Pays d'Auge : rapport de stage de fin d'études de la FIF. Nancy : ENITEF, 1986, 110 p.
- FORET M. et al.** Extension d'un guide pour l'identification des stations forestières: utilisation des données de l'Inventaire Forestier National. Un exemple d'application aux confins du Gâtinais oriental. *Ingénieries - E A T*, 41 (2005), pp. 63-75.
- GAUDIN S.** Prise en compte du changement climatique dans les guides et catalogues de stations : premières approches. Centre Régional de la Propriété Forestière de Champagne-Ardenne. 2007, 22 p.
- GEGOUT J.C.** Validation de bioindicateurs floristiques pour la surveillance de l'état nutritionnel des sols forestiers français à partir des données de l'Inventaire Forestier Français, Nancy, 2006, 20 p.
- GEGOUT J-C.** Création d'une base de données phytoécologiques pour déterminer l'autécologie des espèces de la Flore Forestière Française. *Revue Forestière Française*, 2001, n°53, pp. 397-403
- Inventaire Forestier National. Typologie des stations forestières [en ligne]. Disponible sur : <www.ifn.fr/spip/?rubrique20>
- JABIOL B. et al.** Comprendre les sols pour mieux gérer les forêts. Nancy: AgroParisTech ENGREF, 2009, 624 p.
- LEBOURGEOIS F., PIEDALLU C.** Appréhender le niveau de sécheresse dans le cadre des études stationnelles et de la gestion forestière à partir d'indices bioclimatiques. *Revue Forestière Française*, 2005, n°57, pp. 331-355.
- LEMAIRE et al.** Projet chênaies atlantiques : dépérissements des chênes et changements climatiques [en ligne]. Disponible sur <<http://www.foretpriveefrancaise.com/projet-chenaies-atlantiques-deperissements-des-chenes-et-changements-climatiques-762813.html>>
- MADESCLAIRE A (coord.).** Les milieux forestiers des Vosges du Nord. Guide pour l'identification des stations et le choix des essences. CRPF Lorraine-Alsace, 2003, 82 p.
- MERRIEN T.** Construction d'une typologie de stations forestières liées à la phytosociologie, à partir des relevés existant sur le territoire du Parc naturel régional du Livradois-Forez : rapport de stage de fin d'études de la FIF. Nancy : AgroParisTech-ENGREF, 2005, 73 p.
- PIEDALLU C., et al.** Cartographie prédictive des stations forestières du massif vosgien – Elaboration, validation et applications, Rapport final de la convention de recherche SERFOB Lorraine (DRAF)/ENGREF-IFN, Nancy, 2006, 95p.
- PERRIER C. et al.** Guide pour l'identification des stations et le choix des essences en Argonne. Croigny : CFPPA, 2007, 118 p.
- RAMEAU J-C et al.** Flore forestière française Tome 1, Plaines et collines, IDF, 1989, 1794 p.
- REBEL C.** Données climatiques et bioclimats forestiers de Normandie, Caen : CRPFN, 1994, 62p.
- REBOUL J-B. et al.** Valorisation des stations et des habitats forestiers : Guide de reconnaissance et de gestion pour la région Centre. Centre régional de la propriété forestière d'Ile de France et du Centre, 2011, 164 p.
- RICHARD J-B.** Caractérisation de la contrainte hydrique des sols à l'aide de cartes numériques pour prendre en compte les effets potentiels du changement climatique dans les catalogues de stations forestières - Applications aux plateaux calcaires de Lorraine, Champagne-Ardenne et Bourgogne: rapport de stage de fin d'études de la FIF. Nancy : AgroParisTech-ENGREF, 2011, 150 p.
- RODRIGUES A.** Le chêne pédonculé face au changement climatique : rapport de stage de fin d'études de la FIF. Nancy : AgroParisTech-ENGREF, 2009, 64 p.
- ROMAN-AMAT B.** « Préparer les forêts françaises au changement climatique ». Rapport à MM. les Ministres de l'Agriculture et de la Pêche et de l'Ecologie, du Développement et de l'Aménagement Durables. Décembre. 2007.
- SCIAMA D. et al.** Floristic and ecological differences between recent and ancient forests growing on non-acidic soils. *Forest Ecology and Management*. 20 août 2009. Vol. 258, n°5, p. 600-608.

Analyse Factorielle des Correspondances (AFC) : analyse multivariable donnant une représentation graphique permettant de situer simultanément les positions respectives des individus étudiés (ex : relevés phytosociologiques) et des variables observées (ex : espèces, forme d'humus) en fonction de leurs ressemblances.

Autécologie : étude de l'action du milieu sur la morphologie, la physiologie et le comportement d'une espèce. L'autécologie définit essentiellement les limites de tolérance et les préférences des espèces considérées isolément vis-à-vis des divers facteurs écologiques.

Bilan hydrique : variation du contenu en eau du sol résultant des apports et des pertes en eau, calculés sur une période déterminée (jour, semaine, décennie, saison, année).

Bioclimat : ensemble des facteurs caractéristiques d'un climat qui influence directement les êtres vivants (amplitude thermique, vent, régime des précipitations, etc.).

Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) : méthode de classification hiérarchique réalisant une partition des individus en classes de plus en plus vastes, le nombre de classes à obtenir n'étant pas fixé par avance (méthode mise en œuvre après une AFP).

Caractère bioindicateur : élément permettant de renseigner sur l'état ou l'évolution des paramètres environnementaux, obtenus à partir d'observations réalisées sur un organisme ou une communauté et des corrélations établies avec les divers facteurs écologiques.

C/N : rapport entre la teneur en carbone organique et celle en azote totale du sol. Le C/N diminue au cours de la décomposition des matières organiques.

Dendrométrie : discipline relative à la mesure des arbres et à leur croissance.

Evapotranspiration potentielle (ETP) : l'évapotranspiration combine les pertes d'eau par évaporation et par transpiration d'un végétal. L'ETP correspond à la valeur atteinte pour une disponibilité en eau maximale en l'absence de résistance. Elle ne dépend que des facteurs climatiques liés au bilan d'énergie et de la résistance de l'air au-dessus de la surface.

Géoréférencement / Géolocalisation : attribution de coordonnées géographiques à un ensemble de phénomènes ou d'objets, permettant de définir leur position exacte par rapport à un système de référence géodésique.

Guide pour le choix des essences : document de « terrain » pour les gestionnaires forestiers présentant des unités de station ayant les mêmes potentialités pour les principales essences d'une région, constituées par un regroupement selon ce critère de types de station d'un ou plusieurs catalogues à partir des connaissances autoécologiques régionales. Il fournit des informations concrètes liées aux

stations : fertilité, habitats, dynamique de la végétation, conseils pour le choix des essences à cultiver...

Habitat : un habitat est un ensemble indissociable avec :
- une faune, des espèces ayant tout ou partie de leurs diverses activités vitales sur l'espace considéré
- une végétation (herbacée, arbustive et arborescente)
- un compartiment stationnel (conditions climatiques, sol et matériau parental et leurs propriétés physico-chimiques)

Humus : fraction de la matière organique du sol transformée par voie biologique ou chimique.

Modèle numérique de terrain (MNT) : Ensemble discret de valeurs numériques permettant de représenter le relief d'une zone géographique (ex : coordonnées géographiques et altitude d'un semis de points répartis sur une carte).

Peuplement forestier pauvre : peuplement dont la recette de la coupe rase ne permet pas de couvrir les coûts de reboisement et dont la valeur économique n'augmentera peu ou pas dans le temps.

Potentialités d'une station forestière : ensemble des ressources possibles (biologiques, forestières, agricoles ou de loisirs), en quantité ou en qualité, en relation avec une gestion appropriée. En matière de typologie forestière, les **études de potentialités** visent à préciser, pour chaque type ou unité de station, la production potentielle ou le comportement vis-à-vis de certaines conditions du milieu d'une (ou de plusieurs) essence(s).

Régénération (coupe de) : Remplacement d'une génération d'arbres par une autre par reproduction sexuée ou artificielle. Ne pas confondre avec le reboisement qui recrée une surface forestière, lequel peut-être différent de celui préexistant.

Rémanents : sous-produits non marchands (branches, cimes, etc.) qui restent sur le parterre de la coupe après son exploitation.

Réserve en eau du sol : quantité d'eau du sol utilisable par les plantes, présente à un moment donné. C'est une partie du réservoir en eau utile, en fonction du remplissage et de la consommation par les plantes.

Réserve Utile Maximale (RUM) : quantité d'eau utilisable par les plantes, contenue dans l'épaisseur de sol explorable par les racines. Elle correspond à la différence entre la quantité d'eau dans le sol après ressuyage (capacité au champ) et celle contenue au point de flétrissement. Elle est exprimée en mm d'eau.

Sylvoécocorégion (SER) : Une sylvoécocorégion est « la plus vaste zone géographique à l'intérieur de laquelle la combinaison des valeurs prises par les facteurs déterminants la production forestière ou la répartition des habitats forestiers se ressemblent » (IDF, 2011)

Liste des annexes

Annexe 1 : Surface forestière de la Basse-Normandie

Annexe 2 : Caractéristiques de la zone d'étude

Annexe 3 : Couverture bas-normande des outils de typologie des stations forestières

Annexe 4 : Cartes des Régions Forestières (RF) et des Sylvoécorégions (SER)

Annexe 5 : Caractéristiques des catalogues bas-normands

Annexe 6 : Extrait de la grille de lecture du catalogue du Perche

Annexe 7 : Exemple d'une fiche du Perche ornaï à réviser dans le cadre du changement climatique

Annexe 8 : Caractéristiques et utilisation des bases de données récupérées

Annexe 9 : Caractéristiques des régions forestières de la SER « Bocage normand et Pays de Fougères »

Annexe 10 : Biais de la bioprédiction

Annexe 11 : Caractérisation de l'axe 2

Annexe 12 : Groupes écologiques issus de la CAH

Annexe 13 : Relevé de station

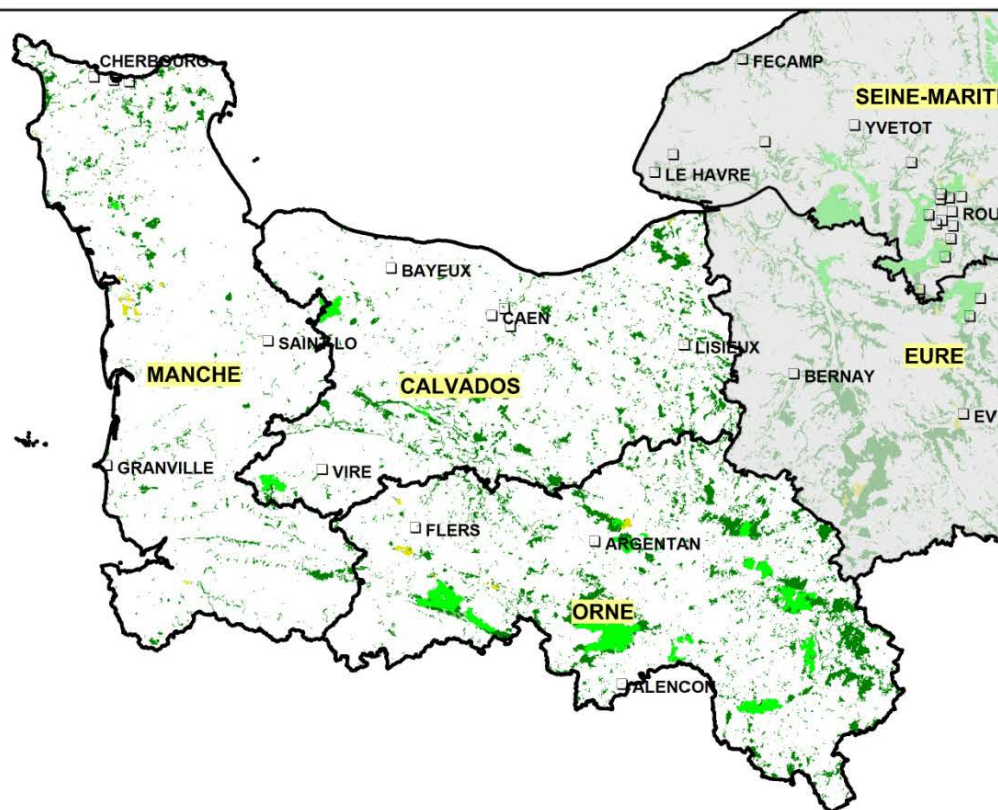
Annexe 14 : Proposition d'extension des catalogues

Annexe 15 : Démarche de l'outil de choix des essences en Basse-Normandie

Annexe 1 : Surface forestière de la Basse-Normandie



La forêt Bas-Normande



- Forêt domaniale (30 624 ha)
- Forêt communale (2 950 ha)
- Forêt privée (132 433 ha)

Hors zone d'étude



Sources : ©IGN® ©IFN® ©CRPFN®

Réalisation : ©CRPFN® (A. RICARD)

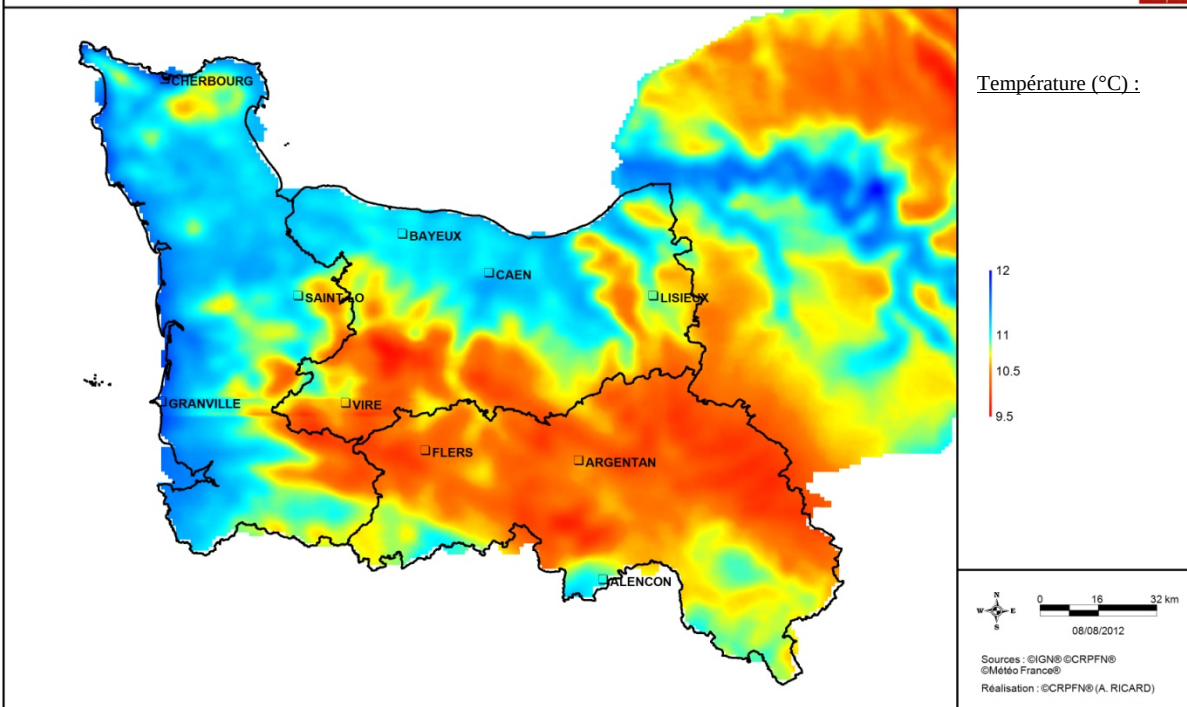
Annexe 2 : Caractéristiques de la zone d'étude

Contient :

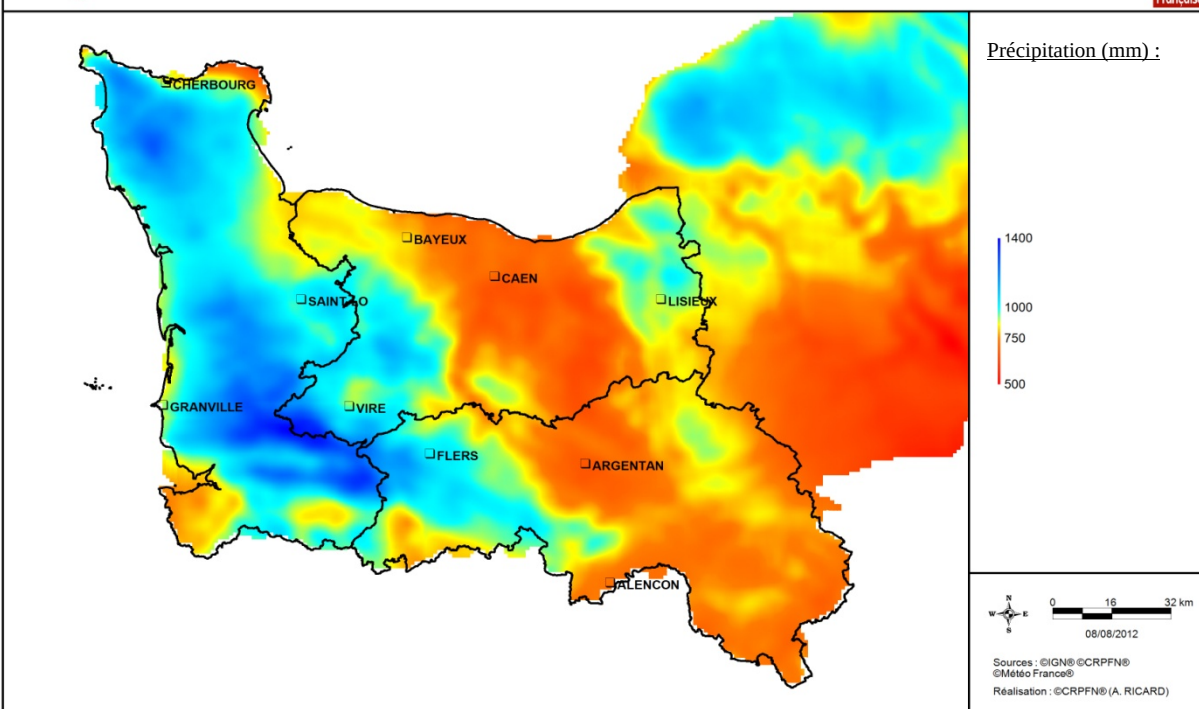
- *Carte des températures annuelles*
- *Carte des précipitations annuelles*
- *Carte de la géologie*
- *Carte du relief*

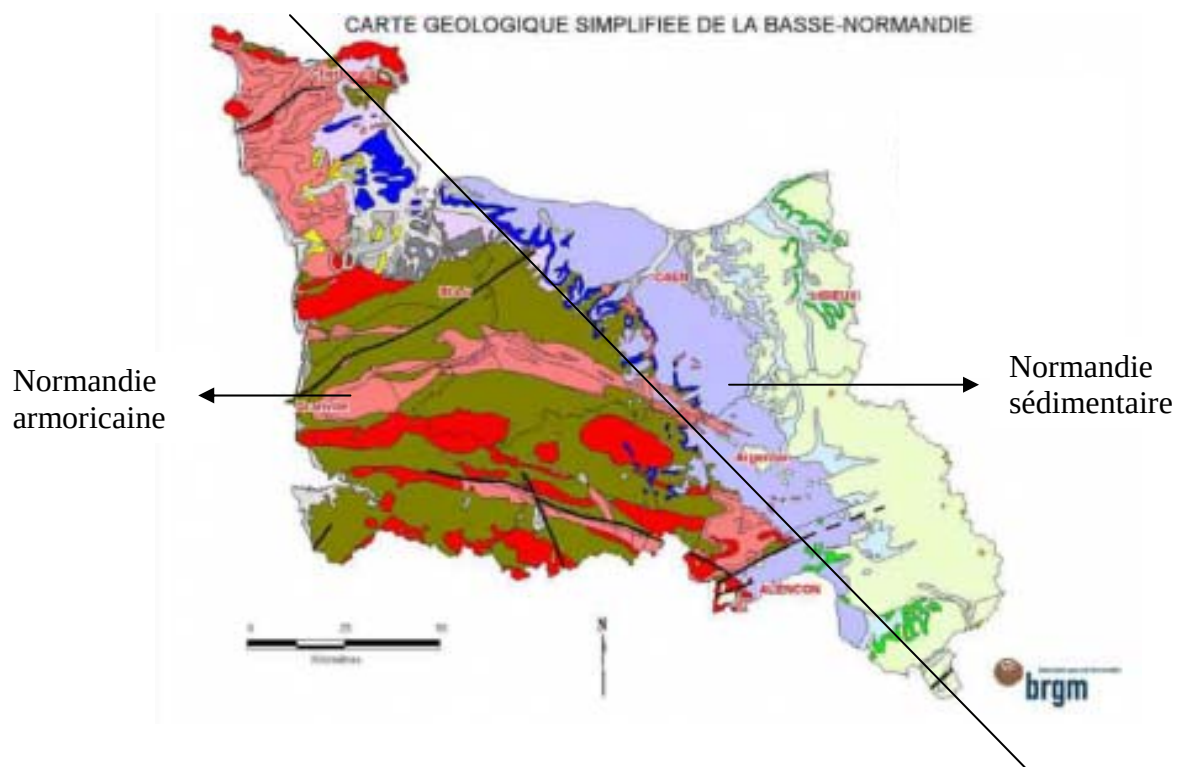


Température interannuelle sur la période 1981-2010

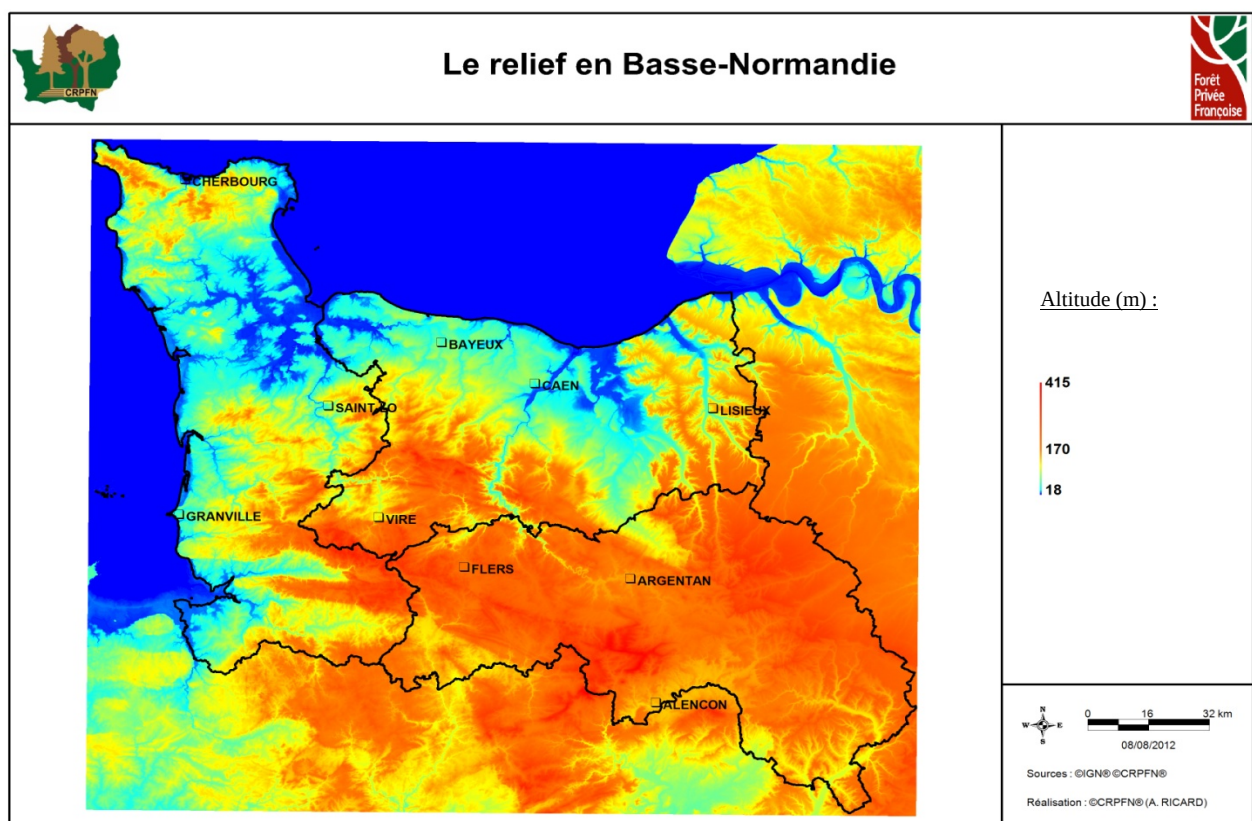


Précipitation interannuelle sur la période 1981-2010





Carte géologique (source BRGM issu du SRGS Basse-Normandie, 2006)



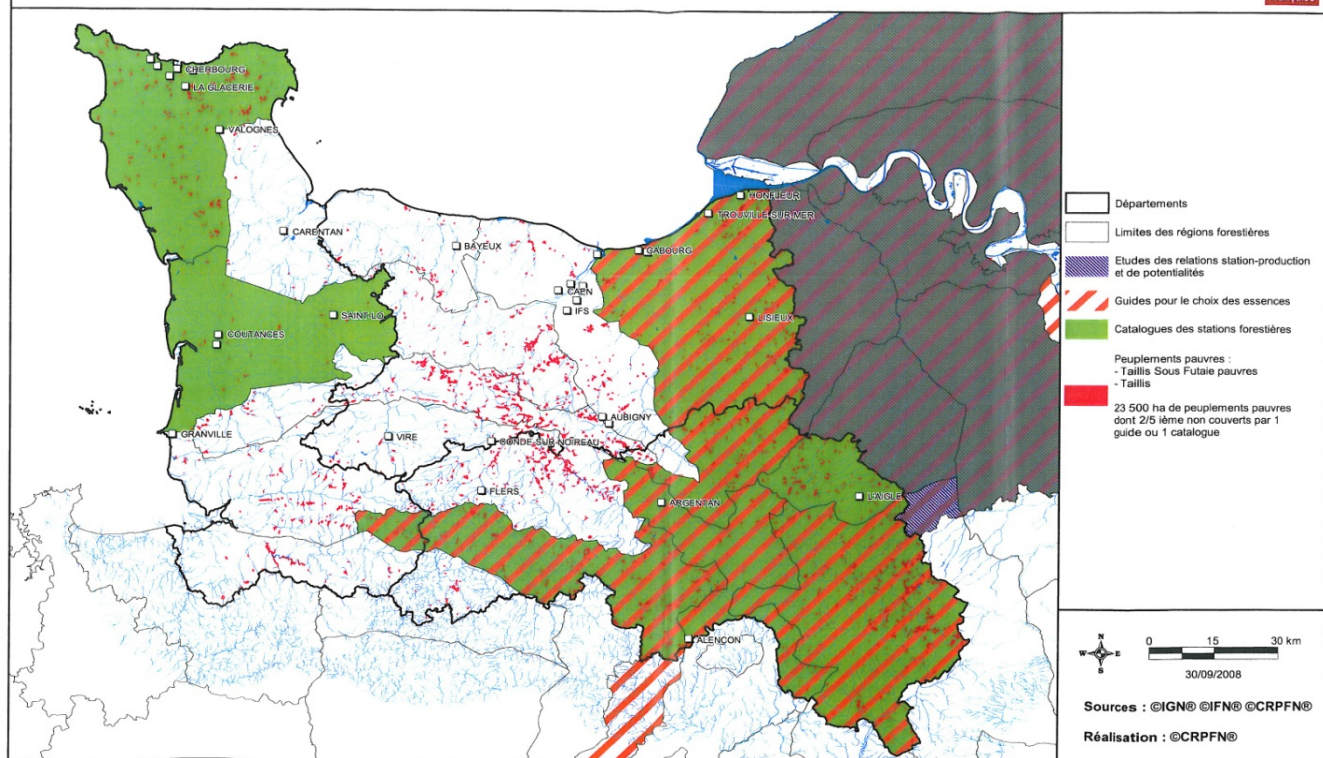
Annexe 3 : Couverture bas-normande des outils de typologie des stations forestières

Contient :

- *Carte de la couverture des outils de typologie des stations en Basse-Normandie*
- *Tableau récapitulant les outils typologiques existants*



Couverture des outils d'aide à la reconnaissance des stations forestières et aux choix des essences



Liste des outils typologiques existants en Basse-Normandie (source : IGN, 2012) :

Libellé ou zone concernée	Type de document	Cadre administratif	Cadre scientifique	Auteur	Année
Pré-étude pour l'établissement d'un catalogue des stations forestières en Pays d'Auge (Calvados)	Préétude	CRPF Normandie	Université de Caen	Alain Lecointe & al.	1981
Pré-étude pour l'établissement d'un catalogue des stations forestières en pays d'Auge (Orne et Eure)	Préétude	CRPF Normandie	Université de Caen	Alain Lecointe, M. Boulmer & al.	1982
Catalogue des stations écologiques des forêts du Pays d'Auge. 1 - Données analytiques : flore et éléments de pédologie	Catalogue	CRPF Normandie	Université de Caen	Alain Lecointe, Isabelle Houguenade et Claire Lallement	1984
Catalogue des stations écologiques des forêts du Pays d'Auge. 2 - Données synthétiques et typologie des stations	Catalogue	CRPF Normandie	Université de Caen	Alain Lecointe, Isabelle Houguenade et Claire Lallement	1985
Le livre vert du forestier du Pays d'Auge	Guide des stations	CRPF Normandie	CRPF Normandie, Enitef	Véronique Étienne	1987
Les stations forestières des forêts publiques du Cotentin	Catalogue	ONF Normandie	ONF Normandie	Laurent Chaunu	1990
Pays d'Ouche	Catalogue	SRFB et CRPF Normandie	CRPF Normandie	Jean-Michel Chasseguet	1994
Perche ornais	Catalogue	CRPF Normandie	Université de Caen	Francis de Brou	1995
Autécologie des feuillus précieux : frêne commun, merisier, érable sycomore, érable plane	Étude de potentialités	Cemagref	Cemagref	Alain Franc, Félix Ruchaud	1996
Hautes collines de Normandie	Catalogue	PNR Normandie-Maine	ONF et CRPF Normandie	Frédéric Bercovici	2000
Les milieux forestiers du Parc naturel régional Normandie-Maine	Guide des stations	PNR Normandie-Maine	ONF, CRPF Normandie et Pays de la Loire	Jean-Michel Chasseguet	2005

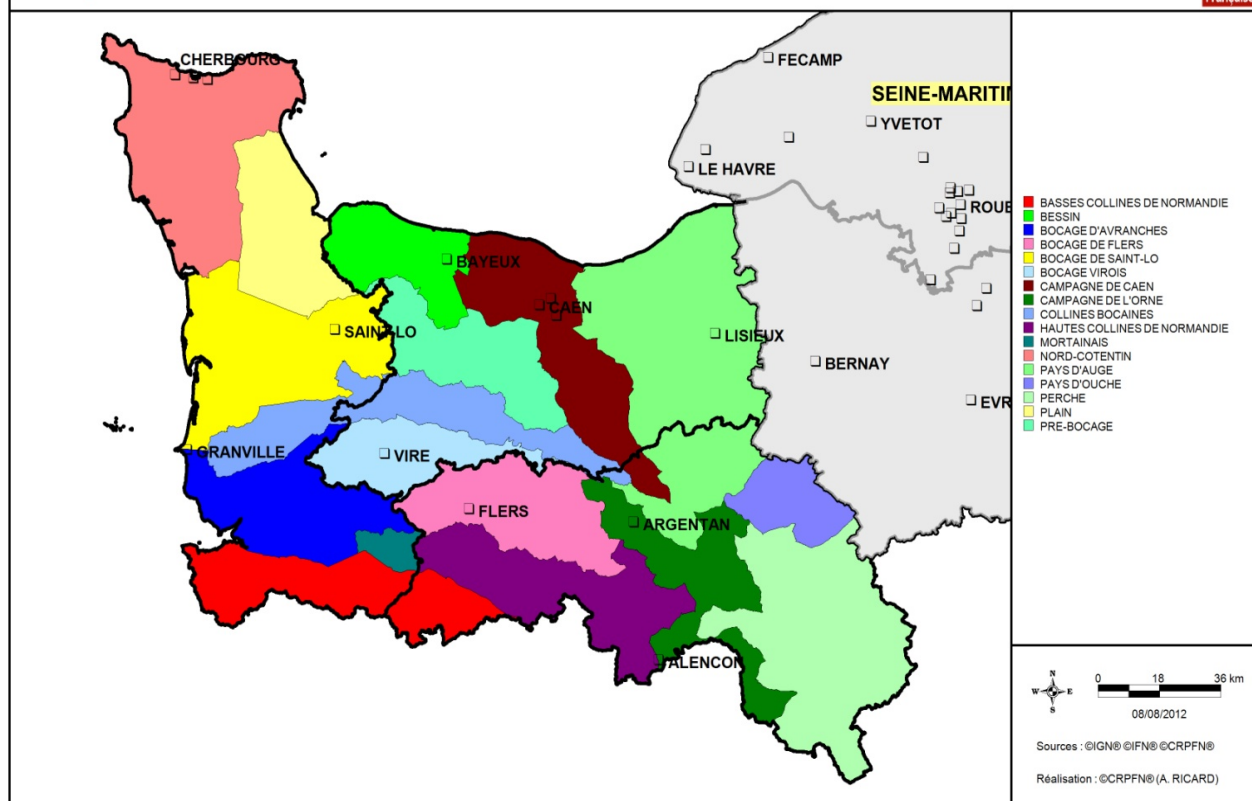
Annexe 4 : Cartes des Régions Forestières (RF) et des Sylvoécorégions (SER)

Contient :

- *Carte des Régions Forestières (RF)*
- *Carte des Sylvoécorégions (SER)*
- *Tableau de correspondance entre les SER, les RF et les catalogues de stations*



Régions forestières Bas-Normandes



Les SylvoEcoRégions Bas-Normandes

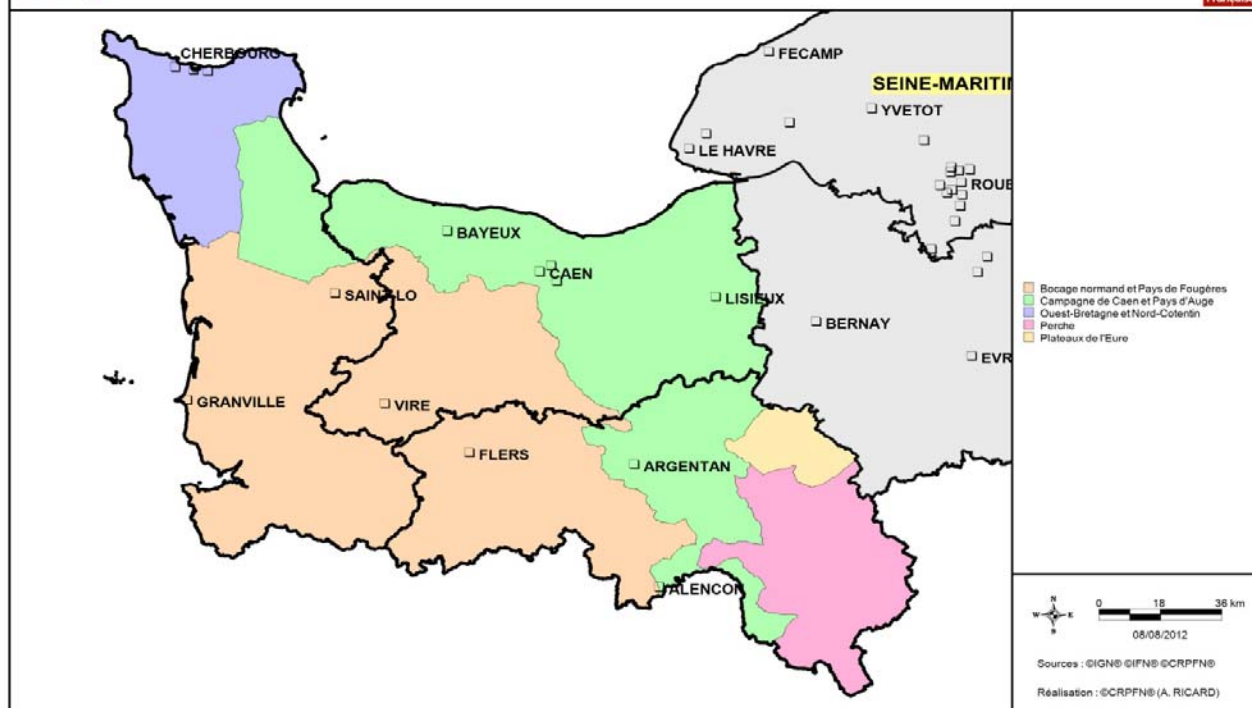


Tableau des correspondances entre les sylvoécorégions, les régions forestières et les outils typologiques en Basse-Normandie :

Code SER	Sylvoécorégions (IFN)	Régions forestières (IFN)	Catalogues et guides
A11	Ouest Bretagne et Nord Cotentin	Nord Cotentin	Catalogue des stations forestières des forêts publiques du Nord Cotentin (Laurent Chaunu, ONF, 1991)
A13	Bocage normand et pays de Fougères	Collines bocaines Bocage normand Basses collines de Normandie Hautes collines de Normandie	Catalogue des stations forestières des Hautes Collines de Normandie (F. Bercovici, 2000) Les milieux forestiers du Parc naturel régional Normandie-Maine : Guide pour l'identification des stations et le choix des essences (J-M Chasseguet, 2005)
B31	Campagne de Caen et Pays d'Auge	Plein Bessin Campagnes de Normandie Pays d'Auge	Catalogue du Pays d'Auge (V. Etienne, 1985) Le livre vert du Pays d'Auge (V. Etienne, 1987)
B32	Plateau de l'Eure	Pays d'Ouche	Catalogue du Pays d'Ouche (J-M Chasseguet, 1994)
B33	Perche	Perche	Catalogue du Perche ornais (F. de Brou, 1995)

Annexe 5 : Caractéristiques des catalogues bas-normands

Catalogues des stations forestières	Régions forestières	Nombres de pages	Nombre de pages de la préétude et méthodologie	Explication de la méthode de construction de la typologie	Niveau d'utilisation de la géologie	Nombre de groupes écologiques	Nombres d'espèces indicatrices	Nombre de types de stations	Clé détachable	Profil pédologique synthétique	Contraintes de production	Choix des essences	Préconisations sylvicoles par rapport aux contraintes	Prise en compte du changement climatiques	Lien avec les habitats	Approche station/production	Relevés types	Remarques
Catalogue des stations forestières des forêts publiques du Nord Cotentin	Nord Cotentin	305	46	non	non	16	160	23	non	oui	oui, bien détaillées	non	oui	non	non mais importance des groupes phytosociologiques	non	oui	Avoir une bonne connaissance de la flore du Nord Cotentin qui est caractéristique; pas de choix des essences mais les contraintes sont explicites
Catalogue des stations forestières des Hautes Collines de Normandie	Hautes collines de Normandie	317	115	oui	utilisation dans la clé	17	177	37	non	oui	oui mais succincts	oui	non	non	non	non	non	La clé n'est pas simple d'utilisation (4 pages)
Les milieux forestiers du Parc naturel régional Normandie-Maine : Guide pour l'identification des stations et le choix des essences	Hautes collines de Normandie	49	10	non	faible	0	une dizaine dans la clé	12	non	non	oui	oui	non	non	non	non	non	Unités stationnelles construites par aménagement sylvicole et moins en termes de contraintes hydriques ou trophiques
Catalogue du Pays d'Auge	Pays d'Auge	110	57	oui	non	14	50	11	non	non	non	oui	non	non	non	oui	non	Clé complexe, les groupes écologiques ne sont pas assez exhaustifs, les types de stations manquent de variantes
Le livre vert du Pays d'Auge	Pays d'Auge	76	0	non	non	14	50	11	non	non	non	oui	non	non	non	oui	non	Clé complexe, les groupes écologiques ne sont pas assez exhaustifs, les types de stations manquent de variantes
Catalogue du Pays d'Ouche	Pays d'Ouche	209	55	oui	non	18	184	27	non	oui	oui	oui	oui	non	non	non	non	Clé simple mais avoir de bonnes connaissances en pédologie
Catalogue du Perche omais	Perche	66	40	oui	non	21	146	33	non	oui	oui	non	non	non	non	non	non	Pas de choix des essences et les contraintes ne sont pas précises

Annexe 6 : Extrait de la grille de lecture du catalogue du Perche

Types de station		S1	S2			S3	S4		
Nom		station de fond de vallon à flore hygrophile et hydrocline sur sol limoneux épais	Station de fon de vallon à flore hygrophile et hydrocline sur sol limoneux moyennement épais			Stations de fond de vallon à flore hygrophile et hydrocline sur sol limoneux peu épais	stations de fond de vallon à flore hygrophile et hydrocline sur sols argileux		
caractéristiques des types de stations		hygrophile et hydrocline	hygrophile et hydrocline			hygrophile et hydrocline	hygrophile et hydrocline		
Variantes			synthèse	A	B		synthèse	A	B
caractéristiques des sous types				très hydromorphe	peu hydromorphe			sol argileux peu épais	sol argileux épais marmorisé
Matériaux de surface	limons peu épais					x			
	limons moyennement épais		x	x	x				
	limons épais	x							
	A						x	x	x
	AL								
	L	x	x	x	x	x			
	LAS	x	x	x	x				
	LS/SL					x			
	S								
Niveau trophique (Humus)	tourbeux								
	mor								
	dysmoder								
	eumoder								
	mull-moder	x							
	dysmull (mull acide)	x				x	x		x
	mull	x	x						
	oligomull	x	x						
	mésomull (mull mésotrophe)	x	x	x	x	x	x	x	
	eumull (mull eutrophe)	x	x						
	eumull calcique								
	eumull carbonaté								
	hydromull		x			x	x		
	hydromor								
Topographie	hydromoder								
	anmor/tourbe					x			
	Haut de pente, versant de pente moyenne à forte (>15%)								
	Versant peu marqué								
	Plateau								
	Fond de vallon, Bas de versant	x	x	x	x	x	x	x	x
	Vallée	x							
Végétation caractéristique	Cuvette, fond de vallon plat, replat en bas de versant	x	x	x	x	x		x	x
	Fougère aigle								
	<i>Polytrichum formosum</i>								
	Sphaignes								
	Molinie bleue								
	Frêne								
	aulne glutineux	x	x	x	x	x	x	x	x
	Saule roux	x	x	x	x	x	x	x	x

**Annexe 7 : Extrait d'un type de station du catalogue du Perche ornais
à réviser dans le cadre du changement climatique**

C Rend	STATIONS A FLORE CALCICOLE SUR RENDZINE		FICHE S8
	RECAPITULATIVE		
CARACTERES DIAGNOSTICS PRINCIPAUX			
Sol peu développé (roche calcaire à partir de 25-30 cm de profondeur) à texture argilo-limoneuse. Réaction à l'acide chlorhydrique (dilué au 1/10e dès la surface). pH en A1 : 7 Humus : mull carbonaté Strate arborée : Hêtre accompagné d'Erable champêtre. Flore de sous-bois caractéristique : Ancolie vulgaire, Epiaire des Alpes, Fétuque à feuilles de deux sortes, Clématite vigne blanche, Daphné lauréole, Cornouiller sanguin, Viome lantane, Troène, Fusain d'Europe...			
POSITION TOPOGRAPHIQUE		CONDITIONS DE SITES	
		Versant Pente : 5 à 10 % Exposition : sud-sud-ouest	
FREQUENCE ET IMPORTANCE SPATIALE		NATURE DU SUBSTRAT	
Stations très localisées et très rares en forêt.		Calcaire corallien du Bellémois (oxfordien moyen).	
COMMENTAIRES GENERAUX		GROUPES SOCIO-ECOLOGIQUES	
Facteurs de contraintes : - Présence de calcaire actif dès la surface (carbonatation sur l'ensemble du profil) - Faible profondeur prospectable par les racines - Faible réserve utile (RU : 60 mm à 70 mm)		5. Calcicoles 8. Neutrophiles 9. Neutrocalciclines 10. Neutroclines 12. Neutroacidiclines 13. Neutroacidiclines à acidiclines 14. Ubiquistes	
Stations à réserver au Hêtre 			

Annexe 8 : Caractéristiques et utilisation des bases de données

	BD IFN (ancienne et nouvelle méthodes)	BD Ecoplant	BD calluna et Sophy	Diagnostics stations ONF	Fiches relevés CRPF
Origine des données	Jeu de placettes réparties au niveau national (système de maillage)	Relevés phytocéologiques issus des catalogues de stations, thèses, mémoires, études...	Relevés phytosociologiques précis	Relevés « diagnostics stations » issus de plan d'aménagement ou d'études particulières	Relevés « diagnostics stations » issus d'archives
Contenu	Sur 400 m², description du: -peuplement forestier (type, données dendrométriques) -essences en place -relevés flore (abondance/dominance) - relevés sol (fosse ou tarière)...	-Informations sur le climat et le sol : -Paramètres liés à la nutrition des sols (pH, C/N, azote, S/T...) -Données floristiques (Présence/ absence...) -Données sols (types, horizons, texture...)	-Données botaniques et phytosociologiques (abondance/ dominance, grande précision des relevés floristiques)	-Flore bioindicatrice -Données sols -Cartes stations -Fosses pédologiques -Forêts domaniales d'Andaines, Ecouves, Gouffern et Perches Trappes	- Flore bioindicatrice -Données sols -Données climats (RU, ETP, bioclimat houzard, ETP...)
Utilisation	-Comparer les régions naturelles ; -Vérifier la robustesse des typologies des catalogues -Constitution des groupes écologiques -Définir les gradients écologiques structurant les relevés -Extension des catalogues	-Constitution des Groupes écologiques -Vérifier la robustesse des typologies des catalogues -Extension des catalogues	- Constitution des groupes écologiques	-Validation des modèles et de la carte prédictive des stations	
Nombre	2047	292 provenant de 3 catalogues de stations	En attente	4635 (relevés informatisés)	122 fiches papiers réparties sur 8 Régions forestières
Avantages	-Données géoréférencées -Potentialités forestières - Recouvrement homogène sur le territoire	-Données géoréférencées -Données précises sur la composition des sols, les valeurs indicatrices des plantes...	-Données géoréférencées -Caractérisation des milieux rares et singuliers	-Données géoréférencées -Types de stations connus -Situation fosses pédologiques	
Inconvénients	-Représente mal les milieux rares ; -Données pas toujours exhaustives en fonction des personnes, de la saison... -Problèmes des peuplements artificialisés	-Concerne que les territoires couverts par un catalogue de station	-Pas d'indication sur l'humus le sol	-Peu précis sur le sol, la flore, le climat, la géologie	-Données localisées avec peu de précision ; -Informations peu précises sur le sol, la flore, le climat, la géologie

Annexe 9 : Comparaison des régions forestières de la SER « Bocage normand et Pays de Fougères »

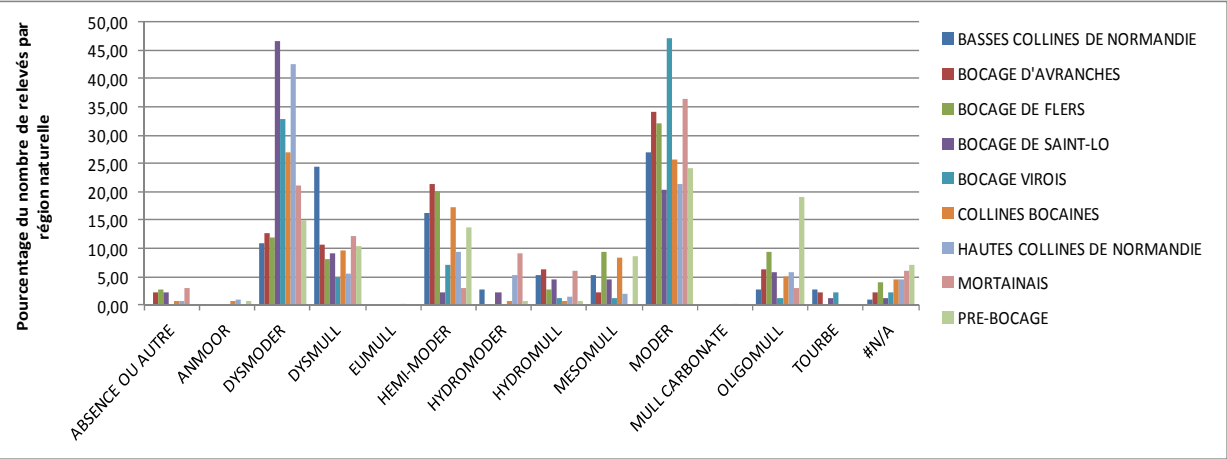
Contient :

- *Tableau de comparaison des régions forestières de la SER « Bocage normand et Pays de Fougères »*
- *Histogrammes de comparaison des sols et des humus des différentes régions forestières de la SER*

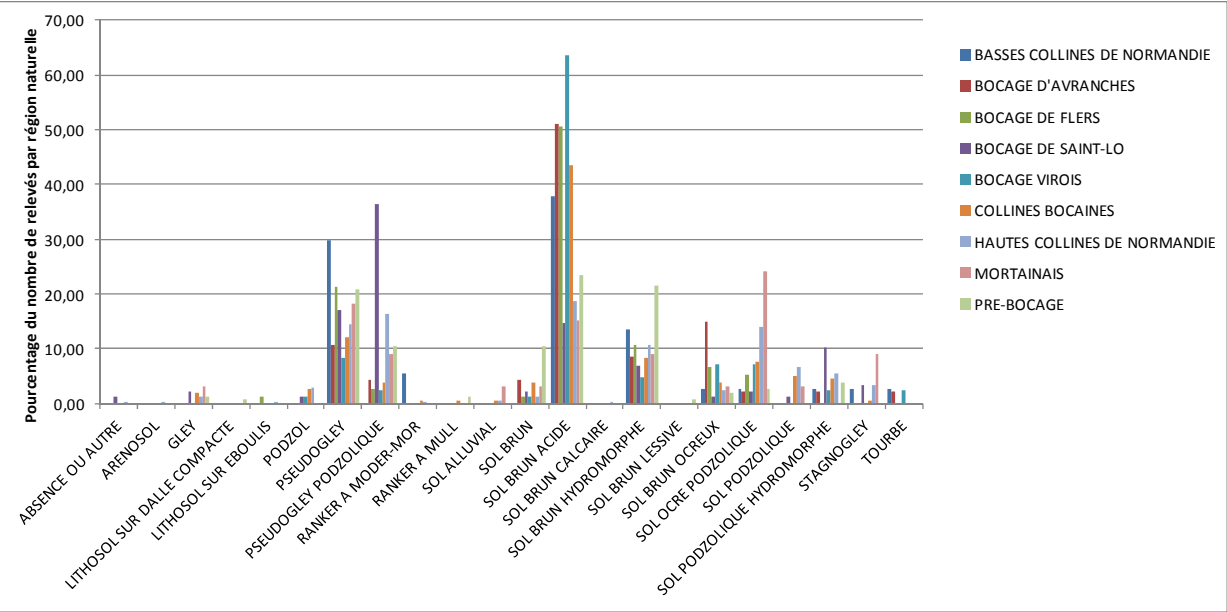
SER	Régions Forestières (IFN)	Conditions naturelles									
Nom	Nom	Géologie			Pédologie			Climat			
		Socle	Roche Mère	Topographie	sols		Humus majoritaire	Altitude (m)	Pluviométrie (mm)	T°C moy.	Climat
"Bocage normand et Pays de Fougères"	Bocage Normand	primaire précambrien	Schistes , silice meuble (75%), granites	Bas de versant: 7 % Haut de versant: 5 % Terrain plat: 49 % Mi-versant: 42 %	Sols hydromorphes (30 %) Sols brunifiés (60 %)	Limoneux (70 %)	Moder et dysmull	100 - 386	750-1200	10	Froid et humide
	Collines Bocaines	cambrien	conglomérats de quartz, shistes	Bas de versant: 1,7 % Haut de versant: 7,3 % Terrain plat: 28,7 % Mi-versant: 19,8 %	Sols hydromorphes (30 %) Sols brunifiés (60 %)	Limoneux (80%)	Dysmull, Moder et dysmoder	200 - 365	750-1150	11	Froid et humide
	asses collines de Normandie	briovérien	siliceuse meuble et consolidée	Bas de versant: 16,5 % Haut de versant: 7% Terrain plat: 49 % Mi-versant: 27,5 %	Sols hydromorphes (40 %) Sols brunifiés (40 %)	Limoneux à limoneux sableux	Hydromorphe, moder et dysmoder	200	850-1050	10	Froid et humide
	hautes collines de Normandie	ordovicien	siliceuse meuble et consolidée	Bas de versant: 8 % Haut de versant: 1% Terrain plat: 52,5 % Mi-versant: 53,5 %	Sols hydromorphes (30 %) Sols brunifiés (40 %) Sols podzolisés(40%)	Limoneux à limoneux sableux	Dysmull, Moder et dysmoder	250 -430	850-1100	11	Froid et humide

Tableau de comparaison des Régions Forestières de la SER « Bocage normand et Pays de Fougères » (source : IFN, 2001)

a : humus



b : sol

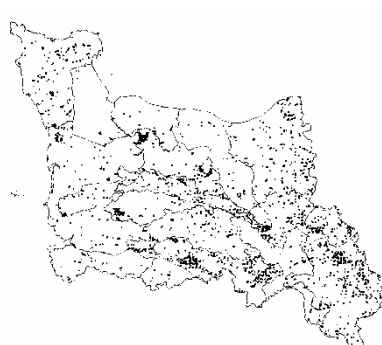
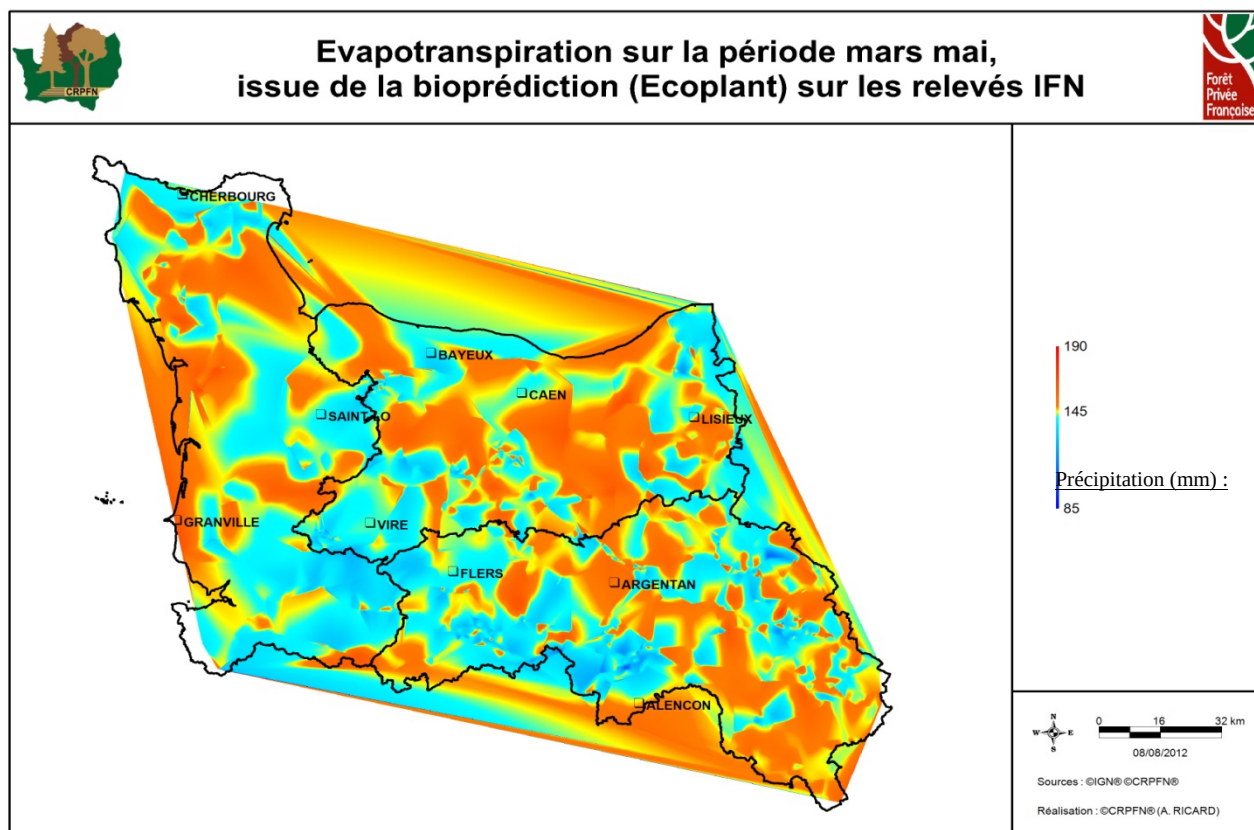
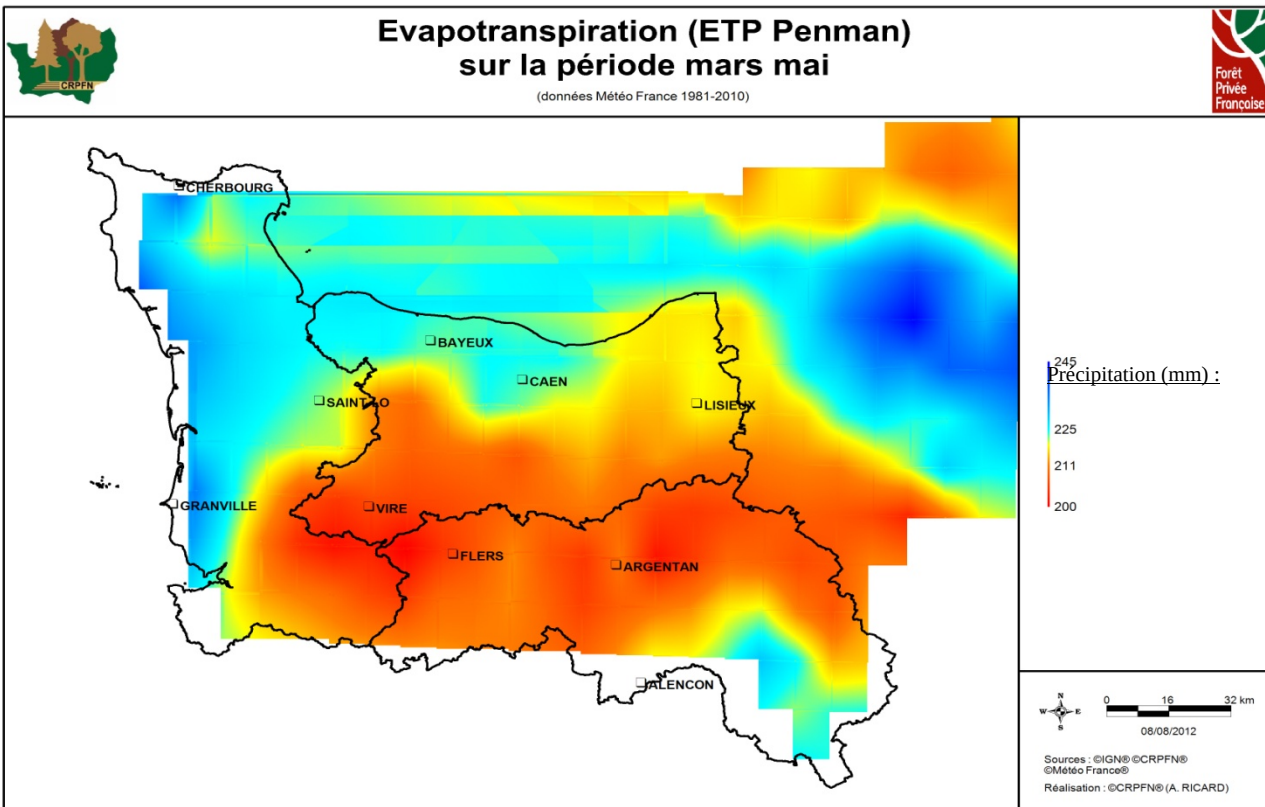


Histogrammes présentant les caractéristiques pédologiques de la Sylvoécorégions « Bocage normand et Pays de Fougères » issus de l’analyse des relevés IFN

Annexe 10 : Biais de la bioprédiction

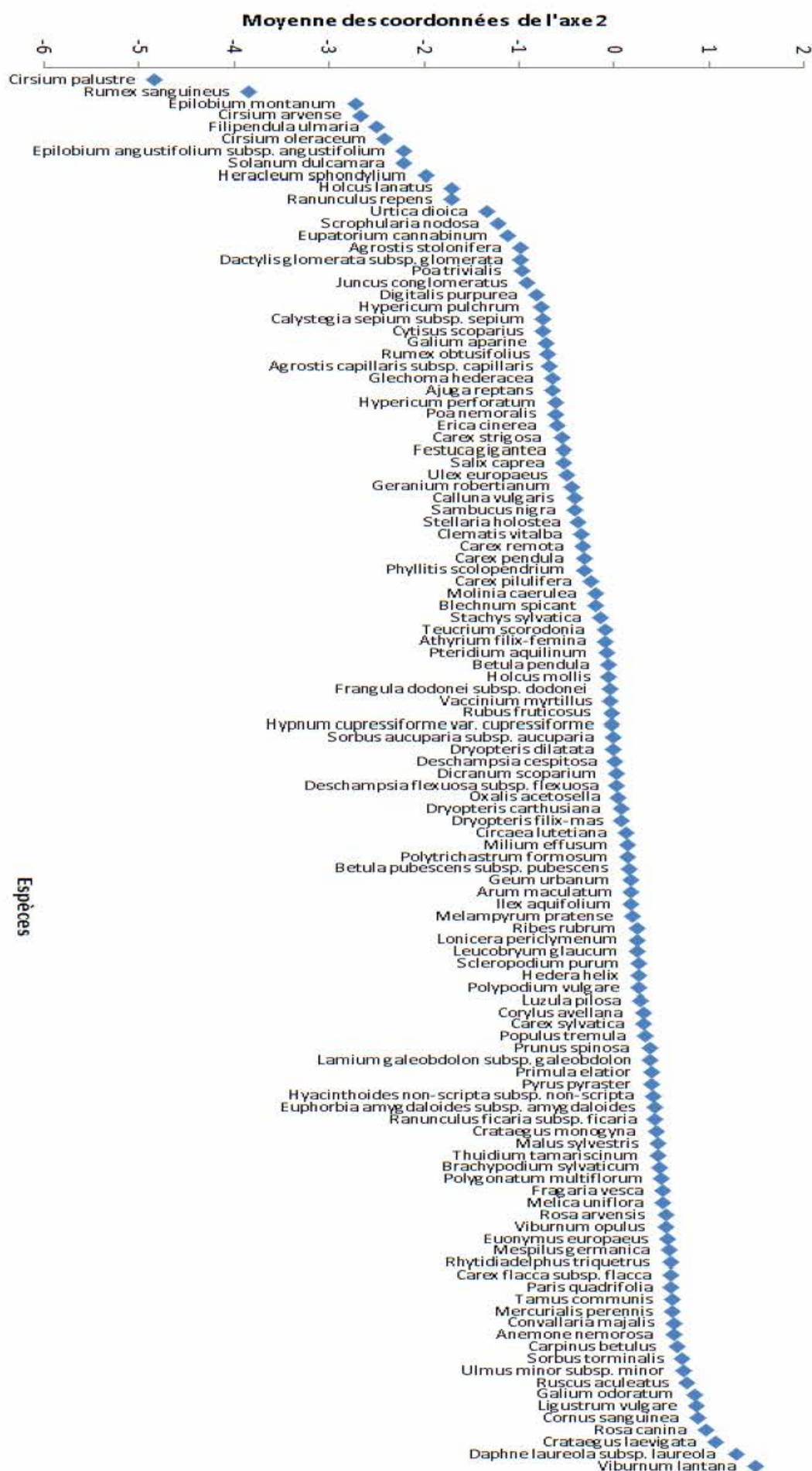
Contient :

- *Carte de l'évapotranspiration issue des données Météo France*
- *Carte de l'évapotranspiration issue de la bioprédiction (Ecoplant)*



Répartition des relevés IFN

Annexe 11 : Caractérisation de l'axe 2



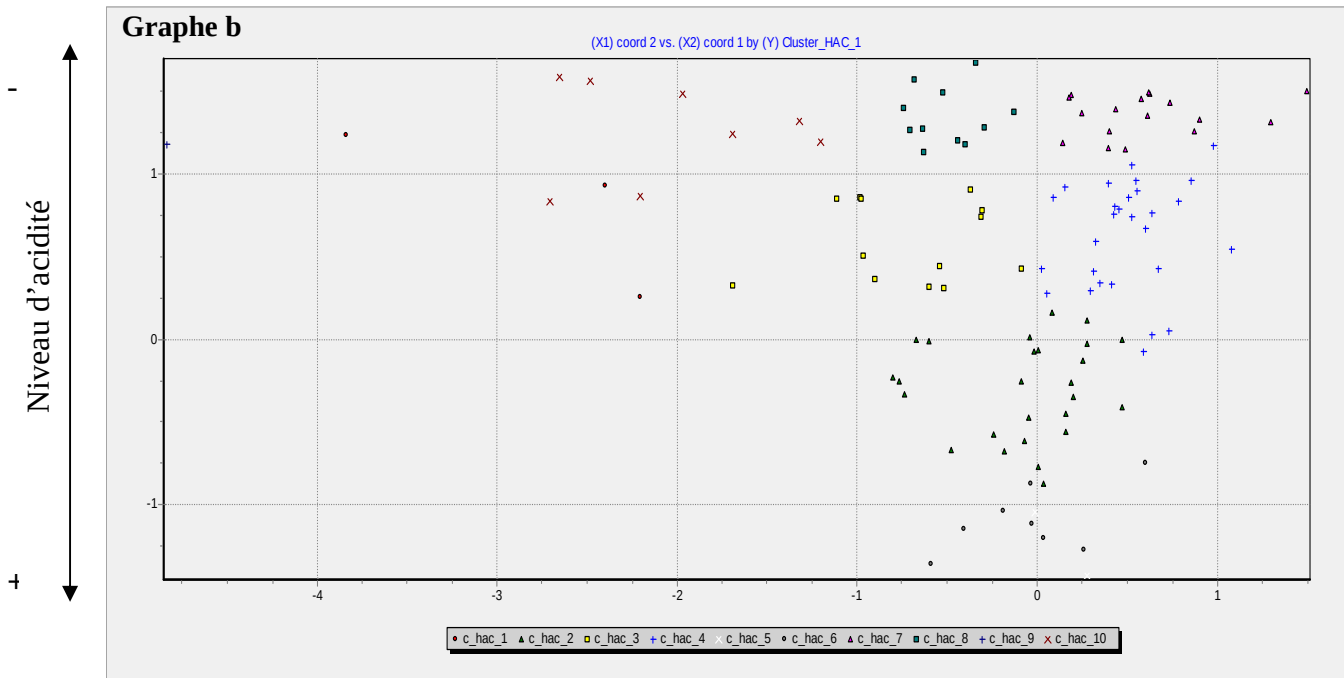
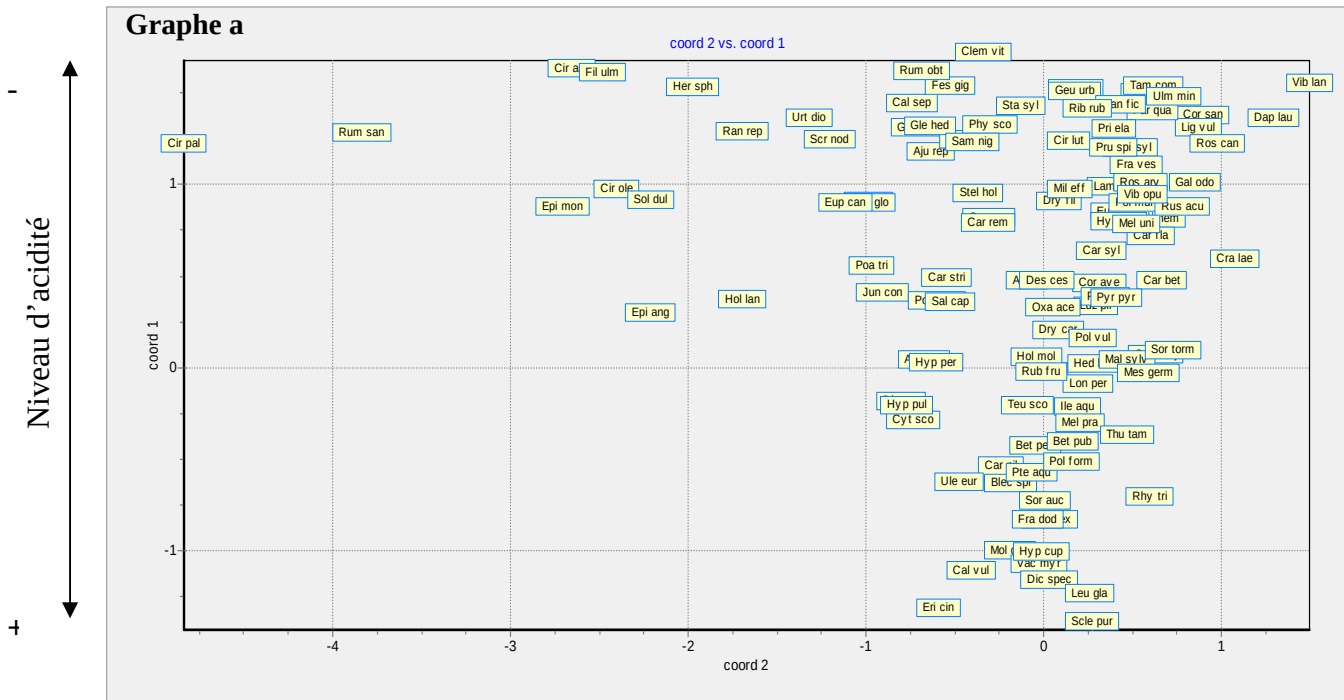
Annexe 12 : Groupes écologiques issus de la CAH

Contient :

- *Graphiques issus de la CAH*
- *Liste des espèces et des groupes écologiques issus de la CAH*

Graphiques issus de la CAH sur Tanagra (coord.1=axe1 et coord. 2 = axe2) :

La liste d'espèces se trouve sur la page suivante



Légende:

- C_HAC_1 : GE1
- C_HAC_2 : GE2
- C_HAC_3 : GE3
- C_HAC_4 : GE4
- C_HAC_5 : GE5
- C_HAC_6 : GE6
- C_HAC_7 : GE7
- C_HAC_8 : GE8
- C_HAC_9 : GE9
- C_HAC_10 : GE10

Liste des espèces et des groupes écologiques construits :

Codes Espèces	Espèces	GE
Cir ole	Cirsium oleraceum	GE1
Epi ang	Epilobium angustifolium subsp. angustifolium	GE1
Rum san	Rumex sanguineus	GE1
Agr cap	Agrostis capillaris subsp. capillaris	GE2
Bet pen	Betula pendula	GE2
Bet pub	Betula pubescens subsp. pubescens	GE2
Blec spi	Blechnum spicant	GE2
Car pil	Carex pilulifera	GE2
Cyt sco	Cytisus scoparius	GE2
Des flex	Deschampsia flexuosa subsp. flexuosa	GE2
Dig pur	Digitalis purpurea	GE2
Dry car	Dryopteris carthusiana	GE2
Dry dil	Dryopteris dilatata	GE2
Hed hel	Hedera helix	GE2
Hol mol	Holcus mollis	GE2
Hyp per	Hypericum perforatum	GE2
Hyp pul	Hypericum pulchrum	GE2
Ile aqu	Ilex aquifolium	GE2
Lon per	Lonicera periclymenum	GE2
Mal sylv	Malus sylvestris	GE2
Mel pra	Melampyrum pratense	GE2
Pol vul	Polypodium vulgare	GE2
Pte aqu	Pteridium aquilinum	GE2
Rub fru	Rubus fruticosus	GE2
Sor auc	Sorbus aucuparia subsp. aucuparia	GE2
Teu sco	Teucrium scorodonia	GE2
Thu tam	Thuidium tamariscinum	GE2
Ule eur	Ulex europaeus	GE2
Pol form	Polytrichastrum formosum	GE2
Agr sto	Agrostis stolonifera	GE3
Ath fil	Athyrium filix-femina	GE3
Car pen	Carex pendula	GE3
Car rem	Carex remota	GE3
Car stri	Carex strigosa	GE3
Dac glo	Dactylis glomerata subsp. glomerata	GE3
Eup can	Eupatorium cannabinum	GE3
Hol lan	Holcus lanatus	GE3
Jun con	Juncus conglomeratus	GE3
Poa nem	Poa nemoralis	GE3
Poa tri	Poa trivialis	GE3
Sal cap	Salix caprea	GE3
Stel hol	Stellaria holostea	GE3
Ane nem	Anemone nemorosa	GE4
Car fla	Carex flacca subsp. flacca	GE4
Car sylv	Carex sylvatica	GE4
Car bet	Carpinus betulus	GE4
Con maj	Convallaria majalis	GE4
Cor ave	Corylus avellana	GE4
Cra lae	Crataegus laevigata	GE4
Cra mon	Crataegus monogyna	GE4
Des ces	Deschampsia cespitosa	GE4
Dry fil	Dryopteris filix-mas	GE4
Eup amy	Euphorbia amygdaloides subsp. amygdaloides	GE4
Fra ves	Fragaria vesca	GE4
Gal odo	Galium odoratum	GE4
Hya nsc	Hyacinthoides non-scripta subsp. non-scripta	GE4
Lam gal	Lamium galeobdolon subsp. galeobdolon	GE4
Luz pil	Luzula pilosa	GE4
Mel uni	Melica uniflora	GE4
Mes germ	Mespilus germanica	GE4
Mil eff	Milium effusum	GE4
Oxa ace	Oxalis acetosella	GE4
Pol mul	Polygonatum multiflorum	GE4
Pop tre	Populus tremula	GE4
Pyr pyr	Pyrus pyraeaster	GE4
Ros arv	Rosa arvensis	GE4
Ros can	Rosa canina	GE4
Rus acu	Ruscus aculeatus	GE4
Sor torm	Sorbus torminalis	GE4
Vib opu	Viburnum opulus	GE4
Hyp cup	Hypnum cupressiforme var. cupressiforme	GE5
Scler pur	Scleropodium purum	GE5

Codes Espèces	Espèces	GE
Cal vul	Calluna vulgaris	GE6
Eri cin	Erica cinerea	GE6
Fra dod	Frangula dodonei subsp. dodonei	GE6
Mol cae	Molinia caerulea	GE6
Vac myr	Vaccinium myrtillus	GE6
Dic sco	Dicranum scoparium	GE6
Leu gla	Leucobryum glaucum	GE6
Rhy tri	Rhytidadelphus triquetrus	GE6
Aru mac	Arum maculatum	GE7
Brac sylv	Brachypodium sylvaticum	GE7
Cir lut	Circaea lutetiana	GE7
Cor san	Cornus sanguinea	GE7
Dap lau	Daphne laureola subsp. laureola	GE7
Euo eur	Euonymus europaeus	GE7
Geu urb	Geum urbanum	GE7
Lig vul	Ligustrum vulgare	GE7
Mer per	Mercurialis perennis	GE7
Par qua	Paris quadrifolia	GE7
Pri ela	Primula elatior	GE7
Pru spi	Prunus spinosa	GE7
Ran fic	Ranunculus ficaria subsp. ficaria	GE7
Rib rub	Ribes rubrum	GE7
Tam com	Tamus communis	GE7
Ulm min	Ulmus minor subsp. minor	GE7
Vib lan	Viburnum lantana	GE7
Aju rep	Ajuga reptans	GE8
Cal sep	Calystegia sepium subsp. sepium	GE8
Clem vit	Clematis vitalba	GE8
Fes gig	Festuca gigantea	GE8
Gal apa	Galium aparine	GE8
Ger rob	Geranium robertianum	GE8
Gle hed	Glechoma hederacea	GE8
Phy sco	Phyllitis scolopendrium	GE8
Rum obt	Rumex obtusifolius	GE8
Sam nig	Sambucus nigra	GE8
Sta syl	Stachys sylvatica	GE8
Cir pal	Cirsium palustre	GE9
Cir arv	Cirsium arvense	GE10
Epi mon	Epilobium montanum	GE10
Fil ulm	Filipendula ulmaria	GE10
Her sph	Heracleum sphondylium	GE10
Ran rep	Ranunculus repens	GE10
Scr nod	Scrophularia nodosa	GE10
Sol dul	Solanum dulcamara	GE10
Urt dio	Urtica dioica	GE10

Biais lié à la CAH ou réelle niche écologique de ces espèces en Basse-Normandie ??

Annexe 13 : Relevé de station

FICHE DE DESCRIPTION DES STATIONS

dates : 11/06/2012

point n° : 1 -plantation épicéa

antécédent climatique :

REFERENCE ADMINISTRATIVE

Département : Calvados Commune : Saint Gaten des bois
Région IFN : Pays d'Auge
Forêt propriété :
Parcelle ou lieu-dit : Bois de Saint Gaten

Type de stations : I - station acide à molinie

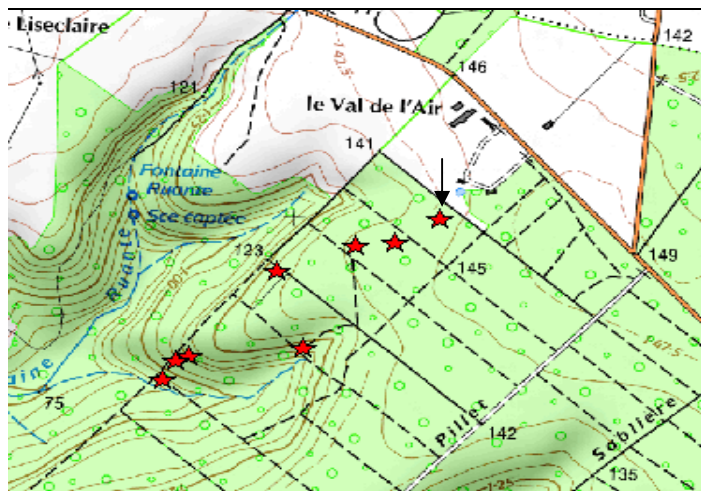
Réf. catalogue : Livret vert du Pays d'Auge

Données météo :

Pluviométrie : 904,2 mm/an

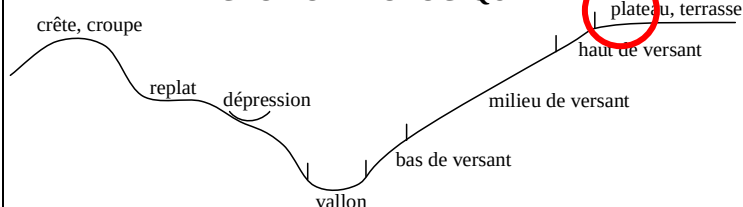
Température moyenne : 10.4°C

(moyennes annuelles 1971-2000) ©Météo FRANCE®



X: 498062.454 Y : 6918785.709 (Lambert 93)

REFERENCES GEOGRAPHIQUE ET GEOMORPHOLOGIQUE



Plaine – autre :

Expo. = Nord ouest

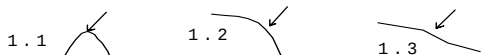
Alt. (m) = 143 m

Pente (%) = Pente opposée (%) = Confinement = 0 - 1 - 2

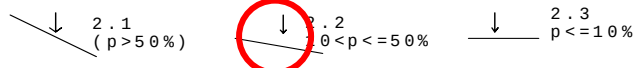
Forme versant : concave - convexe – plan

REGIME HYDRIQUE

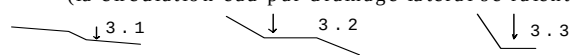
1 - conditions topographiques défavorables à l'alimentation en eau : pertes par drainage > apports latéraux (RHY-)



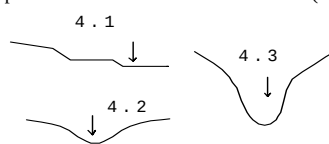
2 - conditions topographiques entraînant une alimentation en eau équilibrée : pertes nulles ou presque égales aux apports latéraux (RHY0)



3 : conditions topographiques favorables à l'alimentation en eau : apports latéraux > pertes par drainage (RHY+)
(la circulation eau par drainage latéral se ralentit)



4 : conditions topographiques entraînant une alimentation en eau excédentaire : apports latéraux excédentaires (RH++)



5 : conditions d'alimentation en eau très excédentaires



Régime hydrique : submersion périodique - engorgement temporaire - engorg. permanent - profil drainé

Cause excès eau : pluie - crue - ruissellement - source - nappe temp. / nappe perman. obs. à = 10 cm

PEUPELEMENT

Stade dynamique : forêt en phase pionnière, transitoire, optimale

STRUCTURE

futaie régulière
futaie sur souche
taillis avec réserves
taillis

AGE

régénération
jeune peuplement
peuplement adulte
vieux peuplement

essence	position	C	âge	hauteur	Ihm
Epicéa commun			40		

Qualité et état sanitaire : 1 = très bon – 2 = bon – 3 = moyen – 4 = faible – 5 = médiocre

OBSERVATIONS DIVERSES

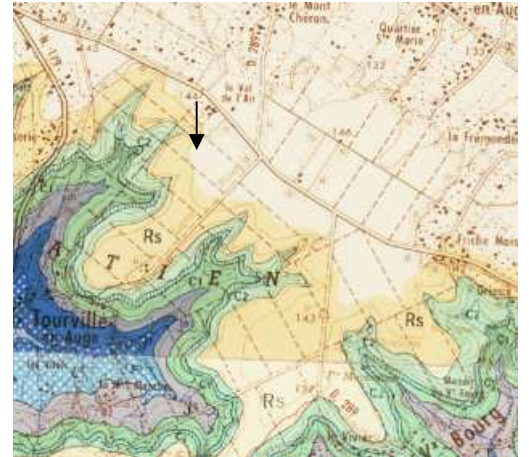
Erosion et apport de terre : érosion en nappe / localisé – apport par érosion / ruissellement / alluvion.

Influence humaine et animales :

GEOLOGIE

Roche sous-jacente carte géologique : Réf. carte géol. = feuille de Lisieux (1/50000)

Roche-mère: limons de plateau sur argiles à silex. L'argile à silex s'intercale entre les limons de plateaux et les craies, dans lesquelles s'enfoncent des poches de dissolution comblées de silex. La craie peut-être saine ou altérée. L'argile à silex est une formation à matrice argilo-limono-sableuse, rouge-jaunâtre à rouge-brunâtre, formée de résidus d'altération de la craie (parfois jusqu'à 50% de silex), de sables tertiaires et de loess anciens remaniés. Elle est recouverte par des loess et elle recouvre des terrains descendant jusqu'au Jurassique.



PROFIL PEDOLOGIQUE

Humus de type **moder**

Horizons	Prof (cm)	Texture	Couleur
A	0-10	L	brun foncé, riche en MO
Eg	10-60	L	Grisâtre avec quelques tâches de rouilles et décolorées
Btg	60-90	LA	Brun clair avec quelques tâches de rouille et décolorées
C	90-100	Loess altérés	Blanc/gris avec quelques tâches de rouille et décolorées

Sol de type « **néoluvisol réduxisol** » = sol à nappe temporaire superficielle formé sur matériau argileux recouvert d'une couche de limons de plus de 30 cm d'épaisseur.

On se trouve ici sur un sol à nappe temporaire, c'est-à-dire que durant certaines périodes de l'année (hiver et printemps), il arrive plus d'eau de pluie à la partie supérieure de cet horizon qu'il ne peut à la fois s'en infiltrer en profondeur, s'en écouler latéralement et s'en évapotranspirer. Une fluctuation de l'eau durant l'année peut être une source de contraintes pour les racines qui peuvent être ennoyées une partie de l'année mais aussi une contrainte sur la stabilité des essences, de la régénération naturelle, de la survie ou de la croissance des peuplements.

La présence d'une nappe temporaire laisse généralement des traces dans le sol. Cette nappe est inoffensive si elle apparaît à partir de 50 cm de profondeur.

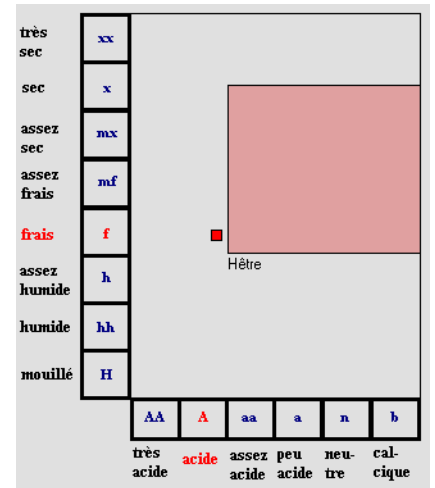
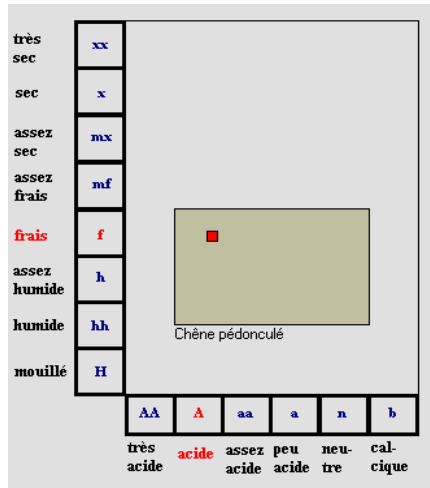
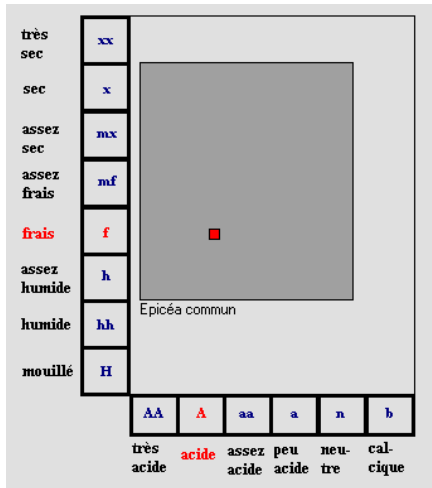
Le caractère imperméable du plancher de la nappe dérive souvent de la présence d'un taux assez important d'argile dans le matériau, ce qui est notre cas en profondeur (argile à silex).

Les arbres se situant sur ce genre de sol peuvent subir deux contraintes successives qui sont : « le déficit hydrique estival » et l'« hypoxie des racines ».

Ici, le sol est recouvert d'une épaisse couche de limons (>30 cm) sur les argiles.

Les limons sont d'origines éoliennes (loess) constituent l'horizon de fluctuation de la nappe. Leur texture est souvent limoneuse ou limono argileuse, leur hydromorphie est donc caractérisée par des tâches rouille ou décolorée.

ECOGRAMME (Ecoflore):



Le point rouge correspond au relevé

Le carré de couleur représente l'amplitude écologique de l'espèce citée

GROUPES ECOLOGIQUES (Ecoflore) :

GEI : Acidiphiles à large amplitude

Pteridium aquilinum	Fougère aigle	1
Blechnum spicant	Blechné en épi	1
Polytrichum formosum	Polytric élégant	1

GEI : Acidiclinales de mull oligotrophe mésophiles

Lonicera peryclimenum	Chèvrefeuille des bois	1
-----------------------	------------------------	---

GEI : Acidiclinales de mull mésotrophe mésophiles

Rubus groupe fruticosus	Ronce des bois	1
-------------------------	----------------	---

GEI : Mésohygrophiles neutrophiles à acidiclinales

Carex remota	Laîche à épis espacés	+
--------------	-----------------------	---

GEI : Espèces à très large amplitude

Scleropodium purum	Hypne pure	1
--------------------	------------	---

GEI : Neutroclinales à large et moyenne amplitudes

Hedera helix	Lierre	1
--------------	--------	---

VALEURS INDICATRICES (Ecoplant)

Relevés	pH	S/T	C/N	BH07	ETP03-05	Tmin01	TmoyA	Engorg. perm.	Engorg. temp.
1	4.55833333	44.8571429	20.8333333	-57	149.222222	1.27777778	10.925	-0.00439313	0.08218177

Les valeurs d'engorgement temporaire et permanent présentent la particularité de pouvoir se sommer pour donner la valeur d'engorgement temporaire <30 cm ou permanent <50 cm.

Les valeurs bioindiquées supérieures à 0 correspondent à des sols plus ou moins engorgés. Plus la valeur est positive plus le sol est engorgé.

BH = bilan hydrique

CONTRAINTES STATIONNELLES

⇒ Fragilité physique :

On se trouve sur une plantation d'épicéas communs. L'épicéa commun possède un enracinement traçant qui peut-être rédhibitoire sur une station à engorgement temporaire. En effet, le fait d'avoir une hydromorphie temporaire proche de la surface va entraîner la formation d'un système racinaire superficiel, ce qui peut poser un problème de stabilité (risque de chablis).

La forte épaisseur en limons du sol peut rendre le sol fragile au tassement.

⇒ Fragilité chimique :

Les limons sont lessivés et l'enracinement est superficiel. La réserve minérale est donc limitée.

⇒ Fragilité hydrique :

Sur ce type de sol, l'hypoxie à laquelle sont soumises les racines des arbres est d'intensité moyenne. Le volume d'eau disponible en période de dessèchement est assez important car la texture est favorable à la rétention de l'eau et la pénétration du système racinaire en profondeur est facilitée par le fait qu'il n'y a pas de transition brutale entre les limons et les argiles riches. Pour vérifier la profondeur d'enracinement et la structure des horizons, l'ouverture d'une fosse donnerait plus d'explications. En effet, il existe un horizon Btg provenant du lessivage des argiles à partir de l'horizon Eg et un horizon de transition constitué d'un mélange de la partie inférieure des limons enrichis en argile et la partie supérieure des argiles riches.

Comme on l'a vu plus haut, l'épicéa a un enracinement traçant. En période de sécheresse, il risquerait d'être fragilisé. Une fois de plus, une fosse permettrait de quantifier la RU et la profondeur d'enracinement réelle de l'épicéa. L'épicéa risque d'être sensible au stress hydrique dans cette station.

La réserve utile est bonne (150-200mm) pour les essences avec un enracinement puissant.

CHOIX DES ESSENCES



Feuillus : chêne pédonculé et sessile, le hêtre (si hydromorphie pas trop marquée). Dans le cadre du changement climatique, le chêne pédonculé pourrait craindre les sécheresses estivales sur ce type de sol.



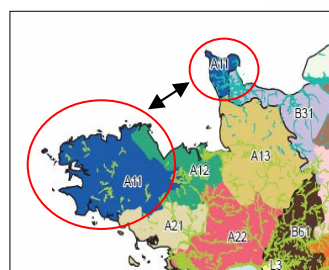
Résineux : épicéa commun (oui en phase d'amélioration mais à éviter lors de régénération), pin sylvestre ou épicéa de Sitka (limite de station). Attention au changement climatique, l'épicéa de Sitka est une espèce craignant les sécheresses estivales et ayant besoin d'une pluviométrie d'environ 900 mm.

PHOTOS

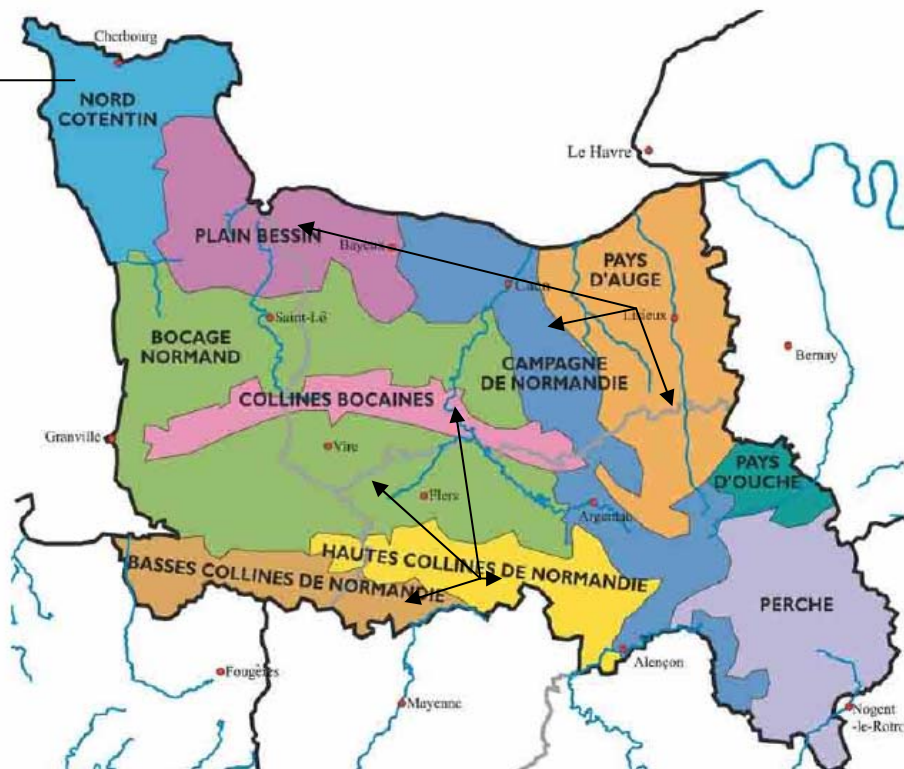


Annexe 14 : Proposition d’extensions des catalogues

Catalogues	SER	RF applicables	Extension possible
Catalogue du Perche ornaïs	Perche	Perche (Basse-Normandie)	Oui mais attention aux stations sur les sables du Perche (non présentes dans le catalogue de la région Centre)
Valorisation des stations et des habitats forestiers (Région Centre)		Perche (Région Centre)	
Catalogue du Nord Cotentin	Ouest Bretagne et Nord Cotentin	Nord Cotentin	Oui car la SER du Nord Cotentin est la même que celle de la Bretagne
Guide du sylviculteur du Centre ouest Bretagne		Bretagne Centrale	
Catalogue des Hautes collines de Normandie	Bocage normand et Pays de Fougères	Collines bocaines	Oui mais cela reste à confirmer
		Basses collines de Normandie	
		Bocage normand	
Livret vert du Pays d'Auge	Campagne de Caen et Pays d'Auge	Plain Bessin	Oui mais cela reste à confirmer
		Campagnes de Normandie	
		Pays d'Auge	
Catalogue du Pays d'Ouche	Plateau de l'Eure		Non car le Pays d'Ouche se situe sur une SER caractéristique



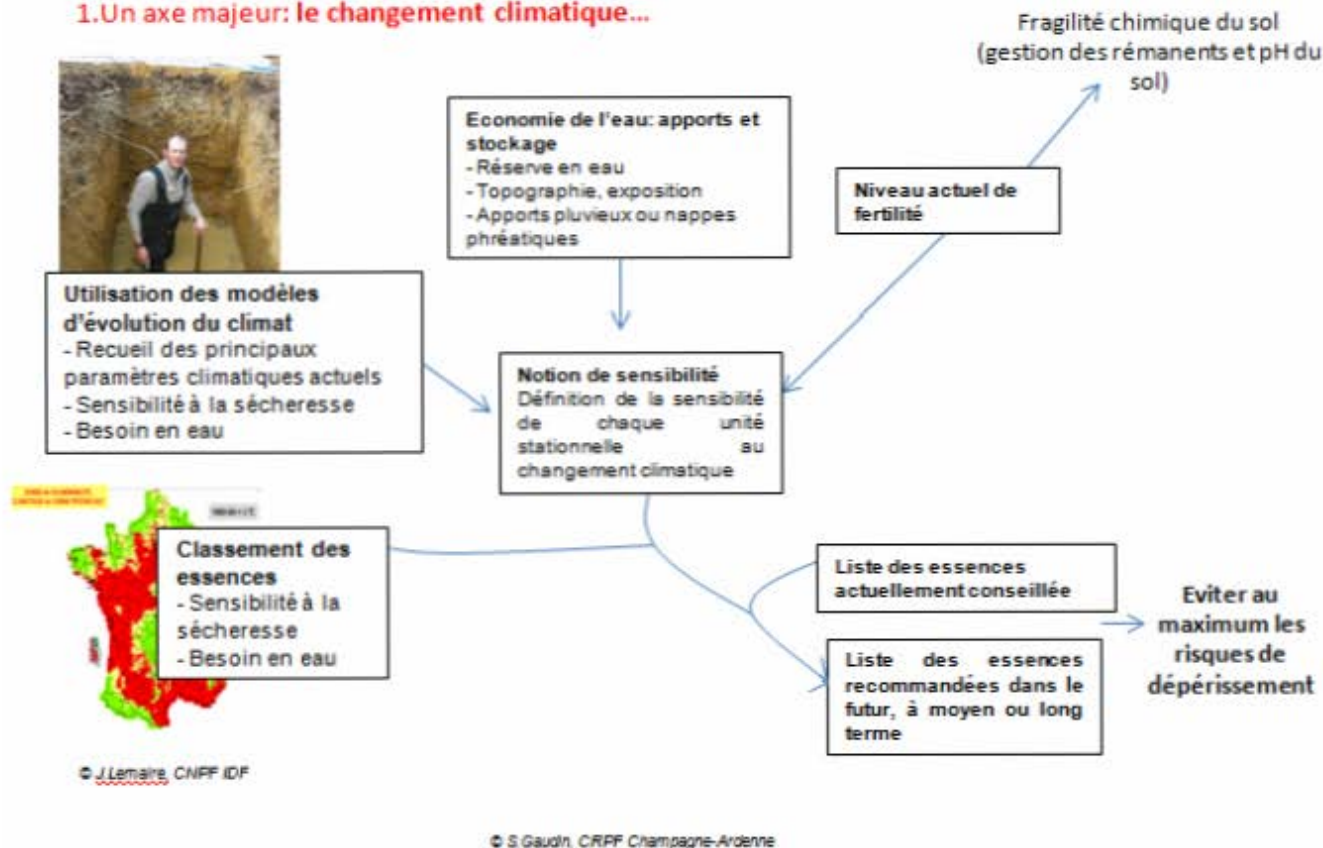
Sylvoécorégions (IFN)



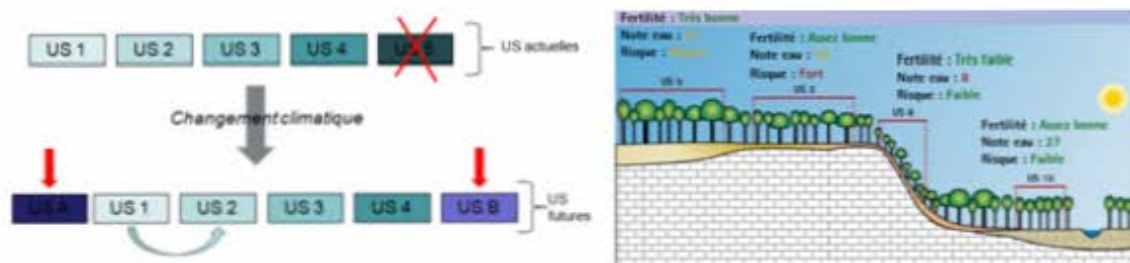
Extensions possibles (carte des Régions Forestières issue du SRGS de Basse-Normandie, 2006)

Annexe 15 : Démarche de l’outil de choix des essences en Basse-Normandie

1. Un axe majeur: le changement climatique...

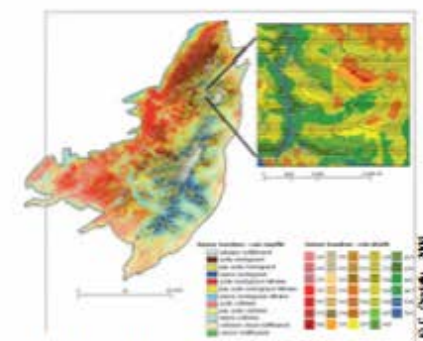
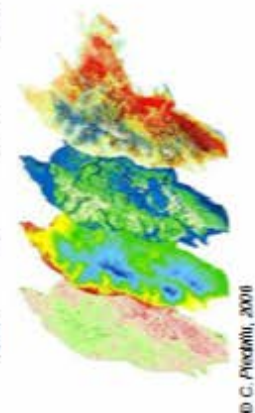


2. Vers un concept d'unités stationnelles dynamiques...

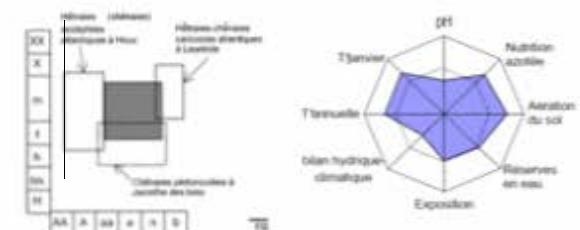


3. Vers une cartographie prédictive des stations forestières...

- Révisions des catalogues existants et réévaluation des stations forestières
- Analyses des relevés floristiques et constitution des groupes écologiques
- Prise en compte des scénarios climatiques
- Modélisations des facteurs hydriques, trophiques et climatiques
- Cartographie prédictive des stations



f- Outils diagnostics de la station



Résumé

Compte tenu des évolutions climatiques attendues à l'horizon de la fin du XXI^{ème} siècle, des difficultés croissantes d'adaptation des essences forestières sont attendues. La gestion sylvicole doit donc favoriser l'adaptation des peuplements pour une gestion durable. La mise en place d'une telle gestion anticipatrice nécessite la mise au point de nouveaux outils d'aide à la décision efficaces et répondant aux interrogations des gestionnaires. Ces derniers disposent couramment d'outils de choix des essences mais ils sont incomplets ou font défaut notamment en Basse-Normandie.

La pré-étude a eu comme objectif de définir les limites de ces outils et de proposer une méthode permettant la construction d'un nouvel outil de choix des essences à l'échelle de la Basse-Normandie. Ce nouvel outil a pour prétention l'intégration du changement climatique dans le choix des essences, notamment en s'appuyant sur les outils de modélisation et de géomatique, mais tout en conservant l'approche rigoureuse de typologie, développée initialement dans les catalogues de station ou dans l'outil diagnostic de station du CRPF de Normandie.

Mots clés : adaptation, Basse-Normandie, bilan hydrique, changement climatique, stations forestières, unité stationnelle

.....

Given the expected climatic changes wait for on the horizon of the end of the XXI century, the growing difficulties of adaptation of forest species are expected. The forest management should promote adaptation stands for sustainable management. The establishment of such a proactive management requires the development of new tools for effective decision support and answering questions from managers. The latter have common tools of tree species selection but they are incomplete or are absent particularly in Basse-Normandy.

The pre-study had the objective of defining the limits of these tools and to propose a method for the construction of a new tool of tree species selection on a scale of the Basse-Normandy. This new tool is to claim the integration of climate change in the choice of species, including reliance on modeling tools and GIS, but while maintaining the rigorous approach to typology, developed initially in the catalogs of station or diagnostic tool station of CRPF of Normandy.

Key words : adaptation, Basse-Normandy, climate change, forest stations, station units, water balance