

Synthèse des catalogues de stations forestières en région Centre : mise en place d'une méthodologie à partir des habitats pour réaliser un guide simplifié de choix des essences



Mémoire de fin d'études

Jean-Baptiste Reboul
17^e promotion (2006/2009)

Août 2009

Illustration de la page de couverture : Pays-Fort, station B3 de banquette alluviale, chênaie
pédonculée atlantique à jacinthe (auteur JB Reboul)

Synthèse des catalogues de stations forestières en région Centre : mise en place d'une méthodologie à partir des habitats pour réaliser un guide simplifié de choix des essences

Mémoire de fin d'études

Jean-Baptiste Reboul
17^e promotion (2006/2009)

Août 2008

FICHE SIGNALÉTIQUE D'UN TRAVAIL D'ÉLÈVE(S) FIF

F.I.F. – AgroParisTech ENGREF	TRAVAUX D'ÉLÈVES
TITRE : Synthèse des catalogues de stations forestières en région Centre : mise en place d'une méthode à partir des habitats pour réaliser un guide simplifié de choix des essences sur la région Centre	Mots clés :
AUTEUR(S) : Jean-Baptiste Reboul	Promotion 17°
Caractéristiques :	

CADRE DU TRAVAIL		
ORGANISME PILOTE OU CONTRACTANT : Nom du responsable : crpf Ile de France Centre, Eric Sevrin Fonction : directeur adjoint		
Nom du correspondant ENGREF : François Lebourgeois		
Tronc Commun ☒ Option ☐ Spécialité ☐	Stage entreprise ☐ Stage étranger ☐ Stage fin d'études ☒	Autres ☐
Date de remise : 18 août 2009		

SUITE A DONNER (réservé au Service des Études)	
Non consultable ☐ si oui permanent ☐ jusqu'à/..../....	Consultable et Diffusable ☒

Résumé :

Une méthodologie définissant des unités stationnelles cohérentes à partir des catalogues de stations forestières dans la région Centre a été mise en place. Elle a cherché à dégager les contraintes de production, en partant des habitats. Ces derniers sont utilisés comme premier lien entre stations. Les contraintes sont isolées grâce à la définition des variantes des habitats. Elles servent de base à la définition d'unités stationnelles. Leur pertinence pour la gestion est analysée, celles similaires seront regroupées. Les unités stationnelles doivent être cohérentes dans le cadre du changement climatique. Il est intégré en définissant les différentes zones climatiques de la région Centre et en donnant une note en économie de l'eau par station.

Summary :

A methodology building site type in the Center region with the old site type's book was setting up. This work tried to define the stress for forest's production leaving habitat. These are used as first link between site types. Stress for forest's production was defined with the definition of variants for habitat. Their relevance for forest's management was analyzed, those similar were grouped to form big site type. The big site types must be relevant with the climate change. This is integrated with the definition of different bioclimats in the Center region and the notation for the ground-water storage by site type.

Remerciements

Ce stage de fin d'études n'aurait pu avoir lieu sans l'encadrement de :

- Eric Sevrin, mon maître de stage au CRPF Ile de France Centre ;
- Christian Gauberville, ingénieur à l'IDF (45) qui m'a suivi tout le long du stage ;
- François Lebourgeois, mon correspondant ENGREF.

Aussi, je tenais à les remercier prioritairement pour leur accueil, leur soutien, leur écoute, leurs conseils, leur relecture du rapport (parfois sur des terrains difficiles !) et bien sûr pour tout le temps qu'ils m'ont accordé durant ces six mois de fin d'études.

MERCI beaucoup pour votre aide.

Au cours de ce stage, j'ai rencontré beaucoup de personnes d'abord au centre régional de la propriété forestière d'Ile de France et du Centre et ensuite grâce au comité de pilotage. Toutes ont personnellement contribué au bon déroulement de mon stage. C'est dans ce cadre que je tenais à remercier :

- Tous les techniciens du CRPF de la région Centre, Jean-Michel Bechon, Franck Massé, Laurence Plaigne, Bruno Jacquet, Jacky Jaquet, Didier Laubray et Jérôme Rosa pour les tournées sur le terrain et leurs conseils avisés et pour m'avoir fait partager leur grande expérience ;
- Le directeur du CRPF Ile de France Centre, Xavier Pesme, pour m'avoir accordé sa confiance pour ce travail ambitieux ;
- Richard Chevalier, ingénieur au CEMAGREF, pour son approche rigoureuse sur les démarches statistiques à entreprendre ;
- Gérard Dumé, ingénieur à l'IFN, pour ses conseils sur l'utilisation de la flore avec son caractère indicateur ;
- François Charnet, ingénieur à l'IDF, pour m'avoir fait partager ses grandes connaissances en typologie des stations ;
- Alain Brêthes, pédologue à l'ONF, pour la tournée en forêt d'Orléans et sa promptitude à répondre à mes multiples questions ;
- Christine Pompougnac, ingénieure au CRPF Ile de France Centre, pour sa relecture assidue de mon rapport ;
- Patrice Boiron, expert forestier, pour la découverte du Boischaut Nord et de son cortège stationnel ;
- Christian Piedallu, ingénieur au LERFOB, pour m'avoir transmis les modèles sur la répartition des essences ;
- Ingrid Seynave, chercheuse au LERFOB, pour m'avoir fourni les données de la base ECOPLANT sur les stations en région Centre.

C'est donc un grand MERCI que j'adresse à toutes ces personnes pour leur présence, leur bonne humeur, leur expérience, le temps qu'ils ont pu m'accorder...

La réalisation de mon stage m'a permis d'en apprendre davantage et de rencontrer différents métiers forestiers. Ce fut une très bonne approche et intégration dans le milieu professionnel... qui désormais sera le mien très prochainement.

Enfin, je voulais également adresser mes sincères remerciements à toute ma famille, à ma compagne et à tous mes amis qui sont toujours présents pour me soutenir dans tout ce que j'entreprends. Leur **soutien compte beaucoup**.

Merci, merci à toutes ces personnes.

Table des matières

REMERCIEMENTS.....	1
TABLE DES MATIERES	3
TABLE DES ANNEXES :	6
LISTE DES FIGURES.....	7
LISTE DES TABLEAUX :	9
INTRODUCTION.....	11
1. CONTEXTE DU STAGE	12
1. 1. RAPPEL SUR LES DIFFERENTS OUTILS EXISTANTS POUR UNE ANALYSE STATIONNELLE.....	12
1. 1. 1. <i>Préétude et catalogue de stations</i>	12
1. 1. 2. <i>Guide simplifié ou guide de choix des essences</i>	12
1. 1. 3. <i>Etude des potentialités forestières</i>	13
1. 1. 4. <i>Bilan sur ces différents outils</i>	13
1. 2. CONTEXTE REGIONAL, LIMITE DES OUTILS EXISTANTS ET DEMANDE DU CRPF	13
1. 2. 1. <i>Des outils existants et une formation présente</i>	13
1. 2. 2. <i>Limites des typologies de stations existantes</i>	14
1. 2. 2. 1. Une grande partie du territoire couverte par les catalogues de stations forestières, parfois pour des régions forestières similaires.....	14
1. 2. 2. 2. Des catalogues de station statiques dans un environnement changeant	16
1. 2. 2. 2. Des outils souvent trop complexes et pas assez vulgarisés	16
1. 2. 3. <i>Objectifs du stage et intégration dans une démarche régionale</i>	18
1. 3. INSCRIPTION DE CE SUJET DANS UN CONTEXTE NATIONAL	19
1. 3. 1. <i>Contexte de la relance nationale de la typologie de station</i>	19
1. 3. 2. <i>Projets nationaux par rapport à l'impact du changement climatique</i>	20
1. 3. 3. <i>La nécessité d'une communication efficace</i>	20
2. LIEN ENTRE STATIONS ET HABITATS	21
2. 1. RECAPITULATIF SUR DIFFERENTES METHODES PERMETTANT DE REGROUPER DES STATIONS SIMILAIRES POUR FORMER UN GUIDE SIMPLIFIE DE STATIONS	21
2. 1. 1. <i>Une méthode classique avec AFC, CAH et des profils écologiques</i>	21
2. 1. 2. <i>Des méthodes spécifiques à la réalisation des guides simplifiés : les méthodes analytique et synthétique</i>	21
2. 1. 3. <i>Bilan de ces différentes méthodes</i>	22
2. 2. POURQUOI UTILISER LES HABITATS COMME PREMIER LIEN ENTRE LES STATIONS SIMILAIRES EN REGION CENTRE ?.....	22
2. 2. 1. <i>Une prise en compte des grandes variations écologiques</i>	23
2. 2. 2. <i>Une prise en compte de la dynamique de végétation</i>	23
2. 2. 3. <i>Une clé d'entrée plus abordable pour les propriétaires forestiers</i>	23
2. 2. 4. <i>Prérequis pour utiliser les habitats comme premier lien entre les stations</i>	23
2. 3. COMMENT RELIER UN TYPE DE STATION A UN HABITAT DONNE ?.....	24
2. 3. 1. <i>Méthode</i>	24
2. 3. 2. <i>Mise en place de la méthode, problèmes rencontrés et solutions proposées</i>	25
2. 3. 2. 1. Type de stations défini de manière trop large ou situé entre deux habitats.....	25
2. 3. 2. 2. Limites de l'utilisation des habitats	25
2. 3. 2. 2. 1. Biais des sylvofaciès et des phases dynamiques	25
2. 3. 2. 2. 1. 1. Sylvofaciès de dégradation et sylvofaciès dynamique	25
2. 3. 2. 2. 1. 2. Biais des sylvofaciès résineux et des surfaces récemment régénérées	26
2. 3. 2. 2. 2. Est-on dans l'aire de la hêtraie ? Exemple de biais dû à un sylvofaciès.....	27
2. 3. 2. 2. 3. Habitat forestier jusqu'alors non décrit.....	27
2. 3. 2. 4. Limites et typicité des habitats.....	27
2. 3. 2. 4. 1. Limite trophique.....	28
2. 3. 2. 4. 2. Limite climatique	28
2. 3. 2. 4. 3. Différences de définition des habitats entre un document national et un document régional	29
2. 3. 2. 4. 4. Limite entre les chênaies pédonculées, hêtraie et chênaie sessiliflore ?.....	30
2. 3. 3. <i>Premiers résultats en région Centre</i>	31
2. 3. 3. 1. Correspondance entre les stations et leur sous type avec les habitats	31

2. 2. 3. 2. Pertinence des habitats pour définir les nouvelles unités stationnelles	32
2. 2. 3. 2. 1. Existence de variantes des habitats	32
2. 2. 3. 2. 2. Certains habitats sont trop précis pour définir des unités stationnelles	33
2. 3. VALIDATION DE LA CLE DES HABITATS ET MODIFICATIONS A APPORTER.....	33
2. 3. 1. <i>Méthode de validation de la clé des habitats et du lien entre type de station et habitat</i>	34
2. 3. 2. <i>Limites actuelles de cette première entrée par les habitats</i>	34
2. 3. 2. 1. Solutions aux limites apparues lors du classement des stations dans les habitats, que l'on retrouve sur le terrain	34
2. 3. 2. 1. 1. Une entrée par bioclimat	34
2. 3. 2. 1. 1. 1. Cerner la zone de la hêtraie	34
2. 3. 2. 1. 1. 2. Différencier la chênaie pédonculée ligérienne à fragon des chênaies pédonculées atlantiques et subatlantiques	35
2. 3. 2. 1. 3. Quels indicateurs pour la limite trophique entre les chênaies sessiliflores à fragon et à alisier torminal ou les hêtraies à houx et à jacinthe	36
2. 3. 2. 1. 4. Un outil valide pour quel type de peuplement et à quelle période ?	37
2. 3. 2. 2. Solutions aux critiques formulées par les techniciens du CRPF	37
2. 3. 2. 2. 1. Une approche par grandes formations	37
2. 3. 2. 2. 2. Plus de vulgarisation	37
2. 3. 2. 2. 3. Préciser la composition floristique des habitats et les groupes écologiques	38
2. 3. 2. 2. 4. Intégrer les cas marginaux dans la clé ou les ignorer ?	38
2. 4. CONCLUSION SUR L'UTILISATION DES HABITATS COMME BASE POUR LES FUTURES UNITES STATIONNELLES ..	38
3. CONSTRUCTION DES VARIANTES DES HABITATS ET CONSTITUTION D'UNE BASE DE DONNEES ECOLOGIQUES HOMOGENE	39
3. 1. QUELLES SOURCES DE DONNEES POUR CONSTITUER LES VARIANTES DES HABITATS ?	39
3. 1. 1. <i>Jeu initial de données</i>	39
3. 1. 2. <i>Faut-il se fonder sur les fiches synthétiques ou sur les exemples types ?</i>	39
3. 2. METHODES POUR DEFINIR LES VARIANTES DES HABITATS	40
3. 2. 1. <i>Méthode pour les habitats avec peu de stations</i>	40
3. 2. 2. <i>Méthode pour les habitats avec de nombreuses stations</i>	40
3. 2. 3. <i>Pourquoi ne pas avoir utilisé la flore pour la définition des variantes ?</i>	40
3. 2. 4. <i>Comment tenir compte de la flore sans l'avoir intégrée lors des premières analyses ?</i>	41
3. 2. 4. 1. Déterminer la composition floristique des variantes	41
3. 2. 4. 2. Confronter l'analyse floristique aux variantes formées avec la pédologie	41
3. 2. 4. 3. Définir les groupes écologiques à partir de l'ensemble des relevés floristiques	42
3. 3. LA NECESSAIRE CONSTRUCTION D'UNE BASE DE DONNEES ECOLOGIQUES SUR LES STATIONS DECRITES EN REGION CENTRE	42
3. 3. 1. <i>Quelle base de données pour quel objectif ?</i>	43
3. 3. 2. <i>Les variables à intégrer pour illustrer les différentes contraintes</i>	43
3. 3. 2. 1. Contrainte de la réserve en eau du sol	43
3. 3. 2. 1. 1. Réserve utile maximale sur 1 m	43
3. 3. 2. 1. 2. La pierrosité	44
3. 3. 2. 1. 3. Exposition	44
3. 3. 2. 1. 4. Drainage latéral	44
3. 3. 2. 1. 5. Données climatiques	45
3. 3. 2. 2. Contrainte d'engorgement	45
3. 3. 2. 2. 1. Hydromorphie	45
3. 3. 2. 2. 2. Horizon à dominante argileuse et plancher de la nappe	46
3. 3. 2. 3. Propriétés physiques du sol	47
3. 3. 2. 3. 1. Texture des premiers horizons	47
3. 3. 2. 3. 2. Profondeur d'un horizon Bt ou d'un enrichissement en argile	47
3. 3. 2. 4. Richesse chimique	47
3. 3. 2. 4. 1. Humus	47
3. 3. 2. 4. 2. Profondeur d'apparition de l'effervescence	48
3. 3. 2. 5. Variables supplémentaires	48
3. 3. 2. 5. 1. Nature de la roche mère	48
3. 3. 2. 5. 2. « Fertilité » de la station	48
3. 3. 2. 5. 3. Faut-il intégrer les groupes écologiques ?	48
3. 3. 2. 5. 4. Surface occupée par le type de station	48
3. 3. 2. 6. Variables de synthèse	48
3. 3. 3. <i>Structure de la base de données</i>	49
3. 4. UN CODAGE DES VARIABLES NECESSAIRE	50
3. 4. 1. <i>Un mélange de données qualitatives et de données quantitatives</i>	50
3. 4. 2. <i>Définition de modalités, de seuils pertinents</i>	50
3. 4. 3. <i>Intégration de la problématique du changement climatique avec une note sur l'économie en eau par station</i>	50

3. 5. MISE EN PLACE ILLUSTRÉE DES MÉTHODES ET DISCUSSION SUR LEUR PERTINENCE.....	51
3. 5. 1. Méthode à dire d'expert pour la hêtraie-chênaie à garance voyageuse.....	51
3. 5. 2. Méthode statistique pour la hêtraie-chênaie atlantique à houx et la chênaie sessiliflore ligérienne acidiphile à alisier torminal	52
3. 5. 2. 1. Précautions préalables, recodage des modalités	52
3. 5. 2. 2. Analyse des variables et de leur modalité, ACM.....	52
3. 5. 2. 3. Formation des groupes statistiques avec la classification hiérarchique ascendante	53
3. 5. 2. 4. Vérification de la pertinence des groupes statistiques pour former les variantes.....	53
3. 5. 3. Pertinence des méthodes utilisées.....	55
3. 6. PROGRAMME DE TRAVAIL SUR LA CONSTITUTION D'UNE BASE DE DONNÉES SUR LES STATIONS ET SUR LES MÉTHODES DE DÉFINITION DE VARIANTES	56
4. FORMATION D'UNITES STATIONNELLES COHÉRENTES POUR UN GUIDE SIMPLIFIÉ, A PARTIR DES VARIANTES DES HABITATS	57
4. 1. FORMAT SOUHAITÉ DU FUTUR GUIDE SIMPLIFIÉ DE CHOIX DES ESSENCES	57
4. 1. 1. Une première entrée par les habitats ; une seconde par leurs variantes.....	57
4. 1. 2. Méthode pour définir des unités stationnelles cohérentes à partir des variantes.....	57
4. 1. 3. Validité du guide sur les zones non couvertes par les typologies de station ?.....	58
4. 2. MISE EN PLACE DE LA MÉTHODE, POUR DÉFINIR DES UNITES STATIONNELLES COHÉRENTES, A PARTIR DES VARIANTES	59
4. 2. 1. Pertinence des variantes.....	59
4. 2. 1. 1. Présentation des clés des variantes	59
4. 2. 1. 1. 1. Codage logique des variantes.....	59
4. 2. 1. 1. 2. Seuils pertinents entre les différentes variantes	60
4. 2. 1. 1. 3. Matériel nécessaire pour l'utilisation des clés de reconnaissance des variantes	60
4. 2. 1. 2. Questions posées sur le regroupement de certaines variantes	60
4. 2. 1. 3. Limites de ces clés et des variantes définies	61
4. 2. 1. 3. 1. Limites de l'utilisation de la tarière	61
4. 2. 1. 3. 2. Pas d'intégration de la topographie et de la flore.....	62
4. 2. 2. Préconisations sur le choix des essences par variantes.....	63
4. 2. 2. 1 Une méthode adaptation essences-station qui ne suffit pas	63
4. 2. 2. 2 Différencier la présence d'une essence, son adaptation et sa production.....	64
4. 2. 3. Préconisations sylvicoles et synthèse des contraintes par variantes	65
4. 2. 3. 1. Gestion de l'eau.....	65
4. 2. 3. 2. Gestion de la végétation concurrente.....	66
4. 2. 3. 3. Investissement financier	66
4. 3. CONCLUSION SUR LA FORMATION DE FUTURES UNITES STATIONNELLES	66
5. INTÉGRATION DU CHANGEMENT CLIMATIQUE DANS LE GUIDE SIMPLIFIÉ DE CHOIX DES ESSENCES	67
5. 1. CHANGEMENT CLIMATIQUE EN RÉGION CENTRE	67
5. 1. 1. Changements climatiques observés	67
5. 1. 2. Changements climatiques à venir	68
5. 2. DÉFINIR LA SENSIBILITÉ DES VARIANTES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE	68
5. 2. 1. Les variantes définies actuellement sont-elles pertinentes dans le cadre du changement climatique ?	68
5. 2. 2. De nombreuses méthodes pour appréhender le changement climatique	69
5. 2. 3. Une note pour caractériser l'économie en eau des stations	70
5. 2. 4. Sensibilité et risque économique.....	70
CONCLUSION.....	72
BIBLIOGRAPHIE	73
SITES INTERNET VISITES	76
LISTE DES PERSONNES CONTACTÉES	76
LISTE DES SIGLES	77

Table des annexes :

Annexe 1 : Liste des outils pour l'adéquation essence station en région Centre (source : IFN 2008)

Annexe 2 : Régions forestières couvertes par un catalogue de stations forestières

Annexe 3 : Clé de reconnaissance des habitats forestiers (Christian Gauberville 2003)

Annexe 4 : Carte de répartition du hêtre, modèle du LERFOB, pas kilométrique (C. Piédallu)

Annexe 5 : Groupes écologiques simplifiés (Christian Gauberville 2003)

Annexe 6 : Codage des variables de la base de données écologiques sur les stations

Annexe 7 : Approche à dire d'expert exemple de la hêtraie–chênaie neutrophile à calcicole à garance voyageuse

Annexe 8 : Méthode statistique de constitution de variantes pour la hêtraie-chênaie acidiphile atlantique à houx

Annexe 9 : Clé de reconnaissance des variantes de la hêtraie à garance voyageuse

Annexe 10 : Clé de reconnaissance des variantes de la chênaie sessiliflore ligérienne à alisier torminal et de la hêtraie atlantique à houx

Liste des figures

Figure 1 : Carte géologique simplifiée sur la région Centre (F. Charnet, 1994)	14
Figure 2 : Evolution de la température moyenne annuelle à Orléans sur les 50 dernières années	16
Figure 3 : Sylvo-éco-régions proposées en région Centre (Cavaignac 2008)	19
Figure 4 : Sylvofaciès résineux de la chênaie sessiliflore à fragon, frange stationnelle riche avec une forte dynamique du charme qui ne pose pas de problème pour le classement de la station. (JB Reboul)	26
Figure 5 : Proximité de la chênaie sessiliflore à alisier torminal et de la hêtraie atlantique à houx (en grisé) dans les diagrammes floristiques et températures moyennes annuelles (J-C. Gegout et <i>al.</i> , 2008)	27
Figure 6 : Aire de la chênaie sessiliflore ligérienne à fragon (en grisé) dans le diagramme floristique adjacente à la chênaie sessiliflore à Alisier torminal (J.C. Gegout et <i>al.</i> , 2008)	28
Figure 7 : Station en Puisaye limite entre la chênaie sessiliflore à fragon et la chênaie acidiphile à alisier torminal à mull-moder à oligomull, à fond de flore appauvri, la présence du charme et sa dynamique est discriminante.	28
Figure 8 : Aire de la chênaie sessiliflore à fragon (en grisé) (J.C. Gegout et al 2008).....	29
Figure 9 : Diagramme floristique de la chênaie pubescente à garance voyageuse (en grisé) (J.C. Gegout et al 2008).....	30
Figure 10 : Station H2 Champagne Berrichonne, Boischaut Sud. Chênaie pédonculée hydromorphe à laiche glauque (<i>Carici flacca-Quercetum roboris</i>) et à brachypode penné, le charme ne s'installe pas.	30
Figure 11 : Aire de la chênaie pédonculée à jacinthe des bois (en grisé) et aire de la chênaie pédonculée subatlantique à stellaire holostée (en grisé) (J.C. Gegout et al 2008).....	33
Figure 12 : Exemple d'une hêtraie topoclimatique en forêt d'Amboise en Gâtine Sud Tourangelle.....	34
Figure 13 : Brenne, station de fond de vallon V2, où il y a hésitation entre la chênaie pédonculée ligérienne à fragon et la chênaie pédonculée subatlantique à primevère élevée	35
Figure 14 : Boischaut Nord : station L23 à mésomull décrite par l'auteur comme chênaie sessiliflore acidiphile mésophile à large amplitude issue d'une phase pionnière, classée en chênaie acidiphile à alisier torminal	36
Figure 15 : Représentation des variantes pédologiques associées aux relevés floristiques projetés dans le plan factoriel 1-2 de l'AFC sur les relevés floristiques.	42
Figure 16 : Projection des modalités de la nature texturale des premiers horizons pour la hêtraie atlantique à houx dans le plan factoriel 1-2.....	52
Figure 17 : Pays Fort station X2, haut de versant exposition Sud, limon à silex avec une très forte charge en silex, très bien drainée, chênaie sessiliflore ligérienne à alisier torminal, variante L311.....	53
Figure 18 : Boischaut Nord station L30 sur plateau : chênaie sessiliflore ligérienne à alisier torminal, variante L111 (JB Reboul)	62
Figure 19 : Quelques mètres plus loin, station L29 sur versant, chênaie sessiliflore ligérienne à alisier torminal, variante L121 (JB Reboul).....	62
Figure 20 : Station G4 Brenne, variante S221 de la chênaie acidiphile à alisier torminal, peuplement essentiellement composé de chênes pédonculés au stade perche, PB (JB Reboul).....	64

Figure 21 : Perche, station 3162, variante L311 de la chênaie acidiphile à alisier torminal (envahissement par les éricacées) (JB Reboul)	66
Figure 22 : Hausse des températures significative, exemple de Bourges, évolution du nombre annuel de jours où la température maximale dépasse 25 ° C sur la période 1951-2000.....	67
Figure 23 : Plus grande fréquence de vagues de chaleur au cours des cinquante dernières années à Orléans.....	67
Figure 24 : Température moyenne actuelle et température moyenne que l'on pourrait avoir dans 100 ans selon le modèle ARPEGE basé sur le scénario A2	68
Figure 25 : Champagne berrichonne, station C3 chênaie sessiliflore à fragon variante sèche, substrat calcaire cohérent à 35 cm de profondeur, faible fertilité, risque économique faible. (JB Reboul)	71
Figure 26 : Champagne Berrichonne, station C6 chênaie sessiliflore à fragon, substrat calcaire cohérent à 60 cm de profondeur, bonne fertilité, risque économique important, peuplement composé essentiellement de chênes pédonculé. (JB Reboul).....	71

Liste des tableaux :

Tableau 1 : Caractéristiques des régions forestières couvertes par les catalogues (d'après les SRGS).....	15
Tableau 2 : Caractéristiques des catalogues de stations (après lecture des catalogues de station)	17
Tableau 3 : Types stationnels retenus dans le cadre de chêne avenir (rapport Chêne avenir 2008 d'après F. Hébert, F. Massé).....	18
Tableau 4 : Grands traits des habitats répandus dans la région, hors grandes vallées alluviales (C. Gauberville, 2003)	23
Tableau 5 : Nombre de types de stations classés par habitat, après lecture et analyse des catalogues de station de la région Centre	32
Tableau 6 : Eléments pour l'amélioration de la clé pour les stations intermédiaires au niveau trophique entre l'acide et l'assez acide (valide également pour la hêtraie atlantique à houx et la hêtraie à jacinthe).....	36
Tableau 8 : Variables conservées pour l'analyse statistique et pour l'analyse à dire d'expert	49
Tableau 9 : Variables secondaires d'interprétation	49
Tableau 10 : Variable de synthèse.....	49
Tableau 11 : Modalités pour la profondeur, où l'hydromorphie touche plus de 5 % du matériau	50
Tableau 12 : Codage logique de la réserve utile maximale sur 1m de profondeur, dans le sens de l'économie en eau	51
Tableau 13 : Efficacité du test de la tarière ou profondeur où la pierrosité dépasse 30 % de volume de sol	51
Tableau 14 : Coordonnées factorielles des modalités de la nature texturale des premiers horizons pour la hêtraie atlantique à houx	52
Tableau 15 : Nombre de relevés par classes de profondeur où la pierrosité dépasse 30 % et par groupes issus de la CAH (analyse pour la hêtraie atlantique à houx).....	53
Tableau 16 : Nombre de relevés par classes de profondeur d'apparition des traces dues à l'engorgement et par groupes issus de la CAH (analyse pour la hêtraie atlantique à houx).....	54
Tableau 17 : Pertinence de la méthode statistique. Nombre de relevés par variantes et par groupes issus de la CAH pour la chênaie acidiphile à alisier torminal	54
Tableau 18 : Caractéristiques écologiques des régions forestières non couvertes par des typologies de station (d'après les SRGS)	58
Tableau 19 : Nombre de types de station par variantes argileuses pour la chênaie sessiliflore ligérienne à alisier torminal et la hêtraie acidiphile atlantique à houx.....	60
Tableau 20 : Nombre de stations par variantes limoneuses pour la chênaie sessiliflore ligérienne à alisier torminal et la hêtraie acidiphile atlantique à houx	61
Tableau 21 : Nombre de stations par variantes sableuses pour la chênaie sessiliflore ligérienne à alisier torminal et la hêtraie acidiphile atlantique à houx	61
Tableau 22 : Adaptation aux variantes des essences potentiellement présentes, dans l'habitat de la hêtraie à garance voyageuse : (Tableau repris d'une idée originale de G. Grandjean et M. Bruciamacchie).	63

Introduction

Un esprit revêche dirait : « Encore un guide simplifié du choix des essences, alors qu'on dispose déjà de catalogues de stations sur un nombre important de régions forestières ! Et puis la littérature sur la bonne essence au bon endroit est abondante. Cette notion commence à être intégrée, d'autant plus dans cette période où on nous annonce un changement climatique. Alors à quoi sert un guide simplifié à l'échelle régionale ? »

Les ouvrages sur le choix des bonnes essences sont peut-être nombreux, mais il faut bien constater que les typologies forestières de stations restent peu utilisées. La notion d'une essence « à favoriser au bon endroit » commence à être intégrée, mais souvent de façon excessive. La chasse officielle au chêne pédonculé, « plus à sa place » est ouverte. Le chêne sessile est le prochain sur la liste sur de nombreuses gammes écologiques. Les pépiniéristes ont vu leurs ventes d'essences « assurées tout risque » face au changement climatique comme le cèdre ou le pin maritime dopées.

Mieux définir les conditions écologiques du milieu, ce n'est pas seulement choisir la bonne essence, mais c'est aussi connaître les grandes contraintes pour la sylviculture ou l'exploitation. L'aspect stationnel est encore trop souvent omis dans ces domaines. Combien de sols forestiers ont été dégradés par tassement, avec la non-prise en compte de leur fragilité lors de l'exploitation ? Combien de régénération en chênaies acidiphiles engorgées ont été un échec et une perte d'argent, à cause d'une ouverture brutale du peuplement et l'explosion de la molinie ? Combien de plantations en chênaie acidiphile ont été étouffées par le développement de la fougère aigle ?

Toutes ces raisons militent pour la réalisation d'un guide simplifié. Afin de le rendre attrayant, il a été décidé d'insister sur les grandes contraintes du milieu pour la production forestière.

Ce stage doit mettre en place une méthode de travail utile pour la réalisation d'un guide simplifié sur la région administrative du Centre, à partir de l'ensemble des catalogues de stations forestières existants. Il a été proposé par le centre régional de la propriété forestière d'Ile-de-France Centre, à la tête d'un comité de pilotage composé de représentants de l'ONF, du CEMAGREF, de l'IDF, de l'IFN et des chambres d'agriculture. Une approche par habitats, intégrant le changement climatique et une synthèse sur une région aussi vaste rendent la démarche originale.

Le contexte particulier de la région Centre et les raisons qui motivent la réalisation d'un guide simplifié seront présentées dans un temps. La suite du rapport est centrée sur l'utilisation des habitats, afin de définir des unités stationnelles cohérentes actuellement, mais aussi dans l'avenir avec l'intégration du changement climatique.

1. Contexte du stage

Les documents suivants reposent sur la notion de station dont voici la définition selon l'IFN :

« Etendue de terrain de superficie variable (quelques m² à plusieurs dizaines d'ha), homogène dans ses conditions physiques et biologiques : mésoclimat, 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. »

1. 1. Rappel sur les différents outils existants pour une analyse stationnelle

Il existe différents outils à la disposition du gestionnaire en termes d'analyse et d'étude stationnelle :

- Préétudes précédant souvent la rédaction des catalogues stations
- Catalogues de stations
- Guide simplifié de stations et du choix des essences
- Potentialités forestières pour une ou des essences avec une clé autoécologique

Vous trouverez en annexe 1 les différents outils disponibles pour les gestionnaires en région Centre.

1. 1. 1. Préétude et catalogue de stations

Les préétudes permettent de connaître les grandes caractéristiques écologiques d'une région donnée avec une description climatique, géologique et ses influences sur la végétation en place, mais ce n'est pas un document destiné à la gestion. En effet, le vocabulaire est souvent très précis, avec de nombreux termes scientifiques qui peuvent rebuter certains gestionnaires.

Il ne faut pas confondre un type de station avec une station. En effet le premier correspond à la moyenne d'un ensemble de stations analogues sur une région donnée. Il peut présenter une certaine variabilité au niveau des humus, de la réserve en eau ou de la composition floristique.

Le type de station sur une région donnée sera la base des typologies de stations avec une clé de reconnaissance de ces ensembles.

Ces documents comprennent une brève synthèse des données écologiques de la région étudiée, à partir des préétudes existantes. La méthode de construction est rapidement présentée. Il s'en suit la clé de reconnaissance des types de stations et leur description précise, illustrée généralement par un exemple type, qui correspond souvent à un relevé stationnel floristique et pédologique ou les deux.

Ces fiches de présentation font une synthèse d'un ensemble de stations, on parle ainsi de fiches synthétiques. Ces dernières peuvent être plus ou moins précises avec la définition des groupes écologiques (ensemble floristique), mais aussi des descriptions des données pédologiques avec un profil type moyen. Il est possible de trouver des recommandations sur le choix des essences, après un commentaire sur les contraintes de production, avec parfois des préconisations sylvicoles.

Il faut noter que certains catalogues de stations font également le lien avec les milieux ouverts ce qui est logique dans le cadre de la déprise agricole et de la valorisation des friches et des accrues ligneuses par exemple en Sologne.

On voit que les catalogues de stations sont des outils complets, qui ont pour vocation d'aider le gestionnaire dans le choix des essences et dans ses décisions sylvicoles. Mais cet outil reste tout de même lourd, avec de nombreux termes pédologiques et écologiques et son utilisation est ardue pour les gestionnaires même initiés. Son utilisation est souvent peu pratique sur le terrain sans une clé détachable et avec un trop grand volume de pages qui peuvent rebuter les utilisateurs. De plus, les fiches synthétiques sont plus ou moins bien renseignées. Elles servent même parfois un peu de « fourre-tout » avec le lien avec les milieux ouverts, la productivité, les habitats, le choix des essences, la valorisation pour la chasse.

1. 1. 2. Guide simplifié ou guide de choix des essences

Le guide de choix des essences ou « guide simplifié » vient compléter cet arsenal d'outils du « choix de la bonne essence à la bonne place ». C'est une version simplifiée d'un ou de plusieurs catalogues de stations (exemple du guide du Pays d'Othe, de la Champagne sénonaise, du Gâtinais oriental et de la Puisaye des plateaux, L. Millard, 2005). Il regroupe les types de stations similaires, qui ont les mêmes potentialités pour les essences, au sein d'unités stationnelles (US). De grandes préconisations sont

données par unité stationnelle pour le choix des essences, sur le type de sylviculture en lien avec les contraintes écologiques.... Les termes scientifiques sont simplifiés et ce document est accessible au gestionnaire et au propriétaire un tant soit peu formés.

Ce document est plus facilement utilisable sur le terrain avec un petit format, un faible volume de pages et souvent une clé simplifiée détachable claire et facile d'utilisation. Le risque de ce type de guide est de perdre en précision à force de vouloir simplifier et vulgariser. Il faut donc trouver un équilibre entre vulgarisation et un certain degré de précision.

La simplification du guide dépend de l'objectif. Certains veulent définir des unités stationnelles cohérentes, par rapport à la sylviculture sur une région donnée. On peut citer ainsi le « guide du sylviculteur de Moyenne Vilaine, M. Colombet (2000) » ou le « guide du sylviculteur du bocage Bourbonnais JP. Nebout, A. Macaire (1993) ». Ils croisent les unités stationnelles avec le type de peuplement, afin de donner des préconisations sylvicoles. Ils ne s'appliquent que sur des petits territoires. D'autres guides sont plus généralistes et restent dans le conseil du choix des essences et les descriptions des ensembles stationnels comme ceux de Champagne-Ardenne. Ils s'appliquent sur des territoires plus vastes.

1. 1. 3. Etude des potentialités forestières

Les études de potentialité des essences sur une région donnée sont des outils développés par les organismes de recherche ces dernières années (exemple du CEMAGREF). Ils définissent des modèles de fertilité sur ces régions, accompagnés souvent par une clé autoécologique. Cette clé permet de définir les différents seuils écologiques en dessous ou au-dessus desquels les essences ne sont plus en place.

Les régions d'étude dépassent souvent les régions forestières IFN et la zone de validité est plus grande que celle des catalogues. Ces outils sont plus ou moins pratiques selon le degré de vulgarisation des documents finaux remis par les chercheurs. Ils aident l'aménagiste dans le choix des essences à favoriser et dans ses calculs de possibilité (volume produit). En effet, ces outils chiffrent souvent la productivité de l'essence en fonction de la station.

Ces études de potentialités pour une essence donnée sont complétées parfois par des itinéraires sylvicoles par grand type de station. On revient alors à un guide simplifié du sylviculteur.

1. 1. 4. Bilan sur ces différents outils

Le gestionnaire a de multiples outils pour l'aider dans ses décisions de choix des essences et d'aménagement.

Il ressort que la station est à la base de nombreuses problématiques :

- sylvicoles avec une régénération qui sera menée différemment entre une chênaie-charmaie et une chênaie hyperacidiphile,
- d'aménagement avec le choix approprié des essences et leur productivité,
- écologique avec la notion des habitats...

Par exemple, une carte des stations avec les essences adaptées et la dynamique de végétation croisée avec une carte des peuplements en place (S. Gaudin, 2006) peut être un outil de décision lors du martelage.

Il est donc important qu'un type de station ou qu'une unité stationnelle soit défini de la façon la plus claire et la plus cohérente possible d'un point de vue écologique et sylvicole, afin d'être opérationnel sur le terrain.

1. 2. Contexte régional, limite des outils existants et demande du CRPF

1. 2. 1. Des outils existants et une formation présente

Aucune réglementation n'impose l'étude des stations dans les plans simples de gestion. En région Centre, qui est couverte de forêts majoritairement privées, il existe tout de même un certain nombre de documents pour le choix des essences (annexe 1).

Des cycles FOGFOR sont organisés sur les stations et l'adaptation des essences ; ils ont plus ou moins de succès. Le CRPF, les CETEF, GEDEF organisent des réunions forestières sur la pédologie ou la floristique avec la reconnaissance des espèces indicatrices.

L'IDF organise des sessions de formation sur la pédologie (F. Charnet) ou sur des thématiques comme « la sensibilité des peuplements résineux au changement climatique et sur l'adaptation de sa gestion » (P.

Riou Nivert) en Sologne ou sur « la vulnérabilité des peuplements à la sécheresse avec le changement climatique en Sologne » (F. Charnet).

Le CRPF, dix ans auparavant, a bénéficié des financements européens pour cartographier les stations forestières chez des propriétaires intéressés et motivés. Un petit nombre de forêts ont ainsi été cartographiées avec la typologie des stations forestières existante.

Les moyens existent (animateurs, outils, formations...), mais la vulgarisation reste délicate et les typologies peu utilisées. Un grand nombre d'améliorations sont encore possibles.

1. 2. 2. Limites des typologies de stations existantes

1. 2. 2. 1. Une grande partie du territoire couverte par les catalogues de stations forestières, parfois pour des régions forestières similaires

Comme le montrent les cartes de l'annexe 2, une grande partie du territoire de la région Centre est couverte par les catalogues de stations. Certains d'entre eux seraient peut-être extensibles aux zones non couvertes par une typologie ?

Plusieurs régions forestières sont similaires au niveau climatique et pédologique, mais sont couvertes par des catalogues de station différents, comme le montre le tableau 1. Ainsi, le Perche et le Pays Fort sont toutes deux essentiellement constituées des plateaux à argiles à silex recouvertes parfois de limon, avec une altitude plus élevée que la moyenne régionale et un climat plus rigoureux caractérisé par des gelées plus fréquentes et plus de précipitations. De même, l'Orléanais et la Sologne sont similaires d'un point de vue géologique et climatique. Il est dommage, qu'il n'y ait pas eu plus de correspondance entre les types de station de ces différents catalogues.

La carte suivante sur les grands ensembles géologiques montre que de nombreuses régions forestières sont proches. C'est le cas de toutes celles qui se développent sur les plateaux à argile à silex ou sur des formations carbonatées (Beauce et Berry), même si des différences climatiques existent.

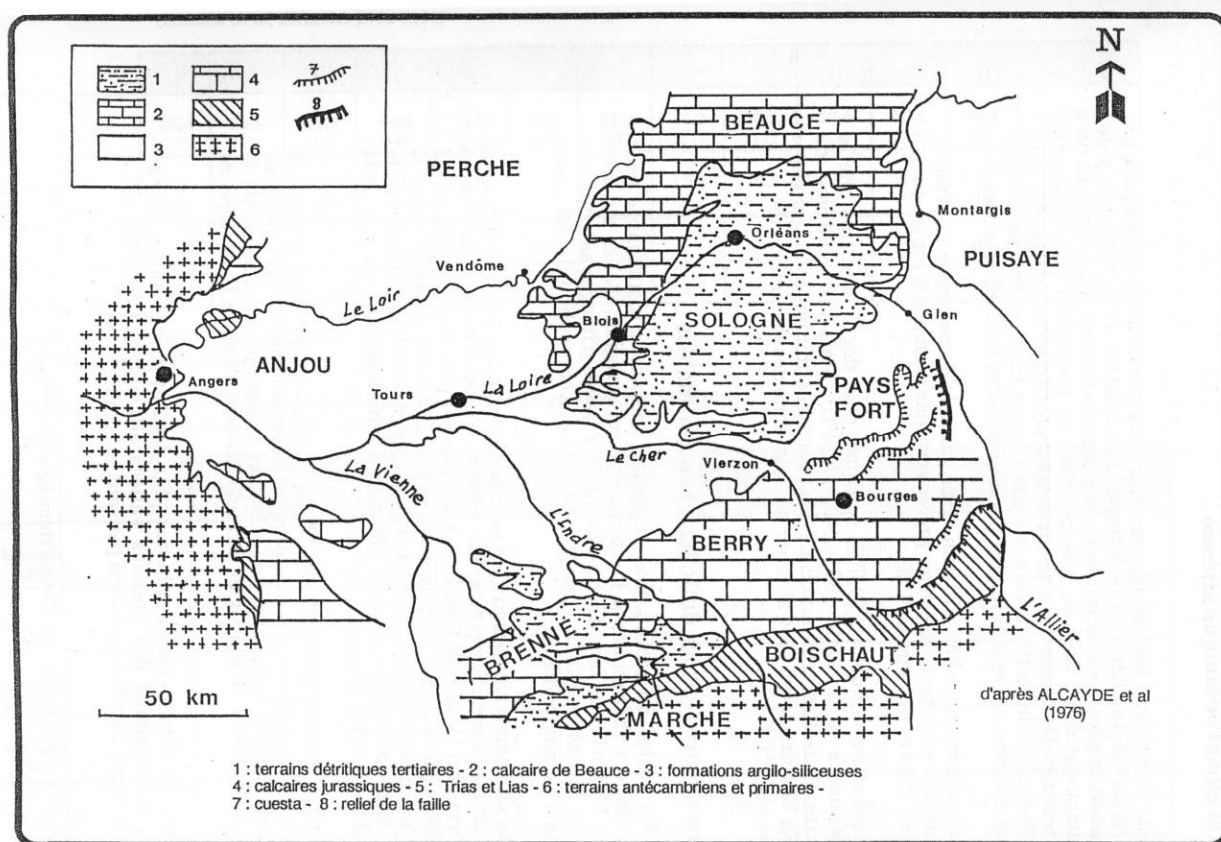


Figure 1 : Carte géologique simplifiée sur la région Centre (F. Charnet, 1994)

Tableau 1 : Caractéristiques des régions forestières couvertes par les catalogues (d'après les SRGS)

Catalogue de stations	Régions forestières	Altitude moyenne (m)	Altitude minimale (m)	Altitude maximale (m)	Pluviosité annuelle	Gelées (nombre de jours)	Température moyenne	Géologie
Boischaut Nord-Gâtine Sud tourangelle	Boischaut Nord-Gâtine Sud tourangelle	130	40	200	600 à 750 mm	66	11,2 °C	Essentiellement argile à silex, recouvert par endroits par des placages de limon des plateaux
	Champagne	100	45	128	650 à 700 mm	55	11 °C	Formations calcaires (tuffeau, calcaire lacustre). Localement, argile à silex.
Boischaut Sud et Champagne Berrichone	Boischaut Sud	190	90	370	700 à 800 mm	62	11 °C	Boischaut Sud: marnes, grès et sables, sables et argiles à chailles. Vallée de Germigny: sables et argiles. Val de Loire: alluvions
	Champagne Berrichone	160	111	260	600 à 750 mm	55	11 °C	Substrat calcaire fissuré recouvert de marnes, de limons et par endroits de sables siliceux.
Brenne	Brenne	120	72	206	600 à 750 mm	83	11,7 °C	Assez hétérogène. Sables siliceux et argiles recouverts de cailloutis ou de limons des plateaux. Dépôts de grès peu érodé formant les buttons. Roches calcaires dans les environs de la Creuse
Orléannais	Orléannais	140	104	174	650 à 750 mm	61	10°C	Essentiellement sables et argiles de Sologne. Sols caillouteux, sableux sur les anciennes terrasses alluviales de la Loire. Sables et marnes de l'Orléannais.
Pays fort	Pays fort	250	140	431	750 à 900 mm	84	10°C	Essentiellement argiles à silex surmontées de limon.
Perche	Perche	200	140	241	750 mm	87	9,4 °C	3/4 de la surface argiles à silex recouvertes par le limon des plateaux. Affleurement du sable de Perche et de la craie, plus marginal.
	Perche vendômois	170	60	256	600 à 750 mm	84	10°C	Essentiellement argiles à silex, recouvertes par le limon des plateaux.
Puisaye	Puisaye	190	126	217	700 à 750 mm	60	10°C	Calcaires recouverts de cailloutis. Argile à silex sur craie. Cailloutis à silex entrecoupés de zones argileuses.
Sologne	Grande Sologne	135	73	258	600 à 750 mm	70	10,4 °C	Essentiellement sables et argiles de Sologne.
	Sologne viticole	115	100	130	650 mm	70	11 °C	Sables et marnes du Blésois.

Le manque de synthèse entre régions forestières similaires limite la cohérence de la politique forestière régionale. La vulgarisation en est compliquée, notamment pour des préconisations sylvicoles sur de larges surfaces, avec à chaque fois une dénomination et une caractérisation différente des stations.

1. 2. 2. 2. Des catalogues de station statiques dans un environnement changeant

De nombreux catalogues de stations ne prennent pas en compte les variations climatiques sur la zone d'étude. Pour certains, cela se justifie par un climat homogène sur le territoire étudié, comme dans le cas de l'Orléanais. D'autres, comme le catalogue du Boischaut Sud et la Champagne Berrichonne auraient pu les intégrer puisqu'ils couvrent deux grandes aires bioclimatiques : celle de la chênaie sessiliflore et celle de la hêtraie. François Charnet, dans son catalogue du Perche, prend en compte les variations climatiques avec une codification de 1 pour la hêtraie et de 2 pour la chênaie.

Les catalogues n'intègrent pas les évolutions climatiques dans le temps. En effet, les stations sont définies de manière statique, alors que le climat est changeant. Ainsi sur Orléans, on observe une hausse significative des températures au cours des cinquante dernières années.

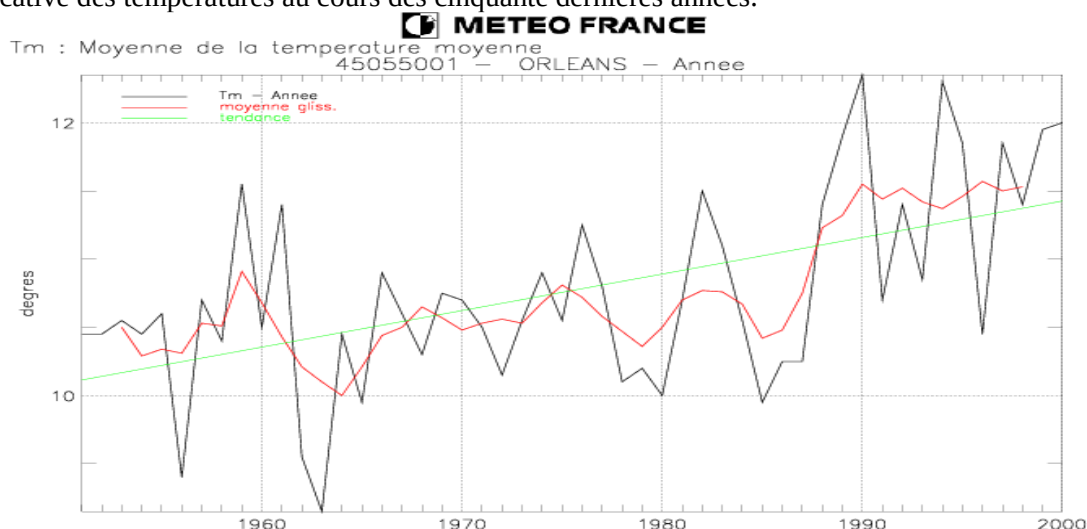


Figure 2 : Evolution de la température moyenne annuelle à Orléans sur les 50 dernières années

Quel est et quel en sera l'impact sur les stations ? Le compartiment stationnel restera-t-il le même ou évoluera-t-il ? Quelles seront les préconisations par station ?

1. 2. 2. 2. Des outils souvent trop complexes et pas assez vulgarisés

Le tableau 2 résume les caractéristiques des différents catalogues avec les indicateurs suivants :

- le nombre de pages de la préétude et du catalogue est un bon indicateur du degré de vulgarisation. Ainsi, le catalogue de la Brenne, avec 640 pages, donne une vision encyclopédiste de cette région. Plus un catalogue est volumineux, moins il est maniable sur le terrain, d'autant plus qu'il ne dispose pas de clé détachable.
- la géologie avec le type de formations est un critère assez difficile à appréhender pour un néophyte, connaissant peu la région d'étude. Plus l'utilisation du type de formation est important dans un catalogue, plus son usage risque d'être difficile.
- le nombre de groupes écologiques et le nombre d'espèces indicatrices est également un marqueur de la vulgarisation. Ainsi, seuls les catalogues du Pays Fort et de la Puisaye proposent des groupes écologiques simplifiés pour l'analyse.
- le nombre de type de station, sans intégrer les sous types qui alourdissent également les catalogues, est un bon indicateur du degré de précision de ces derniers. Cet indicateur est à prendre avec précaution, car il dépend également de la variabilité de la zone étudiée.
- les fiches de station doivent être synthétiques et claires pour une compréhension facilitée de l'utilisateur. La description d'un profil pédologique synthétique facilite la compréhension des contraintes pédologiques. De même, une synthèse sur les contraintes stationnelles informe sur les spécificités d'un type de station et sur les précautions à prendre.

Tableau 2 : Caractéristiques des catalogues de stations (après lecture des catalogues de station)

Nom du Catalogue	Surfaces forestières couvertes (SRGS)	Nombre de pages de la préétude et méthodologie	Explication de la méthode de construction de la typologie	Nombre de pages	Niveau d'utilisation de la géologie et du type de formation dans le catalogue	Nombre de groupes écologiques (les sous groupes intégrés)	GE nombre d'espèces indicatrices	Nombre de type de stations (sans les sous types)	Clé détachable	Profil pédologique synthétique	Contrainte de production	Choix des essences	Préconisations sylvicoles par rapport aux contraintes	Lien dynamique avec les milieux ouverts	Lien avec les habitats	Remarques et commentaires
Boischaut Nord Gâtine Sud tourangelle	Boischaut Nord et gâtine Sud tourangelle: 116 800 ha Champagne: 13 600 ha Total: 130 400 ha	88	oui	377	moyen	29	186	55	non	non	oui	oui	oui	non	non	Clé difficilement utilisable 13 pages. Pas de description précise du sol dans les fiches synthétiques. Besoin de bonnes connaissances de la géologie de la région pour comprendre la logique du catalogue. Stations correspondant à des anciennes terres agricoles,
Boischaut Sud et Champagne Berrichone	Boischaut Sud: 80 100 ha Champagne Berrichonne: 40 300 ha Total: 120 400 ha	82	oui	588	moyen	15	226	62	oui	oui	oui	non	oui	non	oui	Pas de conseils dans le choix des essences. Guide assez claire où l'on cerne vite les grandes contraintes pour la production malgré le volume du catalogue.
Brenne	26 600 ha	98	oui	640	utilisation dans la clé	33	> 300	60	non	oui	oui	oui	oui	oui	oui	Outil très voir trop complet, encyclopédique. Lien dynamique avec les milieux ouverts. Intégration de la gestion agricole et de la gestion cynégétique. Approche habitat pour l'ensemble des phases dynamiques (landes , pelouses, prairie,,). Clé assez lourde d'utilisation (botanique, pédologie, géologie...),
Orléannais	66 600 ha	62	oui	400	faible	23	208	43	oui	oui	oui	non	oui	non	non	Pas de conseils dans le choix des essences. Guide assez claire où l'on cerne vite les grandes contraintes pour la production.
Pays fort	36 100 ha	34	non	248	faible	18	122	43	oui	oui	oui	oui	oui	non	non	Catalogue assez simple, dont la conception se rapproche de celle d'un guide simplifié de choix des essences.
Perche	62 300 ha	109	oui	583	utilisation dans la clé	24	179	61	oui	oui	oui	oui	oui	non	oui	Catalogue très précis, mais claire avec une clé détachable facilement utilisable. Codification des stations logique avec une numérotation pour le type de matériaux, le niveau trophique, la qualité du drainage interne et la zone climatique. Distinction entre deux bioclimats différents, un à hêtraie, l'autre à chênaie.
Puisaye	12 400 ha	34	oui	246	faible	16	91	24	non	oui	oui	non	oui	non	non	Catalogue facile d'utilisation avec la constitution de groupes écologiques simplifiés. Schémas de relations matériau-topographie-végétation très clairs.
Sologne	255 600 ha	100	3	350	moyen	18	148	28	non	oui	non	non	non	oui	non	Catalogue peu utilisé avec une absence de synthèse sur les grandes contraintes pour la production forestière, pour le choix des essences. Clé difficilement utilisable.

Ce rapide tour d’horizon des différents catalogues de station de la région Centre démontre un manque de vulgarisation. Il est plus ou moins criant selon les catalogues. Certains, comme celui de la Brenne, sont encyclopédistes et relèvent de l’inventaire naturaliste avec la prise en compte des milieux ouverts, l’intégration de l’élevage, de l’agriculture, de la chasse... D’autres se rapprochent plus de guides simplifiés, comme ceux de la Puisaye ou du Pays Fort, avec de petites préétudes claires et une présentation synthétique des types de station. Le catalogue de la Sologne est difficilement utilisable, avec l’absence d’une synthèse sur les grandes contraintes. Les utilisateurs préfèrent les catalogues clairs dans leur construction et synthétiques par rapport aux contraintes sylvicoles.

1. 2. 3. Objectifs du stage et intégration dans une démarche régionale

L’objectif de ce stage est de mettre en place une méthode, qui doit aboutir à la réalisation d’un guide simplifié de choix des essences sur l’ensemble de la région Centre. Une des demandes initiales était de travailler à partir des habitats pour former les futures unités stationnelles. Ce guide sera censé répondre aux différentes lacunes soulignées ci-dessus. Ce stage doit donc répondre aux questions suivantes :

- comment homogénéiser les différents catalogues de stations de la région Centre, afin de regrouper les stations similaires au sein d’une région forestière et entre régions forestières au sein d’unités stationnelles ?
- comment présenter de façon synthétique ces unités stationnelles, facilitant la compréhension du guide et intégrant l’impact des grandes contraintes stationnelles sur la production forestière ?
- une synthèse à partir de l’ensemble des régions couvertes par une typologie des stations sera-t-elle applicable aux régions forestières non couvertes ?
- comment intégrer le climat et son évolution dans la réalisation d’un guide simplifié ?

Ce sujet fait l’objet d’un engagement du CRPF dans la politique de qualité de la gestion forestière durable de PEFC-Ouest. Le CRPF l’a donc intégré dans son programme d’action dans le cadre de la certification ISO 14001.

Cette synthèse facilitera d’autres projets à envergure régionale comme « Chêne avenir » pour l’amélioration des chênaies. Les scénarios sylvicoles différeront selon le type stationnel.

		Chênaie à molinie	Chênaie acidiphile	Chênaie-charmaie acidiline	Chênaie-charmaie neutrophile
Composition	Réserves (en gras essence à privilégier)	<i>chênes sessile et pédonculé</i>	<i>chêne sessile et pédonculé</i>	<i>chênes sessile et pédonculé</i>	<i>chênes sessile et pédonculé, charme, parfois frêne</i>
	Taillis	<i>chêne sessile, bouleau, tremble et alisier torminal</i>	<i>chêne sessile, bouleau et alisier torminal</i>	<i>charme/hêtre</i>	<i>charme</i>
Taillis et sous-étage		<i>Anecdotique</i>	<i>providentiel</i>	<i>maîtrisable</i>	<i>très vigoureux</i>
Qualité du bois		+	++	+++	++
Production		+	++	++	+++
Régénération du chêne		+	+++	++	+
Plantes indicatrices		<i>molinie</i>	<i>canche flexueuse, germandrée scorodaine</i>	<i>Lierre rampant, sceau de Salomon multiflore, fétuque hétérophylle</i>	<i>Lierre terrestre, lamier jaune, arum tacheté</i>
Contraintes		<i>hydromorphie, molinie</i>	<i>fougère aigle, callune</i>	<i>légère concurrence du charme</i>	<i>très forte concurrence du charme</i>

+ : médiocre, difficile ++ : moyenne +++ : bonne, facile

Tableau 1 : Caractéristiques des différentes stations (d’après F. Hébert, F. Massé)

Tableau 3 : Types stationnels retenus dans le cadre de chêne avenir (R. Doussot et al, 2008)

1. 3. Inscription de ce sujet dans un contexte national

1. 3. 1. Contexte de la relance nationale de la typologie de station

Le stage s'inscrit dans le contexte de la relance de la typologie nationale par l'IFN, officialisée par la parution de la circulaire DERF/SDF/C2002-3020 du 18/10/2002, elle-même issue d'une étude bilan demandée par la Direction de l'espace rural et de la forêt (DERF) au CEMAGREF en 1999 sur l'utilisation de la typologie forestière. Ce document stigmatisait la faible utilisation des catalogues par les gestionnaires forestiers mais aussi la très grande hétérogénéité des documents produits.

L'IFN, en collaboration avec le GIP ECOFOR a ainsi relancé et supervisé cette relance qui comprenait plusieurs projets. La région Champagne-Ardenne a été une région pilote, avec la réalisation de guides simplifiés comme ceux de l'Argonne, du Pays d'Othe, du Gâtinais oriental et de la Puisaye des plateaux.

Elle ne s'est pas uniquement traduite par la réalisation de guides simplifiés de choix des essences, mais aussi par la création d'indices bioclimatiques cohérents et spatialisés (F.Lebourgeois), par la création d'outils robustes d'estimation de la richesse minérale et de la production d'azote des sols (L. Bergés.) et par la modélisation des potentialités forestières au niveau national (I.Seynave). Toutes ces études ont été présentées lors du séminaire « typologie des stations forestières : blocages et avancées » qui a eu lieu les 21 et 22 novembre 2006 Paris.

On peut également citer le projet des « sylvo-éco-régions » (SER) qui redéfinit des unités homogènes plus vastes (climat et géologie) au niveau de la production forestière que les anciennes régions forestières IFN. Ce projet de SER a également comme ambition d'être une base pour les futurs documents cadres comme les SRGS ou les guides ou typologies de stations.

La figure 3 permet de voir le redécoupage proposé pour les régions forestières en région Centre (à comparer à la carte des régions forestières, annexe 2).

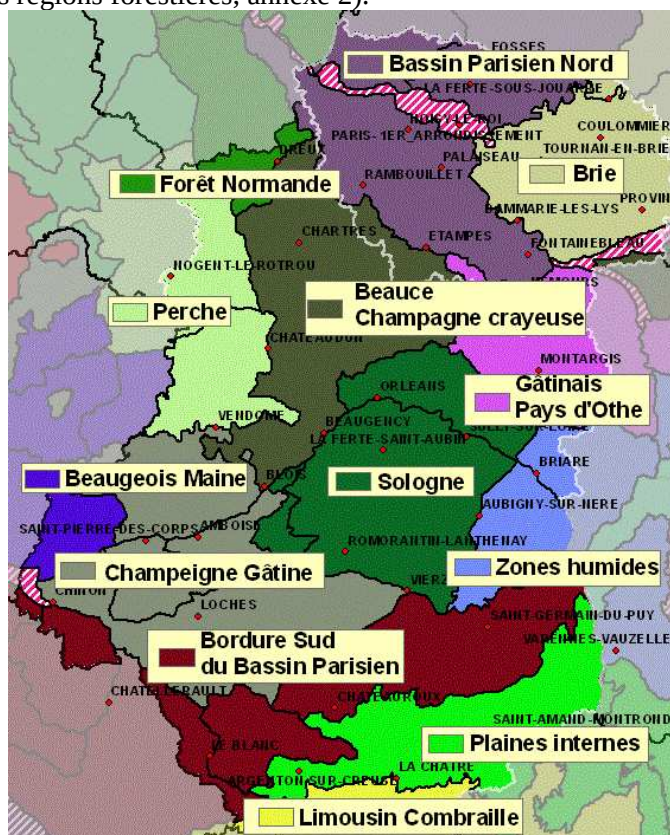


Figure 3 : Sylvo-éco-régions proposées en région Centre (S.Cavaignac, 2008)

Le futur guide devra donc être cohérent avec ces nouvelles unités. Ces dernières confirment la nécessité d'une synthèse au niveau régional. L'Orléanais a été, par exemple, regroupé avec la Grande Sologne.

On constate une certaine effervescence intellectuelle sur la typologie des stations. De nombreux projets sont en cours. Notre étude devra donc s'attacher à intégrer au maximum ces projets.

1. 3. 2. Projets nationaux par rapport à l'impact du changement climatique

Mon travail s'inscrit aussi dans le contexte du changement climatique. De nombreux projets sont menés afin de cerner son impact sur l'écosystème forestier.

Des fiches sont parues dans *Forêt entreprise* (P. Riou Nivert, 2007, 2008). Elles listent les questions posées sur le changement climatique et les pistes de recherche proposées. Le sujet du stage se retrouve dans un certain nombre des axes de ces fiches, comme le diagnostic de l'économie en eau du sol, l'identification des stations à risque...

Forestiers et chercheurs se sont associés en 2008 pour créer AFORCE, un Réseau Mixte Technologique (RMT) consacré à l'adaptation des forêts au changement climatique.

Un des premiers axes de recherche de ce réseau concerne les stations forestières avec la caractérisation et la spatialisation des milieux, la production de conseils pour le choix des essences, la prévision de l'évolution des milieux. Un des premiers projets financés est la comparaison de différentes méthodes d'évaluation de la réserve en eau utile maximale des sols forestiers.

Ce projet s'inscrit bien dans le premier axe de ce réseau. Il est ancré dans une réflexion globale sur l'impact du changement climatique avec la mise en place d'outils plus performants pour des diagnostics stationnels rapides et robustes (bilan hydrique...).

Ce mouvement national pour la description écologique des stations et la définition de seuils écologiques cohérents nécessite une coopération et une communication importante entre gestionnaires et chercheurs. C'est un point fondamental pour ne pas faire des études déjà réalisées.

1. 3. 3. La nécessité d'une communication efficace

Il est à souhaiter que ce guide de choix des essences fasse l'objet d'une communication efficace, afin qu'il serve de base pour d'autres études et pour ne pas multiplier les outils similaires. Ainsi, nous avons collaboré avec le LERFOB pour intégrer leurs cartes sur la répartition des essences et leur évolution spatiale avec le changement climatique. C'est un moyen pour le LERFOB de vérifier la pertinence des outils qu'ils ont créés et pour des organismes de gestion de disposer d'outils, pour évaluer l'impact potentiel du changement climatique.

Cela montre aussi que ce guide et ses premières conclusions devront être pris avec précaution. En effet, certaines hypothèses d'aujourd'hui ne seront plus plausibles dans l'avenir avec les résultats issus de la recherche. Ainsi, les calculs classiques de RU avec notamment les coefficients texturaux de Jamagne utilisés pour ce guide sont actuellement remis en cause.

Les parties suivantes présenteront les méthodes, pour former des unités stationnelles cohérentes sur une région vaste comme la région Centre, et sur les moyens d'intégrer le changement climatique.

2. Lien entre stations et habitats

2. 1. Récapitulatif sur différentes méthodes permettant de regrouper des stations similaires pour former un guide simplifié de stations

Il faut regrouper les stations similaires aux caractéristiques et aux potentialités proches au sein d'unités stationnelles. De la même façon, les types de station définis de manière trop large seront redécoupés au sein des différentes unités stationnelles.

Les unités stationnelles présentant toujours une variabilité, il ne faudra pas hésiter à définir des variantes quand elles ont une pertinence.

Il existe différentes méthodes pour la formation des unités stationnelles selon le choix initial du jeu de données.

2. 1. 1. Une méthode classique avec AFC, CAH et des profils écologiques

Une possibilité est de rassembler l'ensemble des fiches de relevés des zones étudiées et de réaliser une nouvelle analyse de celles-ci.

La méthode utilisée serait classique pour la réalisation des catalogues de stations : AFC de ces données puis analyse des facteurs écologiques structurants. Elle serait suivie d'une CAH sur les relevés et sur les espèces forestières afin de constituer les nouvelles unités stationnelles et les groupes écologiques d'espèces.

Cette méthode est longue et il est dommage de ne pas s'appuyer davantage sur le travail qui a été réalisé dans les catalogues. Elle a en plus l'inconvénient de n'être valide que sur les zones déjà couvertes par les anciens catalogues de stations forestières.

Elle a tout de même l'intérêt de définir des groupes écologiques pertinents sur une région donnée.

Mais il faut rassembler l'ensemble des relevés qui ont servi à la réalisation des catalogues de station. Ces derniers sont souvent perdus et s'ils existent, il faut au préalable les harmoniser d'un catalogue à l'autre.

Dans mon cas, je ne disposais pas de ces relevés au début de mon stage et, après un rapide tour d'horizon, il est apparu que ceux de certains catalogues n'avaient pas été conservés.

Cette méthode a donc été écartée dès le départ.

Une autre méthode aurait été de rassembler l'ensemble des relevés phytosociologiques forestiers (conservatoire botanique) et phytoécologiques (IFN et catalogue de stations) de l'ensemble de la région administrative du Centre et de construire, à partir de ces derniers après les traitements classiques (AFC, CAH), une typologie des stations forestières (T. Merrien, 2005).

Cette méthode a l'avantage de définir des unités stationnelles valides sur l'ensemble de la région Centre. De même, elle permet de définir des groupes écologiques cohérents pour l'ensemble de la région étudiée. Cependant elle ne s'appuie pas sur les différentes typologies de station déjà constituées en région Centre, qui sont de qualité. Cette méthode serait plus adaptée pour une région dépourvue de catalogues de stations forestières comme pour le parc naturel régional Livradois-Forez (T. Merrien, 2005).

Cette méthode est longue à mettre en œuvre avec le tri, l'homogénéisation des différents relevés, la construction d'une base de données cohérente et facilement utilisable.

Il a donc été décidé de renoncer à cette seconde méthode qui ne s'appuyait pas assez sur l'existant et demandait des traitements statistiques assez lourds.

2. 1. 2. Des méthodes spécifiques à la réalisation des guides simplifiés : les méthodes analytique et synthétique

La méthode analytique correspond à la synthèse des facteurs écologiques structurant les types de stations des catalogues. Une matrice de données écologiques est constituée ensuite avec en ligne les stations et leurs sous-types et en colonne les facteurs écologiques et les groupes écologiques caractéristiques de ces dernières. Les stations similaires sont ainsi assez rapidement regroupées au sein d'un même catalogue mais aussi entre des catalogues de régions forestières différentes.

Cette méthode nécessite de constituer une base de données écologiques des stations et de leurs sous-types à partir des fiches synthétiques ou des exemples types présents dans les catalogues. Ces données écologiques doivent être codées et uniformisées entre les différents catalogues de station. De même, les groupes écologiques ne sont pas les mêmes entre les différents catalogues, portent des dénominations différentes et doivent être uniformisés lors de la constitution de la base de données. Ce travail de définition de groupes écologiques cohérents sur la zone d'étude est un travail à part entière, qui n'a pas été entrepris au préalable.

Pour cette raison, la méthode analytique n'a pas été utilisée immédiatement.

La méthode synthétique n'est pas initialement une synthèse des facteurs écologiques. Elle repose sur une lecture des différents catalogues de stations et est complétée par des tournées sur le terrain pour comprendre la logique de leur structuration. Les stations qui semblent similaires entre différents catalogues sont alors regroupées dans des tableaux de correspondance. Des regroupements sont proposés et une synthèse sur les facteurs écologiques de ces groupements est réalisée. Cette synthèse servira à la rédaction des fiches synthétiques des unités stationnelles. La méthode procède donc à l'inverse de la méthode analytique.

Elle nécessite un catalogue de référence structuré de façon logique, ce qui ne peut être le cas dans le cadre de cette étude avec une région aussi vaste que la région administrative du Centre. En effet, la variabilité des substrats géologiques tels que les plateaux d'argiles à silex issus des craies du Crétacé, les formations détritiques du Tertiaire (Orléans et Sologne) et les formations calcaires (tuffeaux du Crétacé, calcaires et marnes du Jurassique (Champagne Berrichonne)), nécessiterait plusieurs guides de référence. Le catalogue de la Brenne qui présente une forte variabilité des substrats géologiques, avec même des zones sur des formations cristallophylliennes (terrains métamorphiques), serait le seul catalogue susceptible d'être référent.

Cette méthode n'a pas été retenue car elle nécessite de nombreux recours à « dire d'expert » avec une connaissance de terrain importante des zones couvertes par les anciens catalogues de station. De plus, la grandeur de la zone de validité nécessiterait un grand travail de synthèse.

Il se pose toujours, pour ces deux méthodes, le problème de la zone de validité du guide, qui se limiterait alors aux zones couvertes par les anciens catalogues.

2. 1. 3. Bilan de ces différentes méthodes

Pour la majorité des méthodes présentées ci dessus, l'extension du guide se limitera aux zones couvertes par les catalogues de station. Comment étendre la zone de validité du guide ?

Une liste des habitats forestiers au niveau régional existe (C. Gauberville, 2003). Réaliser une synthèse en intégrant les habitats, c'est un premier moyen d'étendre la zone de validité du guide du choix des essences.

De plus, faire le lien entre stations et habitats permet de regrouper rapidement les stations similaires sans passer immédiatement par la constitution d'une base de données, qui peut être lourde pour huit catalogues comme cela a été montré précédemment avec notamment la méthode analytique.

2. 2. Pourquoi utiliser les habitats comme premier lien entre les stations similaires en région Centre ?

Puisque par la suite, la notion d'habitat va être souvent utilisée, voici sa définition (J.C. Rameau et al 2000) :

« Un ensemble indissociable avec :

- une faune, avec 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).

Ici, c'est l'approche phytosociologique, utilisant les espèces végétales qui a été adoptée pour caractériser les habitats ou « associations végétales ».

2. 2. 1. Une prise en compte des grandes variations écologiques

Les habitats sont définis au niveau régional. Ils permettent d'éviter une analyse immédiate des grands facteurs écologiques qui structurent les catalogues de stations. En effet, ils correspondent chacun à des conditions écologiques données.

Ils permettent de différencier rapidement :

- les grandes zones climatiques avec d'un côté le climax des hêtraies et de l'autre celui des chênaies,
- les positions topographiques, le niveau hydrique et le niveau trophique.

		Aire des chênaies (influence méridionale, faible précipitation annuelle, température moyenne annuelle 10 °C)	Aire des hêtraies (fortes précipitations annuelles, température moyenne annuelle plus basse)
Matériaux acides	Plateaux / versants	Chênaie sessiliflore à alisier torminal	Hêtraie atlantique acidiphile à houx
	Alluvions/colluvions du réseau hydrographique, dépressions sur plateau	Chênaie pédonculée hydromorphe à molinie	
Matériaux faiblement acides à calcicoles	Plateaux / versants	Chênaie sessiliflore à fragon	Hêtraie "riches " (plusieurs associations)
	Alluvions/colluvions du réseau hydrographique, dépressions sur plateau	Chênaie pédonculée à fragon	Chênaie pédonculée à jacinthe

Tableau 4 : Grands traits des habitats répandus dans la région, hors grandes vallées alluviales (C. Gauberville, 2003)

2. 2. 2. Une prise en compte de la dynamique de végétation

Les habitats prennent en compte la dynamique de végétation ce qui est important pour la définition des grandes contraintes sylvicoles. Ainsi, dans l'habitat de la chênaie sessiliflore ligérienne à fragon, le charme a une très forte dynamique qu'il faut prendre en compte lors de la régénération des chênes.

Dans la chênaie acidiphile à alisier torminal, le charme n'a pas la même dynamique. Ce qui pose davantage problème pour la régénération et l'accroissement de semis de chêne est la fougère aigle et son développement lors de l'ouverture des peuplements.

2. 2. 3. Une clé d'entrée plus abordable pour les propriétaires forestiers

La clé d'entrée des habitats (cf. annexe 3) est une clé assez facile d'utilisation et la notion d'habitat pour le propriétaire forestier sera peut être moins complexe que la notion de station qui lie le concept de potentialités forestières et le concept de zones écologiquement homogènes.

Le cortège floristique pour distinguer les différents habitats est assez simple.

2. 2. 4. Prérequis pour utiliser les habitats comme premier lien entre les stations

Notons que le travail sur les habitats et leur lien avec les stations a été facilité par une synthèse préalable en région Centre (C. Gauberville, 2003). Les habitats ont presque tous été définis, même si récemment une nouvelle association le *Carici flacca* - *Quercetum roboris* (chênaie pédonculée à laiche glauque et à molinie) a été isolée sur les substrats engorgés riches en Champagne Berrichonne et dans l'Orléanais (A. Brêthes, 2008).

Le travail de définition de ces habitats a été plus aisé en région Centre par des conditions écologiques assez homogènes avec deux grandes aires climatiques en lien avec la topographie et trois grandes formations géologiques. En montagne, avec les séries de végétation liées à l'altitude, avec le jeu des expositions et la nature des roches, les conditions écologiques sont très variées sur une faible surface et le nombre d'habitats forestiers potentiels sera plus important qu'en plaine.

En région Centre, trente-deux habitats différents sont ainsi recensés. C'est encore raisonnable si l'on veut constituer des unités stationnelles à partir de ces habitats. Dans des régions montagneuses, ce nombre risque d'être fortement accru, ce qui pose alors la question de la réalisation d'un guide pour une zone avec de fortes variations écologiques.

Avant de faire le lien entre les habitats et les stations, il faut réaliser une synthèse des habitats présents dans la région d'étude puis définir leur composition floristique et leurs caractéristiques écologiques (J.-P. Savoie, 1996 ; P. Gonin, 2001). Ce travail est facilité aujourd'hui par la réalisation de l'ouvrage « *Les habitats forestiers de la France tempérée ; typologie et caractérisation phytoécologique* » par le LERFOB. Il recense l'ensemble des habitats forestiers définis en France et les décrit. Mais certaines régions ont encore été peu prospectées par les phytosociologues et leurs associations forestières sont peu ou mal décrites. Dans ces dernières, la méthode proposée ci-dessous sera difficile, voire impossible, à mettre en place.

2. 3. Comment relier un type de station à un habitat donné ?

2. 3. 1. Méthode

J.-P. Savoie (1996) a proposé une méthode reprise par P. Gonin (2001) dans le guide simplifié des Petites Pyrénées, Plantaurel et Bordure sous-pyrénéenne. Elle s'appuie au départ sur une synthèse sur les associations susceptibles d'être présentes dans la zone d'étude et sur la définition de leur composition floristique. Un relevé synthétique est effectué par type de stations. Toutes les espèces présentes sont notées avec leur fréquence sur l'ensemble de ces relevés. Ces relevés synthétiques sont ensuite comparés à la liste d'espèces des associations. Cette première correspondance, avec un pourcentage de similarité soit le rapport du nombre d'espèces communes sur le nombre d'espèces de l'association, est complétée par la suite par l'analyse des données écologiques du type de station et de l'association. La correspondance est établie définitivement après une vérification "à dire d'experts".

Je n'ai pas pu mettre en place de manière identique cette méthode, car je ne disposais pas de l'ensemble des relevés des catalogues pour former un relevé synthétique.

T. Merrien (2005), dans sa construction d'une typologie de stations forestières du parc naturel Livradois-Forez liée à la phytosociologie, a également essayé de mettre en place une méthode automatique de rattachement des relevés floristiques avec les associations forestières. Il disposait d'un certain nombre de relevés du conservatoire botanique d'Auvergne avec un lien avec les groupements végétaux. Ces relevés avec d'autres (données IFN) lui ont servi à construire une typologie des stations avec une AFC et CAH classiques. Son idée initiale était de superposer les coordonnées factorielles des relevés non rattachés à une association aux coordonnées factorielles des relevés rattachés à une association. Cette superposition lui permettrait de classer automatiquement les relevés sans rattachement. Le problème est qu'un certain nombre de relevés liés à des associations différentes se chevauchent. Il est revenu à la méthode proposée par J.-P. Savoie (1996).

Quelle que soit la méthode employée, on en revient toujours "à un dire d'expert" pour valider le lien entre stations et habitats. Il existe un fort aspect de l'expertise pour les habitats même si récemment ces derniers ont été décrits et caractérisés écologiquement (J.-C. Gégout, et al 2008).

J'ai pratiqué une démarche similaire à celle de P. Gonin (2001) sauf que je me suis appuyé uniquement sur les fiches synthétiques et les exemples types des stations.

Je me suis aidé au départ de la clé des habitats forestiers et leur description par C. Gauberville (2003) pour classer les stations.

J'ai confirmé ou infirmé ce classement en comparant la composition floristique des exemples types et des fiches synthétiques à celle des associations décrites dans la typologie « *des habitats forestiers de la France tempérée* (J.-C. Gégout, et al, 2008) ou le classeur des habitats forestiers d'intérêt communautaire (J.-C. Rameau et al, 2001).

À l'issue de ce travail, la correspondance entre les stations, voire leurs sous-types, et les habitats est faite pour chaque catalogue de stations. Cela donne une première esquisse de la répartition des habitats en région Centre et de leur importance.

2. 2. 2. Mise en place de la méthode, problèmes rencontrés et solutions proposées

2. 2. 2. 1. Type de stations défini de manière trop large ou situé entre deux habitats

Un type de station a une certaine variabilité avec un ensemble de relevés différents. Il est possible, en fonction de la précision de sa définition, qu'il soit réparti dans deux habitats.

Certaines stations sont intermédiaires au niveau trophique. Elles sont séparées entre les différents habitats.

D'autres types de stations ont un spectre trophique large et leurs sous-types trophiques, quand ils sont définis, sont répartis au sein des habitats spécifiques. Sinon la station est classée dans les deux habitats potentiels comme précédemment.

D'autres stations ont une définition géographique trop large. Ainsi, les variations climatiques sont importantes avec des relevés dans l'aire de la chênaie et d'autres dans celle de la hêtraie. Dans ce cas, ces stations sont séparées dans les habitats correspondant de la hêtraie et de la chênaie. F. Charnet dans son catalogue du Perche (1988) avait distingué deux grands ensembles climatiques. Ainsi une même formation peut être présente dans ces deux zones. Il distingua par exemple la station 1251 dans l'aire de la hêtraie et son équivalent dans celle de la chênaie 1252.

Mais une telle distinction n'a pas été réalisée dans la plupart des catalogues. Ainsi de nombreuses stations sont scindées.

Les stations intermédiaires au niveau topographique, notamment entre les bas de versants et les fonds de vallon ou les banquettes alluviales hautes, sont classées entre les différents habitats potentiels soit la hêtraie ou la chênaie pour le bas de versant et la chênaie pédonculée pour le fond de vallon.

D'autres stations ont été définies de manière trop large au niveau topographique : du plateau au fond de vallon. Dans ce cas là, la station est divisée entre les différents habitats correspondant à une position topographique précise.

2. 2. 2. 2. Limites de l'utilisation des habitats

Je me suis appuyé sur la clé des habitats réalisée par C. Gauberville (2003) (cf. annexe 3). Ce travail de classement des stations dans les différents habitats a révélé différentes difficultés que pouvait entraîner une entrée par les habitats. Elles sont énumérées dans les paragraphes suivants.

Il a été décidé dans un premier temps de ne pas modifier cette clé et de tester par la suite les zones d'ombre sur le terrain.

2. 2. 2. 2. 1. Biais des sylvofaciès et des phases dynamiques

Les habitats se trouvent rarement intacts sur le terrain. Ils ont pu évoluer et présentent un sylvofaciès différent :

- Sylvofaciès de dégradation.
- Sylvofaciès dynamique.
- Sylvofaciès résineux.

2. 2. 2. 2. 1. 1. Sylvofaciès de dégradation et sylvofaciès dynamique

Les sylvofaciès de dégradation ou de phase dynamique ne devraient pas être retenus comme habitats forestiers si on raisonne en terme de climax stationnel.

La chênaie pédonculée à peucedan de France, sylvofaciès de dégradation de la chênaie sessiliflore ligérienne à alisier torminal après un traitement pluriséculaire en taillis et taillis sous futaie, a été isolée au niveau national mais pas pour ce guide. Elle a été rattachée à la chênaie sessiliflore à alisier torminal et correspond à des formes fraîches ou claires de cette dernière. Si on reste dans cette logique, les chênaies, boulaies pionnières ou de dégradation à chêne tauzin que l'on trouve en Sologne ne devraient pas être isolées au niveau du guide. Elles le sont, car cet habitat a été retenu à la directive habitat (DH.9230).

On voit ainsi toute la difficulté de la notion d'habitat. Certaines stations pourraient être classées dans un habitat, alors qu'elles correspondent à une phase dynamique ou à une dégradation d'un autre habitat.

Certaines stations sur plateaux calcaires ont une forte présence du chêne pubescent avec la garance voyageuse. Elles ne justifient pas pour autant le classement automatique en chênaie pubescente à garance voyageuse. En effet, elles peuvent correspondre à une phase dynamique de la chênaie sessiliflore à fragon.

Dans la clé de C. Gauberville, on raisonne en termes de climax stationnel. On réfléchit sur la dynamique de peuplements et sur le stade ultime de végétation sur la station. C'est dans cette logique que la première question de sa clé est : "existe-t-il des raisons qui empêcheraient le développement de la hêtraie, dryade par excellence ?".

Cette notion de phase dynamique pose plus de problème pour les catalogues intégrant l'évolution des milieux ouverts comme ceux de la Sologne ou de la Brenne, qui comprennent notamment des formations dérivant des accrues ligneuses sur terre agricole.

L'humus des stations normalement acides peut rester "amélioré" pendant un certain temps sur des milieux anciennement prairiaux ou cultureux. La flore est enrichie et présente alors un mélange d'espèces acidiphiles ou acidiclinales et d'espèces neutroclinales à large amplitude. Cette rémanence pose problème pour la distinction des chênaies sessiliflore ligérienne à alisier torminal et à fragon sur les stations limites. On observe ainsi parfois une incohérence entre le niveau trophique (indiqué par la flore et le pH des différents horizons) et le type d'humus.

2. 2. 2. 1. 2. Biais des sylvofaciès résineux et des surfaces récemment régénérées

Les jeunes peuplements résineux avec des plantations très serrées et des travaux préparatoires présentent une flore modifiée. On constate la même chose pour les peuplements feuillus récemment régénérés (M. Gosselin *et al*, 2006). La clé des habitats peut-elle s'appliquer pour ces formations ? La question sera étudiée lors des tests sur le terrain. La majorité des catalogues de station sont en effet construits à partir de relevés sur des zones non récemment perturbées et sur des peuplements mûrs. Les relevés dans les jeunes plantations ou dans les zones récemment régénérées sur des grandes surfaces sont exclus.

Le risque réside plus dans un changement de flore lié à une essence sur des stations limites entre deux habitats. En effet, dans les franges stationnelles les plus pauvres ou les plus riches, malgré le sylvofaciès, il n'y aura pas de problème de détermination de l'habitat à partir de la flore.

D'après les différents experts du comité de pilotage, seuls le pin sylvestre et le robinier induisent des changements de flore importants, créant une certaine acidification pour le premier, un enrichissement en nitrates pour le second.



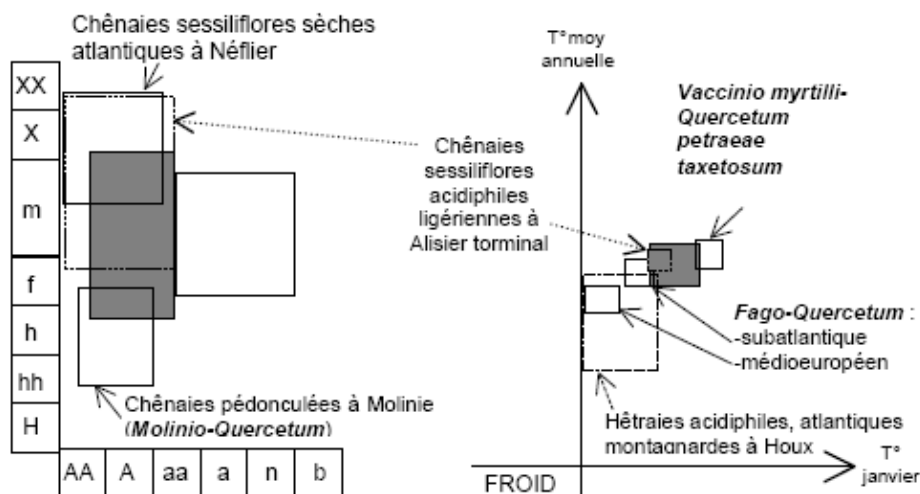
Figure 4 : Sylvofaciès résineux de la chênaie sessiliflore à fragon, frange stationnelle riche avec une forte dynamique du charme qui ne pose pas de problème pour le classement de la station. (JB Reboul)

Les sylvofaciès populicoles sont aussi un problème, mais ils ne sont pas intégrés dans les catalogues de stations, qui se limitent aux aulnaies-frênaies riveraines et aux chênaies pédonculées.

2. 2. 2. 2. Est-on dans l'aire de la hêtraie ? Exemple de biais dû à un sylvofaciès

La chênaie sessiliflore ligérienne à alisier torminal et la hêtraie atlantique à houx occupent la même niche écologique pour les conditions pédologiques. Leur composition floristique est proche. Le hêtre a souvent été chassé au profit du chêne sessile pour des raisons historiques et économiques. La confusion entre les deux habitats est facile en l'absence de données climatiques.

De nombreux exemples types de stations que l'on a classés en hêtraie correspondent en fait sur le terrain à des peuplements de chênes sessiles, notamment dans le Pays Fort.



Une des grandes questions qui s'est posée lors du classement des stations a été de savoir si on est ou non dans l'aire de la hêtraie. La répartition des types de station est souvent précisée dans les catalogues, on la croise avec les cartes des isohyètes sur la région naturelle afin d'isoler celles pouvant être classées en hêtraie. On vérifie également si la fiche synthétique fait référence à des peuplements composés de hêtre. Le seuil de 750 mm de précipitation est retenu entre la hêtraie climatique et la chênaie sessiliflore (J.C Rameau 1989).

Mais cela ne suffit pas. Des régions comme le Boischaut Nord et la Gâtine Sud Tourangelle ont des précipitations moyennes inférieures à 750 mm/an mais un effet topoclimatique du à un versant exposé au nord, à l'ouest ou à l'est, avec une plus grande humidité atmosphérique peut être à l'origine de la présence du hêtre. Ces hêtraies « topoclimatiques » sont notées uniquement quand la fiche descriptive de la station fait référence à un topoclimat précis (exposition Est ou Ouest) et à la présence de peuplements de hêtre.

2. 2. 2. 3. Habitat forestier jusqu'alors non décrit

La majorité des stations ont pu être classées dans les habitats actuellement définis.

Certaines stations, avec une composition floristique originale, ne se rattachaient pas aux habitats décrits en région Centre notamment pour le catalogue du Boischaut Sud et de la Champagne Berrichonne. Elles sont équivalentes à la chênaie pédonculée hydromorphe à molinie mais sur des substrats plus riches avec un mélange d'espèces acidiphiles et neutrocalcicoles. A. Brêthes a défini récemment une nouvelle association en région Centre, le *Carici flacca* - *Quercetum roboris*, qu'il a présentée lors du colloque de phytosociologie de Nancy de novembre 2008. Il l'a isolée à partir de différents relevés des catalogues de l'Orléanais et du Boischaut Sud et de la Champagne Berrichonne. Elle convient particulièrement à ces stations jusqu'alors inclassables.

2. 2. 2. 4. Limites et typicité des habitats

Il faut définir des frontières tranchées entre les associations, afin que la clé des habitats soit facilement utilisable et efficace.

Il est apparu que les limites des habitats définies au niveau national, notamment dans le cahier des habitats forestiers (J-C. Gegout et al, 2008), ne s'appliquent pas forcément au niveau régional. Les descriptions des habitats présentent leur forme typique, mais il existe un certain nombre de variations, ce qui complique le classement des stations. Ici la limite de l'applicabilité d'un outil national au niveau régional est perceptible.

Dans les paragraphes suivants, la notion de « climax » est réutilisée dans un esprit de dynamique de végétation.

2. 2. 2. 2. 4. 1. Limite trophique

Cas des chênaies sessiliflores ligériennes à fragon dite « chênaie - charmaie » et ligérienne à alisier torminal dite « chênaie acidiphile » :

Plusieurs stations sont intermédiaires au niveau trophique avec un hémimoder et un fond de flore appauvri par le couvert ombrageant de la strate arborée et arbustive.

Cette flore est constituée d'espèces acidiphiles ou acidiclinales à large amplitude comme le lierre, la fougère aigle ou le polytric élégant, le chevrefeuille.

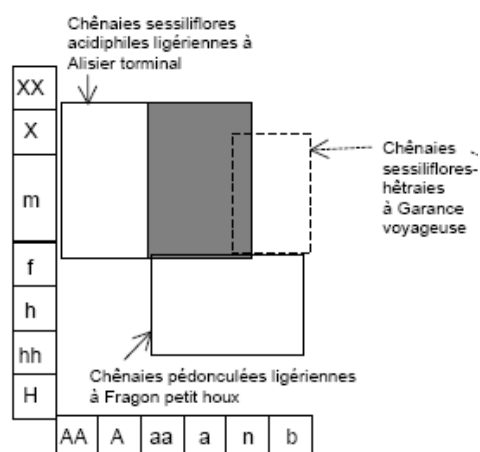


Figure 6 : Aire de la chênaie sessiliflore ligérienne à fragon (en grisé) dans le diagramme floristique adjacente à la chênaie sessiliflore à Alisier torminal (J.C. Gegout et *al*, 2008)

L'humus n'est pas le meilleur indicateur en dehors de ses formes extrêmes (dysmoder ou eumull) car il est dynamique en réagissant à la mise en lumière et à la fermeture du peuplement (F. Ponge, 1999). La composition en essences du peuplement et les pratiques sylvicoles influenceront sur son évolution (L. Augusto et *al*, 2000).

La flore et l'humus ne suffisent pas ici pour distinguer les deux habitats.



Figure 7 : Station en Puisaye limite entre la chênaie sessiliflore à fragon et la chênaie acidiphile à alisier torminal à mull-moder à oligomull, à fond de flore appauvri, la présence du charme et sa dynamique est discriminante.

2. 2. 2. 2. 4. 2. Limite climatique

La question se pose pour la limite entre les formations atlantiques et les formations subatlantiques.

La région Centre est dite sous influence atlantique, mais il existe une transition avec la zone subatlantique, notamment dans l'Est de la région. Cette transition se retrouve avec les chênaies

pédunculées atlantiques à jacinthe des bois, à stellaire holostée et subatlantiques à primevère élevée. On peut également citer la chênaie pédunculée ligérienne à fragon avec un cortège d'espèces thermophiles du à une influence thermo-atlantique forte le long du couloir ligérien.

Certaines stations en fond de vallon ou sur les banquettes alluviales hautes sont problématiques. Elles peuvent être dans l'aire de l'influence ligérienne mais le fond de flore ne présente pas forcément la flore diagnostique comme le fragon, la jacinthe ou d'autres espèces atlantiques ou thermophiles. Elles sont alors classées dans la chênaie pédunculée ligérienne à fragon ou dans celle subatlantique à primevère élevée ou à stellaire holostée selon le niveau trophique. Est-ce dû à une position de fond de vallon où l'humidité atmosphérique est plus importante et les températures plus fraîches ce qui permettrait de se rapprocher des conditions climatiques subatlantiques ? Est-ce dû plus simplement à des milieux perturbés où la flore diagnostique est absente ?

On est bien dans une zone charnière en région Centre ce qui implique que l'on n'est pas dans l'aire climatique typique d'un certain nombre d'habitats, comme la hêtraie atlantique à jacinthe des bois ou la hêtraie subatlantique à mélisse.

Si la présence ou l'absence d'espèces atlantiques ne suffit pas pour distinguer ces deux habitats dans les régions climatiques limites comme le Pays Fort, il faut alors s'appuyer sur le niveau trophique. La hêtraie atlantique à jacinthe sur des formations limoneuses lessivées a un niveau trophique en moyenne plus faible que celle subatlantique à mélisse reposant sur des substrats plus riches. L'érable champêtre et le cornouiller sont des indicateurs discriminants en l'absence d'une flore typique.

2. 2. 2. 4. 3. Différences de définition des habitats entre un document national et un document régional

Quelles sont les limites pour la chênaie sessiliflore à fragon ?

La chênaie sessiliflore à fragon présente en région Centre un très large éventail au niveau trophique. Cela va des stations assez acides avec un cortège d'espèces acidoclines (aa) aux stations calcaires avec un cortège d'espèces calcicoles (b). Au niveau national, elle a été classée jusqu'au niveau neutrocline et décrite comme adjacente à la chênaie sessiliflore-hêtraie à garance voyageuse.

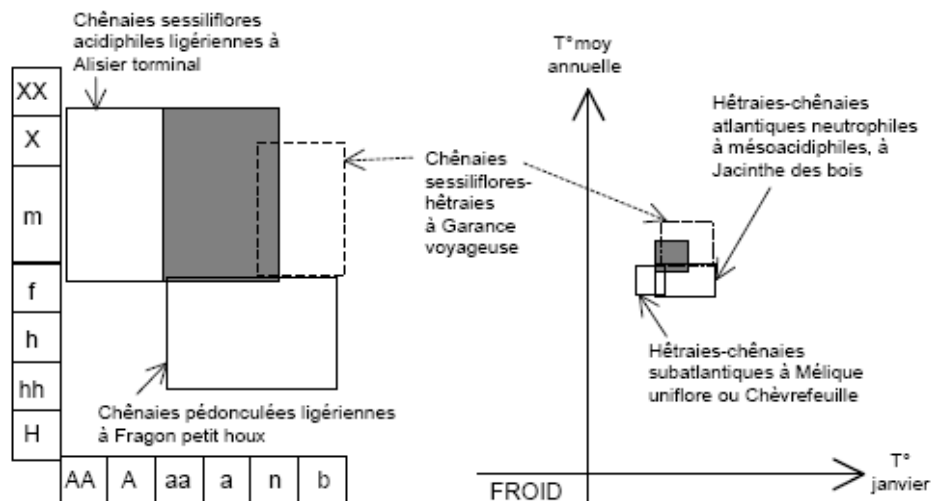


Figure 8 : Aire de la chênaie sessiliflore à fragon (en grisé) (J.C. Gegout et al, 2008)

Dans notre cas, la hêtraie chênaie neutrophile à calcicole à garance voyageuse se situe dans des zones avec une forte humidité atmosphérique du à un effet topoclimatique. Elle occupe les mêmes conditions pédologiques que les formes les plus riches de la chênaie sessiliflore ligérienne à fragon.

La limite entre les chênaies sessiliflores à fragon et la hêtraie à garance est de l'ordre climatique, pas trophique.

Certaines stations de la Champagne Berrichonne et du Boischaut Sud ont des mélanges importants de chêne sessile et de chêne pubescent avec un sous-étage de charme et d'érable champêtre. Elles sont rattachées aux chênaies sessiliflores ligériennes à fragon. Le chêne pubescent correspond dans ces cas-

là à un faciès dynamique. Dans la vraie chênaie pubescente, qui correspond à la chênaie pubescente à garance voyageuse, la sécheresse est telle que le charme n'est pas présent à cause d'une trop faible réserve utile.

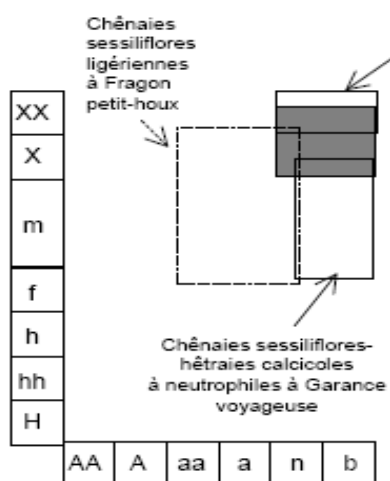


Figure 9 : Diagramme floristique de la chênaie pubescente à garance voyageuse (en grisé) (J.C. Gegout et al, 2008)

2. 2. 2. 2. 4. 4. Limite entre les chênaies pédonculées, hêtraie et chênaie sessiliflore ?

Les limites entre ces 3 associations des chênaies pédonculées, de la hêtraie ou de la chênaie sessiliflore sont liées à la dynamique de végétation et donc à la notion de climax stationnel.

La clé de reconnaissance des habitats raccorde les chênaies pédonculées aux zones d'accumulation en eau sur plateau avec les cuvettes et micro-dépressions et aux zones fortement alimentées en eau comme les fonds de vallon, les banquettes alluviales élevées du réseau hydrographique.

Sur plateau, des stations d'argiles sur marnes (pélosol sur marnes), avec une très forte réserve utile, sont problématiques avec une forte réserve utile et la présence d'hygro-neutrophiles caractéristiques du cortège floristique des chênaies pédonculées, marquant l'engorgement en surface. D'après le comité de pilotage, ces chênaies pédonculées sur plateau correspondent à une phase dynamique. Rien n'empêche l'installation du hêtre ou du chêne sessile sur ces stations car l'engorgement n'est pas assez important.

La végétation climacique étant la chênaie sessiliflore ou la hêtraie, les stations présentées ci-dessus correspondent à une forme engorgée des hêtraies ou des chênaies sessiliflores.

Sur plateau, le blocage de la hêtraie ou de la chênaie sessiliflore peut être de deux ordres :

- **engorgement** : il doit être très intense pour bloquer la dynamique des chênaies sessiliflores. Il correspond aux microcuvettes et dépressions. Il est marqué par l'absence du charme, qui n'arrive pas à s'installer avec un engorgement hivernal très fort suivi par des sécheresses estivales importantes.



Figure 10 : Station H2 Champagne Berrichonne, Boischaut Sud. Chênaie pédonculée hydromorphe à laiche glauque (*Carici flacca-Quercetum roboris*) et à brachypode penné, le charme ne s'installe pas.

- **forte réserve en eau associée à de fortes précipitations et à une bonne richesse chimique** : la régénération du chêne sessile et du hêtre n'est pas bloquée. La forte dynamique d'essences comme le chêne pédonculé, le frêne ou l'érable sycomore est favorisée par une réserve en eau importante, une forte humidité atmosphérique et une bonne réserve chimique.

Le comité de pilotage considère que le second cas ne se rencontre pas en région Centre avec des précipitations trop faibles et de très rares formations riches à forte réserve utile.

Le blocage de la chênaie sessiliflore ou de la hêtraie sur plateau est lié à un engorgement très fort. Selon le niveau trophique, on est dans la chênaie pédonculée à molinie ou dans celle à brachypode pennée et à laiche glauque.

En fond de vallon ou sur les banquettes alluviales hautes, le blocage de la hêtraie ou de la chênaie sessiliflore peut être de deux ordres :

- **topoclimat froid** : le fond de vallon est une zone d'accumulation d'air froid, où la fréquence des gelées tardives est augmentée. C'est une raison du blocage de la hêtraie notamment dans le domaine continental. Ce n'est pas le cas en région Centre même si les fonds de vallon sont plus frais et plus humides.
- **humidité atmosphérique et fort approvisionnement en eau combinés à un engorgement superficiel** : les fonds de vallon et les banquettes alluviales ont une humidité atmosphérique plus forte, avec un confinement important pour les premiers et la proximité d'un cours d'eau pour les seconds. Cette humidité atmosphérique plus élevée est accompagnée par un approvisionnement régulier en eau du sol. Cet apport d'eau important est marqué par la flore avec la présence d'espèces de milieux frais, d'espèces hygrocènes et par des taches d'hydromorphie au sein du sol dues à la présence d'une nappe temporaire. Cette forte alimentation en eau favorise la dynamique d'essences comme le chêne pédonculé qui supprime le hêtre ou le chêne sessile.

Le blocage de la hêtraie et de la chênaie sessiliflore en fond de vallon est donc dynamique.

En fond de vallon, on différenciera la chênaie pédonculée à molinie et la chênaie pédonculée à laiche glauque et à brachypode penné des autres chênaies pédonculées par l'intensité de l'engorgement et l'absence du charme. Les autres chênaies pédonculées ont un drainage des eaux plus rapide avec des nappes d'eau régulièrement oxygénées notamment dans le cas des terrasses alluviales.

2. 2. 3. Premiers résultats en région Centre

2. 2. 3. 1. Correspondance entre les stations et leur sous type avec les habitats

Le tableau suivant a été réalisé en classant les types de station de l'ensemble des catalogues, dans les habitats associés. On dénombre 818 croisements entre les types de stations et les habitats. Ce n'est pas le nombre de types de stations, sachant qu'un type peut être classé dans différents habitats. Ce tableau permet de différencier les associations les plus fréquentes dans les catalogues de stations occupant ainsi une grande surface, des associations plus marginales comme la chênaie hêtraie sèche. Les deux grandes associations caractéristiques de la région Centre, la chênaie sessiliflore ligérienne à alisier torminal et celle à fragon, se retrouvent. Les formations riveraines comme les aulnaies occupent une très faible surface.

L'objectif de cette synthèse des catalogues de station est de définir des unités stationnelles cohérentes pour l'élaboration d'un guide simplifié.

Les habitats suffisent-ils pour former ces futures unités stationnelles ?

Habitats	Nombre stations et sous types correspondant en région Centre	Code NATURA 2000
Aulnaie à laïche espacée	1	91EO
Frênaie-Ormaie atlantique à scolopendre	1	9180
Tillaie hygrosclaphile à scolopendre	1	9180
Aulnaie-frênaies riveraines	2	91EO
Chênaie-hêtraie "sèche"	2	9150
Chênaie-ormaie de la Loire et des grandes rivières	3	91FO
Aulnaie des rivières à eaux vives	4	
Aulnaie eutrophe à basicline à cirse des maraîchers	4	
Chênaie-boulaie à chêne tauzin de Sologne	4	9230
Hêtraie-chênaie à lauréole	5	9130
Aulnaie marécageuse à sphaignes	7	
Chênaie pédonculée à laïche glauque et à brachypode penné	7	
Saulaie marécageuse	9	
Aulnaie à hautes herbes	12	91EO
Chênaie pubescente à garance voyageuse	14	
Hêtraie-chênaie neutrophile à calcicole à garance	14	
Chênaie pédonculée atlantique à jacinthe des bois	15	
Chênaie à chêne tauzin à asphodèle blanche du Centre Ouest et du Sud Ouest	17	9230
Chênaie pédonculée subatlantique à stellaire holostée	19	9160
Hêtraie-chênaie atlantique à jacinthe des bois	23	9130
Hêtraie-chênaie subatlantique mésoneutrophile à mélisse	32	9130
Chênaie pédonculée acidiphile hydromorphe à molinie	34	9190
Chênaie pédonculée subatlantique à primevère élevée	42	9160
Hêtraie-chênaie acidiphile atlantique à houx	64	9120
Chênaie pédonculée ligérienne à fragon	84	
Chênaie sessiflore ligérienne à alisier torminal	189	
Chênaie sessiflore ligérienne à fragon	209	
Total général		818

Tableau 5 : Nombre de types de stations classés par habitat, après lecture et analyse des catalogues de station de la région Centre

2. 2. 3. 2. Pertinence des habitats pour définir les nouvelles unités stationnelles

2. 2. 3. 2. 1. Existence de variantes des habitats

Les habitats définissent un cortège d'essences présentes et adaptées et de grandes contraintes sylvicoles, mais cela ne suffit pas. En effet, ils ont une certaine amplitude et, comme cela a été montré dans les paragraphes précédents, il existe des variations floristiques par rapport à une composition typique. Celles-ci traduisent des changements de conditions du milieu avec la qualité du drainage des eaux, le niveau trophique et les influences climatiques.

Les habitats ont donc un certain nombre de variantes :

- liées à la qualité de drainage des eaux comme des variantes engorgées,

- trophiques, du très acide avec les hyper-acidiphiles à l'acide avec les acidiclinales pour la chênaie sessiliflore à alisier torminal,
- géographiques avec une flore diagnostique, qui s'exprime plus ou moins bien en fonction de l'influence climatique,
- liées à la réserve d'eau dans le sol.

Ces variantes sont ainsi pédologiques et climatiques et plus ou moins bien traduites par la flore.

Ces variantes, si elles sont pertinentes, seront les futures unités stationnelles du guide simplifié.

2. 2. 3. 2. 2. Certains habitats sont trop précis pour définir des unités stationnelles

Jusqu'à présent, la précision phytosociologique a été utilisée pour la définition des habitats.

Existe-t-il une réelle différence entre la chênaie pédonculée atlantique à jacinthe des bois et celle subatlantique à stellaire holostée pour le choix des essences et les contraintes sylvicoles ?

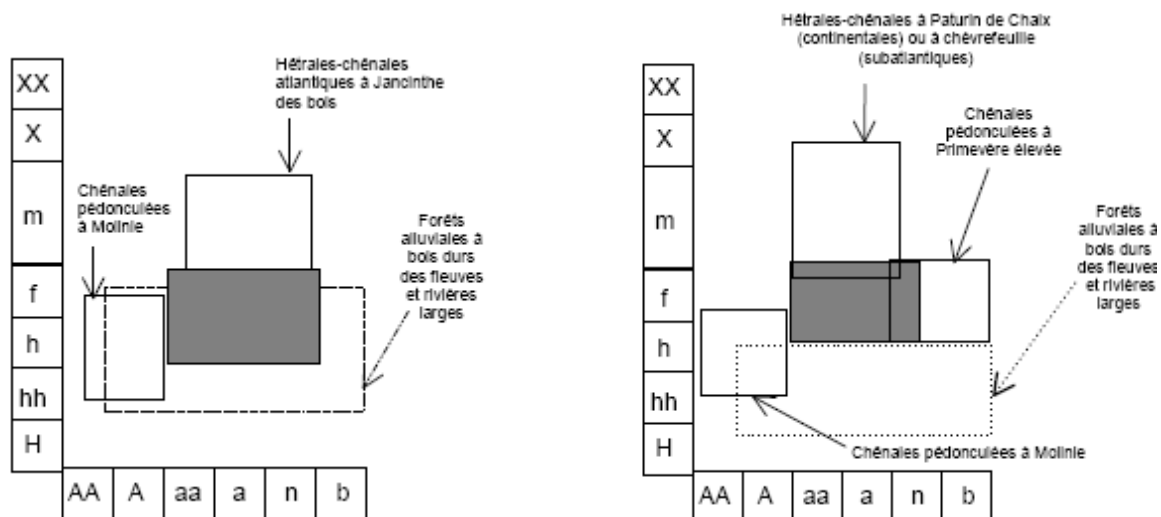


Figure 11 : Aire de la chênaie pédonculée à jacinthe des bois (en grisé) et aire de la chênaie pédonculée subatlantique à stellaire holostée (en grisé) (J.C. Gegout et al 2008).

Les conditions écologiques sont similaires. Les conditions climatiques entre les deux associations sont proches avec tout de même une légère influence continentale pour la chênaie pédonculée à stellaire holostée et un risque de gelées tardives plus important. Le problème est que la chênaie pédonculée subatlantique à stellaire holostée est inscrite à la directive habitat au contraire de la chênaie pédonculée atlantique à jacinthe des bois.

De même, les aulnaies-frênaies riveraines, pourraient être regroupées au lieu de distinguer l'aulnaie à laîche espacée de l'aulnaie-frênaie à hautes herbes ou de l'aulnaie frênaie à eaux vives. Elles seront identiques pour le choix des essences et la définition des grandes contraintes et elles appartiennent toutes à la même annexe de la directive habitat.

Dans un souci de simplification, les habitats ne conviennent pas toujours avec une grande segmentation pour certains ensembles comme les aulnaies.

2. 3. Validation de la clé des habitats et modifications à apporter

Un certain nombre d'imperfections de l'utilisation des habitats sont apparues lors du classement des stations au sein de ces derniers. Dans un premier temps et jusqu'à la vérification sur le terrain, la clé des habitats n'a pas été modifiée. La logique aurait voulu que la clé des habitats et la correspondance faite avec les habitats soient immédiatement testées après la première partie du travail. En pratique, la méthode dans sa totalité, avec la définition de variantes pour trois des habitats les plus fréquents, la définition des contraintes sylvicoles et des préconisations d'essence, a été mise en place avant de tester les clés.

2. 3. 1. Méthode de validation de la clé des habitats et du lien entre type de station et habitat

Cette correspondance est tout d'abord vérifiée en définissant les variantes des habitats. Ainsi les stations limites entre deux habitats sont isolées ce qui permet de revenir sur d'éventuelles erreurs de classement. La clé ainsi définie est ensuite testée lors de tournées sur le terrain. Les tests ont été menés, jusqu'à présent, sur des zones couvertes par les anciens catalogues de station. La qualité des clés et leur bonne correspondance avec les stations sont également vérifiées. Ces tournées sont effectuées avec les techniciens du CRPF sur leurs secteurs d'attribution. Initialement, les propriétés avec une forte diversité d'habitats ont été privilégiées. Celles qui répondent à des problématiques soulevées lors du classement des stations ou lors des premiers tests des clés ont ensuite été envisagées. Les mauvaises correspondances entre habitats et stations ont été notées. Les différentes remarques des techniciens sur les clés sont prises en compte. Elles sont ensuite synthétisées pour les modifier.

2. 3. 2. Limites actuelles de cette première entrée par les habitats

2. 3. 2. 1. Solutions aux limites apparues lors du classement des stations dans les habitats, que l'on retrouve sur le terrain

2. 3. 2. 1. 1. Une entrée par bioclimat

2. 3. 2. 1. 1. 1. Cerner la zone de la hêtraie

Souvent l'utilisateur ne connaît pas le climat de la zone d'étude et il est difficile de répondre à la première question sur le blocage climatique de la hêtraie (voir annexe 3). Proposer une carte de l'aire du hêtre en introduction, afin que l'utilisateur du guide puisse repérer sa position est une solution. Le LERFOB a fourni un modèle sur la répartition actuelle du hêtre au pas kilométrique à partir des données Aurhely (annexe 4). Ce modèle sera présenté aux techniciens et aux différents membres du comité de pilotage, afin qu'ils affinent les zones de présence du hêtre selon leur connaissance de terrain. C'est un moyen pour le LERFOB de tester la pertinence de leur modèle et d'avoir un retour du terrain. C'est aussi une façon de voir comment intégrer un outil conceptuel comme un modèle de répartition dans un outil de terrain opérationnel.

Il reste tout de même le cas des hêtraies « topoclimatiques ». Sur le terrain, dans l'aire de la chênaie sessiliflore, elles correspondent à des versants ombragés exposés ouest, est ou nord avec une humidité atmosphérique plus importante et avec des peuplements composés de hêtre (GB, BM, perches).

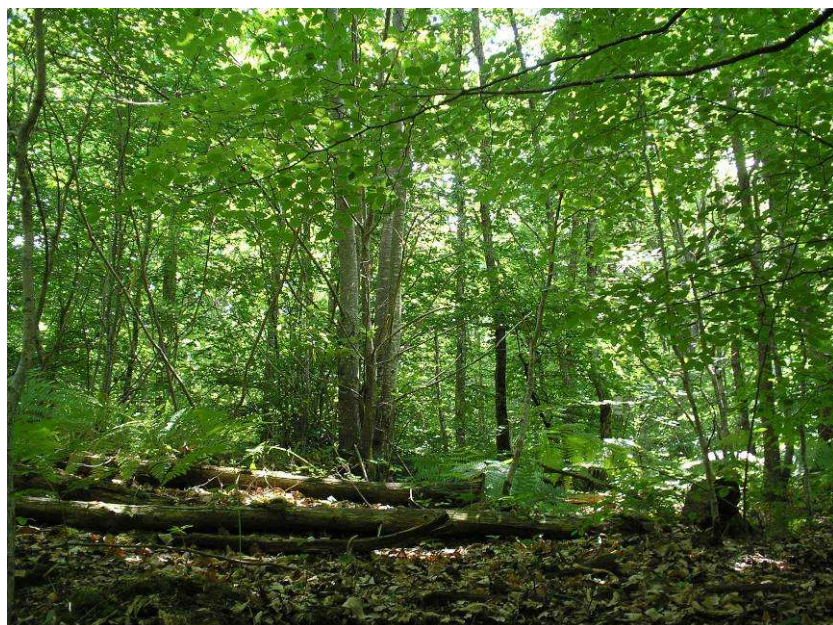


Figure 12 : Exemple d'une hêtraie topoclimatique en forêt d'Amboise en Gâtine Sud Tourangelle

Après une entrée sur la reconnaissance des deux grandes aires, il faut penser à une clé de rattrapage dans l'aire de la chênaie sessiliflore pour ces peuplements de hêtre des topoclimats frais.

Il restera le biais de sylvofaciès de chênaie sessiliflore dans ces topoclimats frais. Dans tous les guides, il existe une certaine erreur, il faut alors définir sa marge, dans quel sens elle va et les risques éventuels encourus.

Il vaut mieux classer une zone potentiellement en hêtraie en zone de chênaie. La prise de risques, notamment par rapport au choix des essences, est moins importante que l'inverse. En effet, classer en hêtraie une chênaie fait courir des risques plus importants pour les arbres introduits avec la sécheresse et des essences de climats arrosés comme le douglas, non adaptées.

2. 3. 2. 1. 1. 2. Différencier la chênaie pédonculée ligérienne à fragon des chênaies pédonculées atlantiques et subatlantiques

Dans les régions très arrosées comme le Perche ou le Pays Fort, les stations de fond de vallon n'ont pas posé de problème avec un cortège d'espèces atlantiques comme la jacinthe et l'absence de thermophiles. Dans d'autres secteurs moins arrosés, avec des influences thermophiles comme la Gâtine Sud Tourangelles ou la Brenne, les stations de fond de vallon sont plus difficiles à classer. Cela avait déjà été constaté lors du classement du type de stations (voir paragraphe 2. 2. 2. 2. 4. 2.). Sur ces stations riches (eumull), la primevère élevée, l'ail des ours, la viorne obier et un certain nombre d'espèces du cortège de la chênaie pédonculée subatlantique à primevère élevée sont présentes. Les techniciens les classeraient plutôt en chênaie pédonculée à primevère élevée.

Le cortège floristique entre ces habitats de chênaie pédonculée (à jacinthe, à primevère élevée et à fragon) est assez proche. La présence d'espèces atlantiques comme la jacinthe des bois ou d'espèces thermophiles comme l'iris fétide ou le fragon permettent de faire le diagnostic. Il faut affiner la liste des espèces diagnostiques atlantiques ou thermophiles et les intégrer dans la clé. Sur le terrain, la présence ou l'absence de la jacinthe des bois ou du fragon ne suffisent pas.

L'enjeu est de taille à cause d'une part d'une problématique natura 2000 et d'autre part de la sensibilité au climat.



Figure 13 : Brenne, station de fond de vallon V2, où il y a hésitation entre la chênaie pédonculée ligérienne à fragon et la chênaie pédonculée subatlantique à primevère élevée

Il faut isoler la chênaie pédonculée ligérienne à fragon, car elle a une forte influence thermo-atlantique avec un cortège de thermophiles. De l'ensemble des associations des chênaies pédonculées, elle a le plus faible indice de de Martonne annuel (35). Cette association n'aura pas la même productivité et le risque sécheresse inspire à la précaution par rapport à certaines essences objectives comme l'érable sycomore.

Faut-il considérer que, si la station de fond de vallon riche est adjacente à la chênaie sessiliflore à fragon ou à alisier torminal, on est dans la chênaie pédonculée ligérienne à fragon en l'absence d'espèces atlantiques ?

Dans ce cas-là, il faut appliquer l'entrée par bioclimat aux stations de fonds de vallons ou de vallées. La zone climatique du hêtre correspondra à la chênaie pédonculée atlantique à jacinthe des bois, aux chênaies pédonculées subatlantiques à stellaire holostée ou à primevère élevée. La zone climatique du chêne correspondra, quant à elle, à la chênaie pédonculée ligérienne à fragon.

Des clés de rattrapage devront être prévues pour d'éventuels cas particuliers dans les stations de fond de vallon en zone de chênaie. En absence d'espèces thermophiles et avec une prédominance d'espèces atlantiques, on sera dans la chênaie pédonculée atlantique à jacinthe des bois.

2. 3. 2. 1. 3. Quels indicateurs pour la limite trophique entre les chênaies sessiliflores à fragon et à alisier torminal ou les hêtraies à houx et à jacinthe

Les cas problématiques sont similaires à ceux rencontrés lors de la lecture des catalogues (paragraphe 2. 2. 2. 2. 4. 1.). Ces stations sont, dans la plupart des cas, des anciennes terres agricoles. L'humus est enrichi (parfois des mésomulls) suite aux anciennes pratiques agricoles, qui ont favorisé l'activité biologique qui se maintient. On peut avoir ainsi parfois des mésomulls, alors que le fond de flore est appauvri avec des acidiclinales à large amplitude.



Figure 14 : Boischaut Nord : station L23 à mésomull décrite par l'auteur comme chênaie sessiliflore acidiphile mésophile à large amplitude issue d'une phase pionnière, classée en chênaie acidiphile à alisier torminal

Les autres cas difficiles sont des stations avec des peuplements fermés très ombrageants. La flore est alors très appauvrie.

Des neutroclines disséminées comme l'anémone des bois peuvent être des espèces discriminantes de même que des acidiphiles comme le millepertuis élégant. Il faut donc bien prospecter la zone d'arrêt ou regarder la flore des trouées ou des ourlets, pour trouver ces espèces indicatrices. Il serait préférable de mieux définir les groupes écologiques afin de distinguer des espèces à très large amplitude non indicatrices et des espèces indicatrices. Un des derniers recours est la dynamique et la vigueur du charme (taillis et régénération) s'il est présent, mais c'est un critère assez technique.

Flore \ Humus	Hémimoder ou Oligomull	
	Charme vigoureux	Charme non vigoureux
Acidiclinales à large amplitude	Chênaie sessiliflore à fragon	Chênaie acidiphile à alisier torminal

Tableau 6 : Éléments pour l'amélioration de la clé pour les stations intermédiaires au niveau trophique entre l'acide et l'assez acide (valide également pour la hêtraie atlantique à houx et la hêtraie à jacinthe)

2. 3. 2. 1. 4. Un outil valide pour quel type de peuplement et à quelle période ?

L'outil a été testé dans les sylvofaciès résineux matures. La clé donne des résultats satisfaisants. Les seules difficultés rencontrées sont les stations intermédiaires au niveau trophique entre deux habitats. Dans ce cas-là, on peut utiliser les éléments présentés dans le paragraphe précédent pour améliorer la clé.

Il a également été testé dans les sylvofaciès à robinier. Cette essence occupe d'assez grandes surfaces dans l'Orléanais et en Sologne sur les sols sableux sains anciennement agricoles. Elle modifie la richesse chimique avec l'azote. Des espèces comme le groseillier, la houlque molle ou la stellaire holostée, que l'on trouve généralement sur des milieux frais assez riches, l'accompagnent. Ces stations sont classées en chênaie sessiliflore à fragon en fonction de leur niveau trophique, même si le climax stationnel sur ces sols sableux serait la chênaie sessiliflore ligérienne à alisier torminal. Ces peuplements sont quand même bien à part. Il est choquant de les regrouper avec la chênaie sessiliflore à fragon car sur ces sols sableux à faible réserve utile, le charme ne serait pas dynamique.

Il est évident que la clé n'est pas applicable aux zones récemment régénérées et aux jeunes sylvofaciès résineux. La clé ne s'appliquera également pas aux zones populicoles régulièrement entretenues. À la limite, elle est applicable dans les zones populicoles non entretenues avec un accru ligneux. Le guide est destiné aux zones matures pour le choix des essences à renouveler et le type de régénération à mener ou pour le reboisement. Il est également destiné aux surfaces en amélioration pour le dosage des essences et les grandes contraintes sylvicoles. La clé est à utiliser avant ces opérations et non après, quand le milieu a été fortement perturbé et la flore modifiée.

Une question fondamentale est de savoir si cette clé de reconnaissance des habitats est utilisable en hiver. Pour un grand nombre d'habitats, des critères pédologiques et topographiques peuvent prendre le relais des données floristiques. Le problème de reconnaissance des habitats en hiver se posera plus pour les chênaies pédonculées de fond de vallon. Comment différencier une chênaie pédonculée à jacinthe d'une chênaie pédonculée ligérienne à fragon en période hivernale avec des géophytes caractéristiques comme la jacinthe des bois ?

2. 3. 2. 2. Solutions aux critiques formulées par les techniciens du CRPF

2. 3. 2. 2. 1. Une approche par grandes formations

Les techniciens ont peur qu'une entrée sur les habitats rebute les propriétaires forestiers avec en toile de fond un aspect natura 2000. Précisons que les habitats sont ici utilisés pour définir des unités stationnelles pour le choix des essences et non pour conserver et restaurer ces mêmes habitats.

Ce n'est pas parce que l'on est dans la hêtraie-chênaie atlantique à houx que l'on devra favoriser le hêtre et retrouver la physionomie typique de cet habitat. Il faudra garder la clé des habitats tout en conservant l'esprit de formations végétales spécifiques de conditions écologiques données. Il ne faudra pas insister en premier lieu sur les habitats dans le sens de natura 2000 d'autant plus que l'on risque de regrouper au final des habitats aux contraintes similaires.

2. 3. 2. 2. 2. Plus de vulgarisation

La première partie de la clé des habitats a paru trop complexe notamment pour des propriétaires forestiers. En effet, le système de questions réponses fait référence à la dynamique des peuplements et à la notion de « climax stationnel ». Ces notions ne sont pas simples, même pour un propriétaire et un gestionnaire formés. Il est préférable de commencer par une entrée directe, qui se base sur les positions topographiques et sur les aires climatiques de la chênaie ou de la hêtraie.

De même, certaines formulations doivent être retravaillées dans les clés. Prenons le cas de la clé 6 pour les chênaies sessiliflores ou tauzins : la formulation « flore acidiline à calcicole » n'est pas parue assez claire. Il vaut mieux citer l'ensemble des groupes écologiques possibles et représentatifs plutôt que cette formulation sur un gradient.

Certains commentaires sur les peuplements en place devront être également modifiés pour les habitats. Par exemple, la clé de la chênaie sessiliflore ligérienne à fragon évoque des « forêts dominées par le chêne sessile plus ou moins mêlé de chêne pédonculé (normalement minoritaire) », alors que les cas de peuplements essentiellement constitués de chênes pédonculés ne sont pas si rares.

Il faudra bien représenter la topographie sur un schéma explicatif, illustrer les banquettes alluviales basses et hautes pour faciliter l'utilisation de la clé.

2. 3. 2. 2. 3. Préciser la composition floristique des habitats et les groupes écologiques

Il a été regretté que le cortège floristique des habitats au niveau régional ne soit pas mieux défini. Il faudra préciser ce cortège.

Il ne faut pas le confondre avec les groupes écologiques. Le premier est l'ensemble des fleurs caractéristiques de l'habitat. Les seconds représentent l'ensemble des espèces végétales présentant approximativement la même amplitude par rapport à un ou plusieurs facteurs écologiques sur une région donnée.

Un habitat peut être aussi caractérisé par les groupes écologiques. C. Gauberville a défini les groupes écologiques importants au niveau régional pour le diagnostic des habitats (cf. annexe 5). Malheureusement, ceux utilisés dans la clé ne sont pas assez étayés pour un diagnostic efficace des stations intermédiaires au niveau trophique ou avec une flore très appauvrie (paragraphes 2. 3. 2. 1. 3 ou 2. 2. 2. 2. 4. 1.). Il serait risqué de reprendre les cortèges des habitats définis au niveau national, de même pour les groupes écologiques.

Certains techniciens ne sont pas d'accord avec le classement de certaines espèces comme la mélitte à feuilles de mélisse dans certains groupes écologiques. Il faudra réviser la composition de ces groupes écologiques au niveau régional et la compléter.

2. 3. 2. 2. 4. Intégrer les cas marginaux dans la clé ou les ignorer ?

Lors de tournées sur le terrain, des cas marginaux non pris en compte par la clé ont été identifiés.

Un cas de fond de vallon sec étroit avec une très forte pierrosité a été rencontré. Il a été classé en hêtraie à houx étant dans l'aire de la hêtraie sur des formations très acides. Faut-il créer une clé de rattrapage spécifique pour les formations en fond de vallon ?

Dans l'aire de la hêtraie, des stations sur versant exposé sud, pauvres chimiquement avec une très forte pierrosité, couvertes par des peuplements de chênes sessiles chétifs ont été classées en chênaie sessiliflore ligérienne à alisier torminal. Ces stations sont des chênaies sessiliflores « topoclimatiques ». Cette situation de versant avec une exposition plein sud est courante dans l'aire de la hêtraie (Pays Fort ou perche), on devra créer une clé de rattrapage pour cette situation.

2. 4. Conclusion sur l'utilisation des habitats comme base pour les futures unités stationnelles

Les habitats sont un premier lien efficace pour regrouper des stations similaires, en prenant en compte les grandes variations trophiques ou climatiques. Mais ils ne suffisent pas pour former les futures unités stationnelles car cet outil des habitats est à la fois trop et pas assez précis. Il ne l'est pas assez dans le cas de stations à large amplitude comme la chênaie sessiliflore ligérienne à alisier torminal, où il faudra définir des variantes. Il est trop précis dans le cas des chênaies pédonculées de fond de vallon avec les chênaies pédonculées atlantiques et les chênaies pédonculées subatlantiques. Il faudra alors songer à des regroupements.

La clé des habitats est assez simple avec de grandes entrées comme la topographie et le niveau trophique indiqué par les humus. La flore est utilisée en dernier recours même s'il faudra apporter un certain nombre de modifications à la première version. Il reste ainsi à définir de façon plus précise la composition floristique des habitats.

Avec cette entrée habitat, l'outil ne sera pas utilisable sur les milieux fortement perturbés récemment régénérés ou plantés. Il reste des questions sur son application dans certains sylvofaciès comme ceux à robinier ou sur les stations issues d'anciennes terres agricoles. Les tests sur le terrain nous apporteront une réponse plus précise.

La question de la zone de validité du guide se pose toujours. L'existence de variantes des habitats nous pousse à la prudence pour l'utilisation de l'outil sur les territoires non couverts par les catalogues de station.

Nous allons détailler dans la partie suivante la méthode de définition des variantes des habitats.

3. Construction des variantes des habitats et constitution d'une base de données écologiques homogène

3. 1. Quelles sources de données pour constituer les variantes des habitats ?

3. 1. 1. Jeu initial de données

Précisons ici qu'au début du stage, nous ne disposions d'aucune donnée informatisée sur les stations. Seuls les catalogues de station étaient disponibles avec les fiches synthétiques et les exemples types des stations. Les données ont été initialement rentrées à la main.

Des variables présentées dans les chapitres suivants, comme les variables climatiques, n'ont pas été intégrées initialement. Ces données climatiques, floristiques et pédologiques ont été récupérées pour une partie des catalogues grâce à la banque de données phytoécologiques ECOPLANT développée par le LERFOB (J.-C. Gegout et *al.* 2002).

Cette banque de données a centralisé l'ensemble des exemples types des catalogues des stations forestières, avec les relevés floristiques et les relevés pédologiques, qu'ils ont croisés avec les données climatiques du modèle Aurhely (1961-1990).

N'ayant reçu ces données qu'au mois de Juin et ayant encore deux catalogues (Boischaut Sud et Champagne Berrichonne, Boischaut Nord et gâtine sud Tourangelle) à y intégrer, je n'ai pas eu le temps, dans le cadre de mon stage de constituer de façon définitive la base de données. Pour les mêmes raisons, les traitements floristiques n'ont pas encore été effectués.

De même, un certain nombre de variables utilisées lors des premières analyses qui ont servi à la définition des variantes des habitats ont été modifiées par la suite. Les analyses statistiques, présentées en fin de partie, ont été réalisées avec ces variables et doivent être prises avec précaution.

Le chapitre présente les méthodes utilisées dans le cadre du stage et celles que l'on aurait pu mettre en place avec les données floristiques. Les prochains paragraphes précisent les variables définitivement retenues pour constituer une base de données, pour l'ensemble des stations de la région Centre.

3. 1. 2. Faut-il se fonder sur les fiches synthétiques ou sur les exemples types ?

Avec le jeu initial de données des fiches synthétiques et des exemples types de l'ensemble des catalogues, plusieurs choix se proposent à nous pour remplir la base de données. Elle peut être remplie uniquement à partir des fiches synthétiques. Mais ces dernières sont plus ou moins bien renseignées en fonction des catalogues. Certaines fiches synthétiques sont très précises au niveau de la composition floristique mais moins au niveau de la description d'un profil type du sol. C'est le cas du catalogue de la Sologne ou du Boischaut Nord Gâtine Sud Tourangelle. D'autres catalogues, comme celui du Perche, sont très précis avec même la description d'un profil de sol type. De plus, les types de stations constitués à partir d'un ensemble de relevés ont une certaine variabilité. Il faudrait caractériser leurs valeurs par des fourchettes ou par classes. Sinon, il est possible de moyenniser ces données au risque de perdre en précision. Dans un premier temps, les fiches synthétiques n'ont pas semblé adaptées pour constituer la base de données.

Il vaut mieux utiliser les exemples types, même si ces derniers ne sont pas forcément dans la moyenne des types de stations. Il faut alors utiliser tous les exemples types d'un type de station et de ses sous-types. Quelques stations n'en n'avaient pas et n'ont pas été intégrées à l'analyse. Même si un exemple type ne représente pas un type de station dans toute sa variabilité, l'ensemble représentera un échantillon suffisamment large pour décrire les variantes des habitats.

Les fiches synthétiques serviront pour valider la clé des variantes des habitats et voir s'il n'y a pas eu d'oubli en utilisant uniquement les exemples types. Simultanément, la correspondance entre les stations et les variantes des habitats pourra être faite.

3. 2. Méthodes pour définir les variantes des habitats

Il existe différentes méthodes qui dépendent du jeu initial de données et de la fréquence de l'habitat. Pour les habitats avec moins de 50 stations, une approche "à dire d'expert" a été choisie tandis que pour les autres, une approche statistique avec des analyses multivariées a été préférée. Ces analyses statistiques sont couplées à l'expertise des techniciens.

Les deux premières méthodes présentées se sont uniquement appuyées sur les données topographiques et pédologiques des stations. Elles cherchent à isoler ces variantes et à caractériser leur contrainte pour la production forestière.

3. 2. 1. Méthode pour les habitats avec peu de stations

Pour les associations avec peu d'exemples types, les variantes sont définies en regroupant les stations similaires à partir des variables qui semblent les plus pertinentes. Cette pertinence est déterminée après analyse et synthèse de la base de données sur les stations. La synthèse permet de donner une note sur les quatre grandes contraintes que sont la réserve en eau du sol, l'engorgement, la richesse chimique et la sensibilité au tassement par station. Le regroupement se fait à partir de cette note de synthèse sur les contraintes de la station. La variabilité de la variante formée et sa pertinence sont ensuite regardées. On isole en même temps les variables diagnostiques de la variante, qui seront intégrées dans la clé de reconnaissance. Les fiches descriptives des habitats (J-C Rameau, J.-C. Gegout, B. Renaux, 2008) aident également à isoler les variables structurantes pour la définition des variantes.

3. 2. 2. Méthode pour les habitats avec de nombreuses stations

Une analyse multivariée (ACP ou ACM) est pratiquée sur les variables sélectionnées des associations ayant beaucoup d'exemples types. Les axes issus de cette analyse sont interprétés avec les variables structurantes du nuage de points. Cette méthode indique celles qui ont le plus de poids au niveau de l'habitat. Après cette analyse, les stations similaires sont regroupées à partir de leurs coordonnées factorielles sur les trois premiers axes grâce à une classification hiérarchique ascendante (CAH). La pertinence écologique de ces groupes issus de la statistique est regardée. Ainsi les différentes variantes de l'habitat sont construites tout en définissant les seuils les plus pertinents pour les différencier. Il ne reste plus qu'à élaborer la clé de reconnaissance de ces variantes.

3. 2. 3. Pourquoi ne pas avoir utilisé la flore pour la définition des variantes ?

Les deux méthodes précédentes permettent de grouper les stations similaires d'un point de vue pédologique. G. Duménil a déploré que les données floristiques ne soient pas utilisées pour la constitution de ces variantes. Les analyses sur les descriptions du sol sont plus complexes et plus difficiles à interpréter.

Les variables pédologiques ont été préférées sachant qu'initialement on disposait uniquement des catalogues de stations avec les fiches synthétiques et exemples types. Ces dernières n'étant pas informatisées, les données pédologiques ont été initialement rentrées à la main. Il n'était envisageable de faire le même travail pour la flore. Ce choix a paru cohérent car il a semblé plus facile de distinguer les différentes variantes avec une clé pédologique. Cette dernière a l'avantage d'être utilisable toute l'année au contraire d'une clé intégrant la flore. De plus, les critères pédologiques semblaient plus abordables pour la description de la contrainte. Ainsi, la flore n'est pas le meilleur indicateur pour identifier la réserve en eau du sol. La réserve en eau du peuplement sera plus marquée par l'aspect du peuplement et la hauteur de la strate arborescente. De même, la flore est-elle un bon marqueur d'un engorgement en profondeur ?

Une méthode plus classique pour les habitats avec un grand nombre de stations aurait été de faire une analyse factorielle des correspondances (AFC) à partir de l'ensemble des relevés floristiques des exemples types et de la croiser avec les variables pédologiques, pour l'interprétation des axes. Les futures variantes seraient constituées avec une classification hiérarchique ascendante sur les coordonnées factorielles des relevés. Les groupes formés avec cette méthode auraient l'avantage de correspondre aux vraies variantes floristiques de l'habitat. On pourrait vérifier leur pertinence pour les différentes contraintes et les affiner en les croisant avec les données pédologiques.

3. 2. 4. Comment tenir compte de la flore sans l'avoir intégrée lors des premières analyses ?

La problématique est d'isoler des espèces diagnostiques des variantes, valides sur l'ensemble de la région, qui complèteront une entrée des variantes des habitats par la topographie et la pédologie et faciles à identifier par les utilisateurs.

3. 2. 4. 1. Déterminer la composition floristique des variantes

Une première solution permet de garder cette méthode de définition des variantes des habitats à partir des relevés de sol et de la confirmer avec la flore.

La composition floristique par variante peut être définie avec la fréquence des espèces qui est donnée par :

$F = np / N_p$ où np est l'occurrence de l'espèce dans la variante de l'habitat et N_p , le nombre de relevés dans la variante de cet habitat.

La composition floristique des habitats peut également être caractérisée avec l'indice de fidélité. Ce dernier (If), défini par M. Chytry (2002) permet un classement des plantes selon leur spécificité à un habitat. Il peut être repris ici pour caractériser les variantes des habitats. Il se définit comme suit :

$$If = \frac{N \cdot n_p - n \cdot N_p}{\sqrt{n \cdot N_p \cdot (N - n) \cdot (N - N_p)}}$$

Avec :

N = nombre de relevés dans le jeu de données ;

N_p = nombre de relevés dans une variante d'un habitat ;

n = occurrence de l'espèce dans le jeu de données ;

np = occurrence de l'espèce dans une variante de l'habitat.

La valeur If peut varier de - 10 à 10. Celles qui sont positives indiquent que l'espèce et l'unité de végétation se rencontrent plus souvent que par simple hasard.

Le nombre d'occurrence de l'espèce dans une variante de l'habitat particulier np n'intervient qu'au numérateur. Si cette espèce est peu présente, la valeur If sera faible. De même, plus une espèce est caractéristique d'une variante d'un habitat et plus son If est fort.

Pour une espèce très répandue, l' If sera faible : le nombre occurrence de l'espèce dans le jeu de données n intervient de manière négative au numérateur et comme coefficient multiplicateur au dénominateur.

Ces deux indices peuvent également être repris, si l'on veut mieux décrire la composition floristique des habitats en région Centre. Ils permettront de comparer la composition floristique des variantes des habitats selon la grande contrainte et son niveau. On pourra ainsi comparer si la composition floristique est la même entre une variante très engorgée de la chênaie sessiliflore ligérienne à alisier torminal et une variante peu engorgée. De même, on pourra montrer si la réserve en eau influe sur la composition floristique.

Le nombre de variantes risquant d'être élevé pour des habitats comme la chênaie sessiliflore ligérienne à alisier torminal, le travail serait alors trop fastidieux s'il fallait croiser les différentes contraintes que sont l'engorgement et la richesse chimique.

On pourra garder cette méthode pour les habitats avec peu de stations. Elle a l'avantage d'isoler la flore caractéristique des habitats et de ses variantes.

3. 2. 4. 2. Confronter l'analyse floristique aux variantes formées avec la pédologie

Une confrontation entre les variantes issues de l'analyse des relevés de sol et celles formées à partir de l'analyse des relevés floristiques pointerait les faiblesses et les forces de chacune des méthodes.

Il faudrait projeter les variantes définies avec la pédologie dans les plans factoriels issus de l'AFC des relevés floristiques. Elle permettrait de voir rapidement les contraintes pédologiques non prises en compte par la flore.

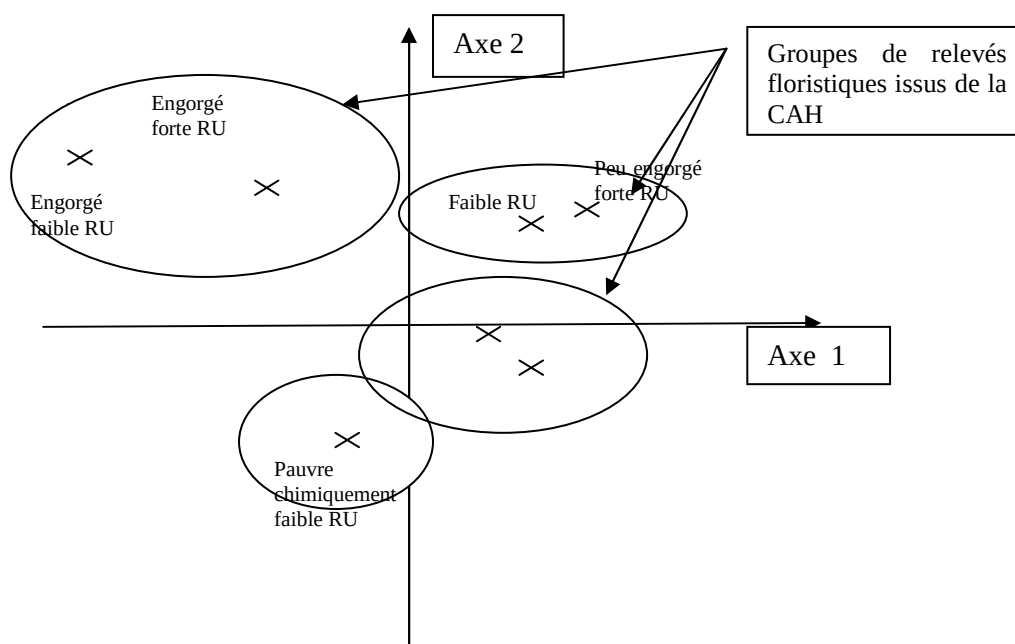


Figure 15 : Représentation des variantes pédologiques associées aux relevés floristiques projetés dans le plan factoriel 1-2 de l'AFC sur les relevés floristiques.

Cela pointerait également les limites de certaines variantes pédologiques avec une mauvaise prise en compte de la contrainte. On peut penser aux sols en pente avec une hydromorphie marquée que l'on notera comme engorgés alors que le drainage latéral tamponne cette contrainte qui n'est plus alors traduite par la flore. Cette méthode plus rapide sera plus adaptée aux habitats avec un grand nombre de stations.

3. 2. 4. 3. Définir les groupes écologiques à partir de l'ensemble des relevés floristiques

Ces méthodes ne suffisent pas à déterminer les groupes écologiques, du moins elles n'en donnent qu'une idée grossière. En travaillant habitat par habitat, on oublie que la flore a une large amplitude. De plus avec ces deux méthodes, on n'a aucune idée si les espèces diagnostiques qui ressortent sont valides pour l'ensemble de la région.

Il est possible de déterminer ces groupes écologiques à partir de l'ensemble des relevés floristiques des exemples types avec une AFC et une CAH classiques. Il faudra les conforter ensuite en les comparant catalogue par catalogue avec les groupes écologiques établis par cette méthode et à dire d'expert par C. Gauberville. Cette comparaison permettra d'harmoniser la composition et la dénomination des groupes écologiques au niveau régional, l'objectif étant d'avoir des espèces diagnostiques valides sur tout le territoire étudié. En effet, une espèce peut appartenir à des groupes écologiques différents dans deux catalogues, ce qui ne ressort pas dans l'analyse au niveau régional.

Ces groupes écologiques simplifiés pourront être intégrés comme complément à l'analyse sur les variantes pédologiques. On isolera ainsi les espèces diagnostiques susceptibles de compléter les clés de reconnaissance des variantes des habitats.

3. 3. La nécessaire construction d'une base de données écologiques sur les stations décrites en région Centre

Afin de définir les variantes des habitats, on a adopté une méthode analytique. Pour réaliser cette méthode, il faut mettre en place une base de données écologiques sur les stations des différents catalogues de la région Centre.

3. 3. 1. Quelle base de données pour quel objectif ?

Cette base de données doit permettre de regrouper rapidement les stations similaires pour former les variantes des habitats. Elle doit donc comporter les variables les plus pertinentes pour ce regroupement. Ces dernières serviront par la suite à la constitution d'une clé facilement utilisable sur le terrain. Rappelons qu'elles doivent correspondre aux grandes contraintes sylvicoles pour le choix des essences. Les variables retenues doivent permettre de décrire ces contraintes et leur niveau. Ce sont la réserve en eau du sol, l'engorgement et la richesse chimique et la fragilité physique des sols.

On distinguera, par la suite, des variables d'analyse (en gras), qui aideront à la formation des variantes, des variables secondaires qui faciliteront la compréhension des possibles variations des variantes. Ces variables secondaires pourront servir de base pour affiner la définition de variantes si nécessaire.

Les variables d'analyse sont également isolées, car ce sont celles que l'on intégrera aux clés de reconnaissance des variantes. Les variables de synthèse seront une estimation grossière du niveau des différentes contraintes.

3. 3. 2. Les variables à intégrer pour illustrer les différentes contraintes

3. 3. 2. 1. Contrainte de la réserve en eau du sol

3. 3. 2. 1. 1. Réserve utile maximale sur 1 m

La réserve utile maximale est calculée sur 1 m de profondeur au maximum avec les coefficients texturaux de Jamagne quand il n'y a pas de substrat rocheux cohérent. Ce calcul de la réserve utile est imprécis. En effet, le calcul de la réserve utile maximale devrait prendre en compte la profondeur d'enracinement en lien avec la nature du sol et sa prospection. Il est très dur d'estimer la profondeur d'enracinement, car elle est très différente selon les essences qui ont des systèmes racinaires différents. Le hêtre sur des planosols avec argile lourde a un enracinement traçant, tandis que les chênes en ont un pivotant, en cœur capable de prospecter cette argile lourde. Cette capacité d'enracinement dépend de la nature texturale du matériau et de sa structure. Ainsi, la réserve utile sur des argiles sableuses avec une structuration prismatique grossière sera faible, alors qu'un calcul classique de la **RUM sur 1 m** peut donner l'illusion que la réserve en eau est bonne pour le sol précédent. La réserve utile par type de matériaux dépend de la compacité de ces derniers. Les seules estimations précises de la réserve utile maximale sont données par les analyses des mottes d'échantillon du sol au laboratoire.

Au départ, j'ai essayé de calculer la réserve utile maximale en intégrant la profondeur d'enracinement en lien avec la nature du sol. Le problème est que cette variable est trop sujette "au dire d'expert" et que l'erreur est aléatoire. Avec la première méthode, l'erreur est systématique, indépendante de toute estimation sur la capacité d'enracinement. Elle permet de différencier rapidement les sols à faible réserve utile sur un mètre comme les sols sableux ou des sols à bonne réserve utile comme les sols limoneux.

Un calcul de la réserve utile sur un mètre suffit-il pour diagnostiquer les sols avec un fort risque de sécheresse ? Que fait-on des sables épais sur plusieurs mètres d'épaisseur ?

Une étude (L. Bergés et *al.* 2005) a montré que prendre la réserve utile sur plus d'un 1,5 m de profondeur n'améliore pas la prédiction de la production. De plus il faut différencier une réserve utile de survie et une réserve utile de production de bois de qualité. D'après certains auteurs, l'eau contenue dans les horizons profonds ne sert pas à la croissance en hauteur et en diamètre (N. Bréda et *al.* 1996). On ne va pas demander aux futurs utilisateurs du guide simplifié une prospection à plus d'un mètre de profondeur pour diagnostiquer un risque de sécheresse. Le diagnostic doit se faire rapidement ce qui explique pourquoi la prospection à la tarière se fera au maximum sur un mètre de profondeur.

3. 3. 2. 1. 2. La pierrosité

La pierrosité est un élément qui va moduler la réserve utile. Il faut pouvoir la décrire de même que son évolution dans le profil du sol. Au lieu d'intégrer des colonnes sur le degré de pierrosité (pourcentage de volume occupé), il vaut mieux noter les profondeurs où la pierrosité dépasse certains seuils.

On garde ainsi trois variables qui sont :

- **profondeur où la pierrosité dépasse 5 % du volume du sol.**

- **profondeur où la pierrosité dépasse 30 % du volume du sol.**

- **profondeur où la pierrosité dépasse 50 % du volume du sol.**

Le seuil de 30 % a été retenu, car il est apparu comme le pourcentage de pierrosité où la tarière sera bloquée. Ce seuil de blocage de la tarière a été fortement discuté. Pour certains, il est proche de 15 %, pour d'autres de 25 %, pour d'autres encore de 30 %. Il dépend du type de tarière utilisé mais aussi de la nature et de la disposition des éléments grossiers.

La taille et la disposition de ces éléments grossiers module également la réserve utile et la capacité de prospection racinaire. La tarière passera si ce sont de petits graviers meubles au contraire de blocs. Ces deux éléments n'ont pas été intégrés pour la constitution initiale de la base de données car ils ne sont pas toujours renseignés et ils demandent une analyse très fine. On pourra les citer comme source de variabilité au sein des futures unités stationnelles correspondant aux formations rocheuses. On peut citer ainsi les stations sur éboulis calcaires avec un enracinement dans la terre fine entre les blocs.

De même, la nature des éléments grossiers n'a pas encore été intégrée. Ils peuvent parfois être une source supplémentaire d'eau grâce à une porosité très fine comme les gaizes en Argonne. Dans les catalogues de la région Centre, aucune station n'a été isolée avec des éléments grossiers compensant la faible réserve utile grâce à leur porosité.

Les variables précédentes sur la pierrosité ne suffisent pas car cette dernière peut être très variable en profondeur avec notamment des matériaux de remaniement sur pente. La contrainte de pierrosité sera dans ce cas une contrainte physique à l'enracinement et à la réussite des plantations plus qu'une contrainte de sécheresse à long terme. Il faudra noter cette éventuelle variabilité révélée par la qualité et la hauteur dominante du peuplement même si ces deux dernières variables sont à prendre avec précaution, avec l'effet de la sylviculture.

3. 3. 2. 1. 3. Exposition

Certaines expositions jouent un rôle important dans l'économie en eau, avec une évapotranspiration plus ou moins élevée. C'est une variable importante à intégrer dans les régions montagneuses. Dans une région plane comme celle du Centre, les pentes sont trop peu marquées pour l'intégrer en premier lieu dans l'analyse. Elle est cependant importante dans un deuxième temps pour les stations sur versants marqués sur coteaux, stations marginales en région Centre. On ne l'a pas intégré initialement car on a considéré que les habitats illustraient bien l'exposition avec des topoclimats frais (exposés au nord) ou chaud (exposés au sud).

3. 3. 2. 1. 4. Drainage latéral

La topographie intervient dans l'économie en eau des stations, avec le drainage. Ce rôle fait l'objet de recherches actuelles (J.-C.Gégout et *al.* 2008). Plutôt que créer une variable *sensu stricto* sur la topographie, il vaut mieux regrouper plusieurs situations topographiques similaires pour le drainage.

Topographie	Drainage latéral
Haut de pente, versant à pente moyenne à forte (> 15 %)	Drainage latéral important
Versant peu marqué	Drainage latéral
Plateau	Pas de drainage latéral
Fond de vallon, Bas de versant	Arrivée d'eau mais faible drainage le long du fond de vallon
Cuvette, fond de vallon plat, replat en bas de versant	Accumulation d'eau

Tableau 7 : Variables sur la qualité du drainage latéral des eaux

Cette variable intervient autant dans la définition de la contrainte de la sécheresse avec l'approvisionnement en eau que dans celle de l'engorgement avec la stagnation de la nappe perchée temporaire.

3. 3. 2. 1. 5. Données climatiques

Les données climatiques n'ont pas été intégrées au départ, pensant que l'entrée habitat avec l'aire de la hêtraie et de la chênaie suffisait. De plus initialement, nous ne disposions pas de données climatiques précises par station.

Il existe pourtant des variantes géographiques pour la chênaie sessiliflore à alisier torminal avec une influence méridionale plus ou moins forte. On ne peut négliger des différences de précipitations, qui vont pour cet habitat de 580 mm / an (orléanais) à 740 mm / an. Il en est de même pour les différents indices climatiques comme le bilan hydrique climatique lors de la saison de végétation. Il faut intégrer les données climatiques dans la base de données pour décrire au moins sa variabilité.

On ne peut pas définir des variantes « climatiques » des habitats, car leur morcellement en variantes serait alors trop important et on reviendrait à un éclatement du territoire trop important.

Il faudra préciser les régions ayant un risque de sécheresse climatique plus important avec des indices bioclimatiques simples comme le bilan hydrique climatique Turc de la saison de végétation, l'indice de de Martonne annuel et de la saison de végétation, les précipitations moyennes annuelles et la température moyenne annuelle.

3. 3. 2. 2. Contrainte d'engorgement

Les variables sur l'engorgement interviennent également dans la définition de la contrainte de la sécheresse, avec la réserve en eau. En effet, l'engorgement avec une nappe temporaire non réoxygénée entraîne une nécrose racinaire qui limitera la prospection et accentuera la sensibilité à la sécheresse.

La nappe temporaire est due à un horizon moins drainant voire imperméable ou au plancher de la nappe. La nappe permanente, comme une nappe alluviale, avec les variations de son niveau peut être à l'origine d'un engorgement temporaire des horizons de surface (pseudogley) comme d'un engorgement permanent des horizons en profondeur (gley).

On différencie un engorgement d'imbibition et un engorgement lié à une nappe perchée. Le premier est lié aux argiles qui sont les textures les plus fines et donc les moins drainantes, avec une plus grande stagnation de l'eau. Le second concerne majoritairement les textures plus grossières comme les limons ou les sables.

3. 3. 2. 2. 1. Hydromorphie

L'hydromorphie, d'après G. Lévy et Y. Lefèvre (2001), est « la modification visible que la présence d'une nappe acide (non réoxygénée), suivie d'une phase de réoxydation (disparition de la nappe), entraîne dans le sol. Ces modifications portent surtout sur la couleur des horizons minéraux (taches, traînées, bariolage, décoloration) ; elles sont alors liées essentiellement à une ségrégation du fer et secondairement du manganèse ». L'hydromorphie et son intensité sont donc des marqueurs de l'engorgement et de son niveau de contrainte. Afin de la décrire dans le profil d'un sol, trois variables ont été retenues :

- **profondeur où la somme des taches de coloration (taches rouilles, ségrégation du fer) et de décoloration (départ de fer) dépasse 5 % de la matrice**
- **profondeur où la somme des taches de coloration et de décoloration dépasse 40 % de la matrice**
- **profondeur où la somme des taches de coloration et de décoloration dépasse 80 % de la matrice (gleys inclus).**

La description de la contrainte de l'engorgement par l'hydromorphie est rendue compliquée par le fait que cette dernière est plus ou moins marquée en fonction de la nature de la roche mère et de sa teneur en fer. Plus les substrats sont riches avec un pH élevé, plus l'oxydation du fer est difficile. Il faut alors un engorgement important pour qu'elle soit marquée. Elle est peu marquée pour les pélosols issus des marnes alors que l'engorgement y est très important.

Il ne faut pas confondre les traces de décoloration dues à l'engorgement avec celle due au lessivage des argiles et à la lixiviation des éléments minéraux.

L'hydromorphie est marquée différemment entre les sols à texture fine, comme les limons ou argiles, et les sols à texture grossière comme les sables. Pour les premières, elle est formée d'un mélange de taches rouilles et de taches de décoloration accompagnées de concrétions ferro-manganiques. Pour les secondes, avec une circulation plus rapide des eaux, l'hydromorphie est caractérisée par une décoloration des horizons supérieurs avec les taches rouilles à la base, au niveau du plancher de la nappe. Le fer est mieux drainé latéralement et verticalement.

Les taches d'hydromorphie fossiles peuvent être une source d'erreur (engorgement passé qui n'existe plus actuellement) de même que les argiles bariolées issues de marnes.

La flore pourrait permettre de corriger ces différents biais.

3. 3. 2. 2. Horizon à dominante argileuse et plancher de la nappe

Le plancher de la nappe peut être de nature multiple : limoneux compact, un fragipan issu de la glaciation, un horizon sableux compact aliotique, un horizon argileux compact mal structuré.

Le problème est qu'il faut ouvrir une fosse pour déterminer la nature du plancher de la nappe, même si on peut sentir la compacité des matériaux lors du creusement à la tarière. De plus, dans la majorité des cas en région Centre, la nappe temporaire est due à des horizons argileux mal structurés, plus compacts que les horizons sus-jacents. Dans l'Orléanais ou en Sologne, on est sur des sols planosoliques. Sur les plateaux à argiles à silex, on est en présence de sols lessivés avec des horizons Bt d'accumulation. On n'a donc pas intégré en premier lieu la nature du plancher de la nappe.

Une variable également intéressante aurait été la profondeur du plancher de la nappe. Elle montrerait sur quelle épaisseur de sol, la nappe temporaire s'est développée et la contrainte de l'engorgement. Comme les argiles jouent souvent ce rôle de plancher, on a pensé qu'une variable sur la **profondeur d'apparition d'un horizon à dominante argileuse** pouvait remplacer les deux variables précédentes. Cela induit cependant un biais : certains cas marginaux, comme un engorgement du à un fragipan ou un alios, ne sont intégrés par cette variable.

De plus, cette variable permet de caractériser la contrainte sécheresse. En effet, cet horizon à dominante argileuse, en plus de représenter un frein au drainage vertical des eaux, constitue un blocage à l'enracinement de certaines essences comme le châtaignier, au contraire d'autres essences comme le chêne qui, grâce à un enracinement puissant, sont capables de prospector ces argiles.

La capacité des essences à prospector les argiles varie énormément en fonction de la nature de l'argile et de son origine géologique. Les argiles sableuses de l'Orléanais sont très mal structurées avec un débit prismatique grossier et même des essences comme les chênes peinent à s'installer. Dans le Boischaut Nord, les argiles glauconieuses cénomaniennes riches et bien structurées s'opposent aux argiles blanches à silex du séno-turonien mal structurées et pauvres chimiquement.

On pourrait lister la nature des argiles mais on n'est plus alors dans la synthèse. On risquerait d'alourdir le futur guide simplifié avec une entrée par formations. De plus, les habitats incorporent ces formations. Ainsi dans l'exemple précédent, les argiles glauconieuses sont couvertes généralement par la chênaie sessiliflore à fragon et les argiles blanches à silex par la chênaie sessiliflore ligérienne à alisier torminal. On peut intégrer la nature des argiles, mais uniquement en tant que variable secondaire, pas en tant que variable d'analyse. Il est évident que la nature des argiles n'est pas une variable sur laquelle on se basera pour construire la clé de reconnaissance des variantes. Les utilisateurs n'auront pas les connaissances suffisantes en géologie.

Une variable plus simple, jouant sur la capacité d'enracinement et la formation de nappes temporaires comme la structuration des argiles, pourrait être intégrée. Mais elle n'est pas renseignée par l'ensemble des catalogues. De plus, pour juger la structuration des argiles sur le terrain, la tarière ne suffisait pas, une fosse serait nécessaire. Cette variable ne servira donc pas à l'analyse.

On a jugé que l'engorgement marqué par l'hydromorphie était un moyen de voir la structuration de ces argiles. Très poussé, il serait marqueur d'une faible structuration et faible prospection des argiles.

On a tout de même intégré la variable de la **nature texturale du premier horizon à dominante argileuse**. Elle inclut la problématique de la réserve en eau du sol et celle de l'engorgement. Ainsi en moyenne, les argiles sableuses sont moins bien structurées.

3. 3. 2. 3. Propriétés physiques du sol

Les variables suivantes servent à définir la fragilité physique du sol avec la sensibilité au tassement, mais interviennent également pour définir la contrainte de l'engorgement et de la réserve en eau.

3. 3. 2. 3. 1. Texture des premiers horizons

La **nature texturale des premiers horizons** est notée. Elle rentre dans la description d'une contrainte sécheresse avec des coefficients texturaux plus faibles pour les sables. L'engorgement est plus ou moins contraignant en fonction de la texture des horizons de surface.

Dans les formations à textures plus fines (limons ou argiles), les nécroses racinaires dues à la stagnation de l'eau, avec une faible réoxygénation, sont plus importantes que dans les formations sableuses. En séparant les différentes textures, on intègre la problématique de la sensibilité au tassement mais aussi de la prospectabilité par les racines.

L'épaisseur de ces premiers horizons de même nature texturale est notée. Elle permet une analyse rapide de la réserve en eau du sol et de la sensibilité au tassement.

Certaines essences ne supportent pas les discontinuités texturales. Cette variable montre l'homogénéité des horizons de surface et un enracinement non contraint. En effet, sur des sols limoneux sains non engorgés, le châtaignier développera bien son système racinaire.

Cette variable ne suffit pas. En effet, les premiers horizons peuvent être limoneux mais tassés en profondeur ce qui est un frein pour la prospection racinaire.

Cette compacité sera marquée par l'engorgement caractérisé par l'hydromorphie. Il n'est donc pas utile de rajouter une variable sur la structuration de ces horizons dans l'analyse.

3. 3. 2. 3. 2 Profondeur d'un horizon Bt ou d'un enrichissement en argile

Les discontinuités texturales entre les horizons à texture grossière (sable) et les horizons à texture fine (argile) sont une contrainte physique à l'enracinement. La transition entre les sables ou les limons avec les argiles est importante pour une adaptation du système racinaire, notamment pour la réussite des plantations. Cette donnée peut être indiquée par la profondeur d'apparition d'un horizon Bt pour les sols lessivés. Mais cette variable n'est pas renseignée dans tous les catalogues.

La **profondeur d'apparition d'un horizon enrichi en argile** en complément de la profondeur d'apparition d'un horizon à dominante argileuse permet de voir la vitesse de transition entre les horizons à texture grossière et les horizons à texture fine. Cette variable est un bon indicateur de la réserve en eau du sol, si elle est complétée par la **nature texturale du premier horizon enrichi en argile** (SA, LA, A, Alo, AL, AS).

3. 3. 2. 4. Richesse chimique

Les habitats comme la chênaie sessiliflore ligérienne à alisier torminal ont une large amplitude trophique. Il faut déterminer des variantes de ce niveau trophique. Les données physico-chimiques du sol telles que le PH, le S/T et la CEC, pourraient être intégrées. Ces variables sont traduites par la flore, les habitats et le type d'humus et ne seront jamais relevés lors de l'utilisation du guide simplifié. Elles n'ont donc pas été intégrées à l'analyse.

3. 3. 2. 4. 1. Humus

Le type d'humus est un indicateur de la richesse chimique. Il est fiable dans ses formes extrêmes que sont le dysmoder ou l'eumull. Mais comme cela a été montré dans la partie précédente sur les habitats, il n'est pas toujours fiable dans ses formes intermédiaires, notamment sur les anciennes terres agricoles. On le conserve tout de même ici comme variable d'analyse. Il permettra par exemple pour la chênaie sessiliflore ligérienne à alisier torminal d'isoler les stations avec des humus enrichis (oligomull, hémimoder voir mésomull) qui ne traduisent pas la réelle richesse chimique de la station.

3. 3. 2. 4. 2. Profondeur d'apparition de l'effervescence

La profondeur d'apparition de l'effervescence est un bon indicateur de la contrainte de la présence de carbonates dans le sol. C'est une variable importante à intégrer notamment pour les espèces calcifuges comme le châtaignier ou le pin maritime.

3. 3. 2. 5. Variables supplémentaires

3. 3. 2. 5. 1. Nature de la roche mère

Il est important de préciser la nature de la roche mère, si elle est indiquée dans l'exemple type. Dans la base de données ECOPLANT (J.-C. Gégout et *al.* 2002), elle est définie comme :

« une roche mère *sensu stricto*, meuble ou cohérente, recouverte ou non d'une altérite d'épaisseur variable (ex : calcaire dans le cas d'un calcisol) » ou « un substrat recouvert d'une formation superficielle de moins de 1,2 m d'épaisseur » ou une « formation superficielle épaisse ».

Elle sera intégrée comme variable secondaire d'interprétation. Par exemple, les auteurs des catalogues différencient les stations sur calcaire dur et celles sur calcaire tendre (catalogue du Boischaut Nord) par rapport à la réserve en eau (plus élevée pour les secondes formations). Cette variable aidera à comprendre la variabilité en terme de potentialité des stations sur calcaire avec une faible réserve en eau. De même, on différenciera les blocs calcaires d'éboulis des grèzes. Cette variable intégrera également la nature géologique des argiles citée précédemment.

3. 3. 2. 5. 2. « Fertilité » de la station

La qualité du peuplement, avec sa hauteur dominante, est un indicateur de dernier recours pour une réflexion sur les potentialités stationnelles. Cette variable est à prendre avec précaution. Elle dépend du traitement, futaie ou taillis sous futaie, et de la qualité de la sylviculture. Elle servira à tester la cohérence des variantes formées. Si la « fertilité » est très variable au sein de la variante, il faudra expliquer pourquoi et voir si un nouveau découpage n'est pas nécessaire. La fiche synthétique dans le catalogue nous aidera à caractériser la fertilité. Cette variable est une note subjective sur la potentialité de la station à partir des commentaires de l'auteur sur les peuplements. Ce n'est pas l'indice de fertilité classique avec la hauteur dominante moyenne du peuplement à 100 ans, qui n'est pas indiqué au niveau des exemples types.

3. 3. 2. 5. 3. Faut-il intégrer les groupes écologiques ?

Il a été précédemment vu que la flore pouvait être un bon complément pour diagnostiquer la contrainte de l'engorgement et celle de la richesse chimique. Elle pourrait être intégrée avec les groupes écologiques représentatifs de chaque station définis pour chaque catalogue. Avant cela, il faudra harmoniser les groupes écologiques comme cela a été montré dans le chapitre 3. 2. 4. 3. Le nombre d'espèces d'une station dans les différents groupes écologiques simplifiés sera une variable secondaire d'interprétation. Elle complétera les variables de présence/absence des espèces issus des relevés floristiques gardées afin de mettre en place les méthodes présentées dans le chapitre 3. 2. 4.

3. 3. 2. 5. 4. Surface occupée par le type de station

Dans les objectifs de stage, il a été demandé une estimation grossière de la surface des variantes des habitats afin de définir les surfaces des zones à risque en région Centre dans le cadre du changement climatique. Les fiches synthétiques donnent une indication sur la rareté des stations et sur les surfaces occupées. Ces estimations grossières de surface seront utilisées pour définir la fréquence des variantes des habitats.

3. 3. 2. 6. Variables de synthèse

Ces variables correspondent, pour la méthode "à dire d'expert", à une note sur les trois contraintes que sont la réserve en eau du sol, l'engorgement et la richesse chimique. Elles permettent un tri plus rapide. Ces contraintes sont estimées à partir des variables d'analyse présentées ci dessous. Par exemple, la contrainte de la sécheresse est prise en compte avec le drainage latéral, la pierrosité et la réserve utile et la nature des premiers horizons.

3. 3. 3. Structure de la base de données

Contrainte variable d'analyse	Réserve utile maximale sur 1m	Drainage latéral	Profondeur où la pierrosité > 10 % du volume	Profondeur où la pierrosité > 30 % du volume	Profondeur où la pierrosité > 50 % du volume	Profondeur où l'hydromorphie > 5% de la matrice	Profondeur où l'hydromorphie > 40% de la matrice	Profondeur où l'hydromorphie > 80% de la matrice	Profondeur d'apparition d'un horizon à dominante argileuse	Nature texturale de ces argiles	Profondeur d'apparition d'un horizon enrichi en argile	Nature texturale de cet horizon enrichi en argile	Epaisseur des premiers horizons de même nature texturale	Nature texturale de ces premiers horizons	Profondeur d'apparition de l'effervescence	Types d'humus
Contrainte de la réserve en eau	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1		
Contrainte de l'engorgement		1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1		1		
Richesse chimique															1	1
Fragilité physique des sols			0	0	0	0	0	0			0		1	1		

Tableau 8 : Variables conservées pour l'analyse statistique et pour l'analyse à dire d'expert

. 1 : La variable est un indicateur de la contrainte

. 0 : La variable est un indicateur de la contrainte de second plan

Contrainte variable d'interprétation	Exposition	Altitude	Température moyenne annuelle	Précipitation moyenne annuelle	Bilan hydrique climatique Turc de la saison de végétation (Mai à Septembre)	Indice de Martonne de la saison de végétation (Mai à Septembre)	Indice de Martonne annuel	Nature de la roche mère	"Fertilité" du peuplement	Taille des éléments grossiers	Nature des éléments grossiers	Espèces du relevé floristique	Nombre d'espèces par groupe écologique	Surface occupée par la station
Contrainte de la réserve en eau	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	
Contrainte de l'engorgement	0		0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	
Richesse chimique	0							1	1		1	1	1	
Fragilité physique des sols					0	0	0	0		0				

Tableau 9 : Variables secondaires d'interprétation

. 1 : La variable est un indicateur de la contrainte

. 0 : La variable est un indicateur de la contrainte de second plan

Niveau de la contrainte de la réserve en eau	Niveau de la contrainte d'engorgement	Niveau de la contrainte de la richesse chimique	Groupe issu de la classification hiérarchique ascendante	Variante de l'habitat
--	---------------------------------------	---	--	-----------------------

Tableau 10 : Variable de synthèse

3. 4. Un codage des variables nécessaire

Le codage des variables est présenté en annexe 6.

3. 4. 1. Un mélange de données qualitatives et de données quantitatives

Dans les variables d'analyse, on a à la fois des données quantitatives comme la réserve utile maximale sur un mètre de profondeur et des variables qualitatives comme sur le drainage latéral des eaux. Il n'est donc pas possible de pratiquer une analyse en composantes principales, qui ne s'applique que pour des variables quantitatives.

Une solution est de coder toutes les variables d'analyse avec la définition de modalités. Pour les variables quantitatives, il s'agit de définir plusieurs classes de valeurs avec des fourchettes hautes et basses.

Un tableau avec les variables en colonne et les relevés en ligne est créé. Il contient les codes des variables qualitatives et les codes des classes de valeur pour les variables quantitatives. Un tableau disjonctif complet est créé à partir de ce tableau avec en colonne les modalités des variables et en ligne le numéro des relevés. L'analyse statistique adaptée est l'analyse des correspondances multiples qui revient à une analyse factorielle des correspondances généralisée de ce tableau disjonctif complet.

Mais il n'est plus possible alors de tester la corrélation entre les différentes variables.

3. 4. 2. Définition de modalités, de seuils pertinents

La définition de modalités pour les variables d'analyse nécessite la définition de seuils pertinents entre classes. Par exemple, à partir de quelle profondeur l'apparition de l'engorgement marquée par l'hydromorphie est contraignante ? La littérature, assez abondante sur le relevé des paramètres du sol en vue d'une estimation de ses contraintes (B. Jabiol 1990, F. Charnet 2005, ...), a permis de former ces classes. On s'est également appuyé sur les seuils qui pouvaient être utilisés dans d'autres guides simplifiés comme celui du Pays d'Othe, Champagne Sénonaise, Gâtinais oriental et Puisaye des plateaux (L. Milard, 2005).

Pour l'hydromorphie, trois seuils ont paru importants, celui de 15 cm avec une nappe remontant près de la surface, celui de 30 cm avec une nappe à moyenne profondeur et celui de 50 cm avec une nappe plus en profondeur qui ne sera plus contraignante et qui pourrait être même bénéfique.

Profondeur où la somme des taches de décoloration et de coloration dépasse 5 % de la matrice	Code
0-15 cm	1
15-30 cm	2
30-50 cm	3
50-70 cm	4
> 70 cm	5

Tableau 11 : Modalités pour la profondeur, où l'hydromorphie touche plus de 5 % du matériau

Des classes de 20 cm en 20 cm ont été choisies pour la pierrosité. Le seuil de 40 cm de profondeur du sol avec l'absence de blocage de la tarière a semblé un seuil important par rapport à la définition de la contrainte de la sécheresse.

3. 4. 3. Intégration de la problématique du changement climatique avec une note sur l'économie en eau par station

Un code logique a été attribué aux classes des variables quantitatives. Cette note logique sert à donner une note en économie de l'eau à la station. Elle va d'un ordre croissant en fonction de la réserve utile, de l'engorgement ou de l'approvisionnement en eau avec le drainage latéral. Par exemple, dans le tableau précédent, la codification de la profondeur où l'hydromorphie concerne plus de 5 % du matériau suit une logique : plus la nappe remonte en surface, plus le développement racinaire est limité aux premiers horizons et plus le risque sécheresse est élevé.

Ce système de codification reprend une idée originale de S. Gaudin (2007) pour définir la sensibilité de la station au changement climatique. Il somme la note d'un certain nombre de variables pour donner une note d'économie de l'eau à la station. Plus la note est élevée, plus le risque sécheresse est faible ; plus elle est basse, plus le risque est fort.

Réserve utile sur 1m (en mm)	Code
0 à 25	0
25 à 50	1
50 à 75	2
75 à 100	3
100 à 125	4
125 à 150	5
150 à 175	6
175 à 200	8
200 à 250	10
250 à 300	12
Plus de 300	14

Tableau 12 : Codage logique de la réserve utile maximale sur 1m de profondeur, dans le sens de l'économie en eau

Ce codage nous a permis dans un premier temps de classer rapidement les stations et de repérer celles similaires avec la méthode à dire d'expert.

3. 5. Mise en place illustrée des méthodes et discussion sur leur pertinence

3. 5. 1. Méthode à dire d'expert pour la hêtraie-chênaie à garance voyageuse

Après le tri sur les variables de synthèses portant sur les grandes contraintes, il est apparu que la réserve en eau, estimée par le degré de pierrosité et la richesse chimique avec la présence de carbonates, sont les deux contraintes structurantes de l'habitat. Ceci est confirmé par la littérature avec des formations sur substrats calcaires bien drainées. La profondeur de décarbonatation permet de distinguer les différentes variantes de cet habitat. Quatre variantes sont définies.

Les modalités des variables de synthèse de ces variantes sont les suivantes :

- sans contrainte : pas de contrainte, sécheresse légère, engorgement léger
- sécheresse : sécheresse moyenne ou très forte sécheresse
- carbonate et sécheresse : carbonate et sécheresse moyenne ou très forte sécheresse
- carbonate : sécheresse légère et carbonate ou engorgement léger et carbonate

On isole ensuite les variables diagnostiques des variantes, en regardant leurs données écologiques. Des tableaux croisés dynamiques sont construits en croisant les variantes et les variables d'analyse. Pour la hêtraie à garance voyageuse, on a montré que la profondeur, où la pierrosité dépasse 30 % (test à la tarière) et la profondeur d'apparition de l'effervescence étaient les deux variables diagnostics. L'ensemble de l'analyse est présenté en annexe 7 et la clé des variantes de cet habitat en annexe 9.

Nombre de stations par variantes, pour lesquelles la pierrosité dépasse 30 % de pierrosité dans une classe donnée de profondeur.	Profondeur (cm) où la pierrosité dépasse 30 % et où la tarière est bloquée					
	0-20	20-40	40-60	60-80	>80	Total
Variantes						
Carbonate		1				1
Pas de contrainte			1	2	1	4
Sécheresse	2	2				4
Sécheresse et carbonate		4	1			5
Total	2	7	2	2	1	14

Tableau 13 : Efficacité du test de la tarière ou profondeur où la pierrosité dépasse 30 % de volume de sol

3. 5. 2. Méthode statistique pour la hêtraie-chênaie atlantique à houx et la chênaie sessiliflore ligérienne acidiphile à alisier torminal

L'ensemble de l'analyse statistique pour la hêtraie atlantique à houx figure en annexe 8. Les clés des variantes de ces deux habitats se trouvent en annexe 10.

3. 5. 2. 1. Précautions préalables, recodage des modalités

Pour que l'analyse statistique par ACM soit valide, les variables doivent comporter environ le même nombre de modalités et le nombre d'occurrences par modalités soit équilibré (pas une unique occurrence par modalité).

La contribution de la variable i à la distance du khi deux est $(K_i - 1)/Q$ et la contribution d'une modalité est $(n_{ia} - n) / (n * Q)$, avec :

- Q le nombre de variables
- K_i le nombre de modalités de la variable i ,
- n_{ia} le nombre d'occurrences de la modalité a de la variable i
- n l'effectif total

Plus une variable a de modalités K_i , plus sa contribution est importante. De même, plus une modalité n_{ia} est rare (faible occurrence), plus elle prend d'importance dans l'analyse.

Avant de faire l'analyse statistique en elle même, il faut vérifier que toutes les variables sont exploitables (nombre suffisant de modalités, et d'occurrences par modalité) et regrouper certaines modalités. Mais, il faut que les nouvelles classes formées soient cohérentes dans la mesure du possible et correspondent à une réalité biologique

3. 5. 2. 2. Analyse des variables et de leur modalité, ACM

À la suite de cette opération, on réalise l'analyse des correspondances multiples (ACM). L'interprétation de l'ACM indique les variables les plus structurantes du nuage de points et les relations entre ces variantes.

Pour la chênaie sessiliflore ligérienne acidiphile à alisier torminal, les formations sableuses et les formations à texture fine ont fait l'objet de deux analyses distinctes.

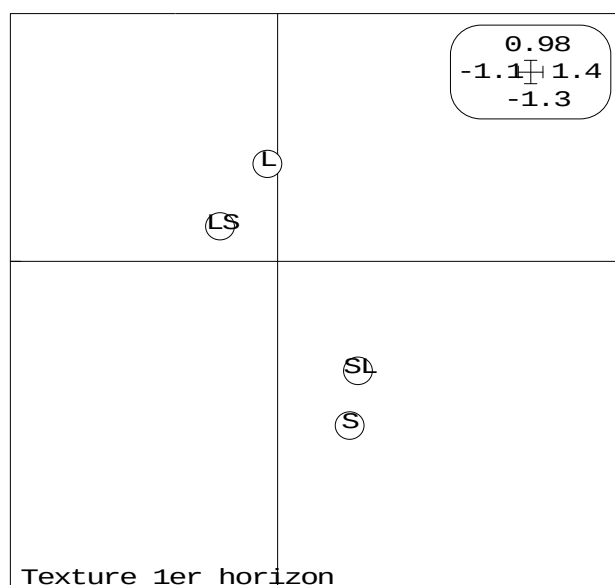


Figure 16 : Projection des modalités de la nature texturale des premiers horizons pour la hêtraie atlantique à houx dans le plan factoriel 1-2

En effet l'analyse pour la hêtraie acidiphile atlantique à houx montrait une opposition entre les sols à texture fine et les sols à texture grossière sur l'axe factoriel 2.

Variables	Modalités	Fréquence	axe 1	axe 2	axe 3
texture	S	10	0,44393	-1,1743	0,21176
	SL	9	0,49281	-0,78169	-0,42919
	L	19	-0,069475	0,70359	0,50873
	LS	21	-0,35974	0,25762	-0,37718
R2			0,11807	0,50997	0,16968

Tableau 14 : Coordonnées factorielles des modalités de la nature texturale des premiers horizons pour la hêtraie atlantique à houx

L'analyse montre que, pour les formations sableuses, l'axe 1 est lié à l'engorgement et à la réserve en eau, en lien avec la profondeur d'apparition d'un horizon à dominante argileuse : plus le plancher

argileux remonte haut, plus le risque d'engorgement important dès la surface marqué par l'hydromorphie est conséquent. En même temps, cet horizon à dominante argileuse joue un rôle de réservoir en eau. Pour les formations limoneuses et argileuses, l'axe 1 est lié à la réserve utile, avec le degré de pierrosité en lien avec le degré de remaniement des matériaux : plus ces matériaux sont chargés en silex, plus le niveau trophique est bas en moyenne. Ainsi, les hauts de pente, souvent remaniés ont souvent une faible réserve en eau avec une forte charge en silex et un niveau trophique très bas sur les plateaux à argiles à silex (Perche et Pays Fort).



Figure 17 : Pays Fort station X2, haut de versant exposition Sud, limon à silex avec une très forte charge en silex, très bien drainée, chênaie sessiliflore ligérienne à alisier torminal, variante L311

Ces analyses doivent être prises avec précaution car les variables sont toutes plus ou moins corrélées entre elles avec par exemple la réserve en eau maximale et la pierrosité. De plus, les premières analyses ont été faites avec des variables qui n'étaient pas toujours pertinentes comme celles décrivant l'hydromorphie (profondeur de son apparition, profondeur de son maximum, %initial, % maximum). On les a tout de même conservées, car elles permettent de dégrossir les variantes des habitats et de rassembler les stations similaires.

3. 5. 2. 3. Formation des groupes statistiques avec la classification hiérarchique ascendante

À partir de l'analyse statistique précédente, les différents groupes de cette association vont être constitués. La distance de Ward est calculée pour les relevés à partir de leurs coordonnées factorielles (métrique euclidienne) sur les trois premiers axes issus de l'ACM. Cette distance ultramétrique de Ward sert à constituer les groupes de stations proches sur ces trois premiers axes grâce à la classification hiérarchique ascendante.

3. 5. 2. 4. Vérification de la pertinence des groupes statistiques pour former les variantes

La cohérence de ces groupes est ensuite vérifiée en regardant leurs variables écologiques. Ces groupes sont caractérisés tout en vérifiant la pertinence du regroupement. Cela aide à construire les futures clés pour la reconnaissance des variantes.

	groupes issus de la CAH								
Profondeur où la pierrosité dépasse 30 %	1	2	3	4	5	6	7	8	Total
0-20			1	4		1	5		11
20-40			2	1			2		5
40-60		1	1	1					3
60-80	2	1							3
>80	3						1		4
Pas d'EG >30 %	6	5	3	1	6	6		6	33
Total	11	7	7	7	6	7	8	6	59

Tableau 15 : Nombre de relevés par classes de profondeur où la pierrosité dépasse 30 % et par groupes issus de la CAH (analyse pour la hêtraie atlantique à houx)

	groupes issus de la CAH								
Profondeur d'apparition des traces dues à l'engorgement	1	2	3	4	5	6	7	8	Total
0-15	5	4	3					3	15
15-30	3				1			2	6
30-50	2	3	2		1		1	1	10
50-70	1		2		4	1			8
>70				1		1			2
pas d'engorgement				6		5	7		18
Total	11	7	7	7	6	7	8	6	59

Tableau 16 : Nombre de relevés par classes de profondeur d'apparition des traces dues à l'engorgement et par groupes issus de la CAH (analyse pour la hêtraie atlantique à houx)

Cette analyse sur les groupes issus de la statistique permet de déterminer des critères pour former les variantes. On les applique ensuite sur l'ensemble des relevés pour affiner le classement et corriger les lacunes de l'analyse statistique. Ainsi, les variantes finales ne sont pas celles issues directement des « statistiques ».

On voit dans le tableau suivant que de nombreux relevés des groupes issus de la statistique sont reclassés dans différents groupes. Souvent, seul un noyau de relevés du groupe statistique sert à définir une variante (exemple du groupe 1). Cela s'explique par le fait qu'il existe un certain chevauchement entre les relevés des groupes issus de la statistique.

Nombre de relevés	Groupes issus de la CAH										
Variante	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	a	b	c	d	e	Total
sables épais ou pierreux engorgés						8	4	1			13
sables moyennement épais engorgés							10	8			18
sables épais ou pierreux						7	3	2	16	4	32
sables moyennement épais sains						1	2	1		1	5
sables peu épais engorgés								15			15
sables peu épais										1	1
limons pierreux engorgés			2	1							3
pôle argileux				5	8						13
limons pierreux	7										7
limons sains épais	3	10									13
limons engorgés		8	8	8							24
limons sains peu épais			1								1
Total	10	18	11	14	9	16	19	26	16	6	145

Tableau 17 : Pertinence de la méthode statistique. Nombre de relevés par variantes et par groupes issus de la CAH pour la chênaie acidiphile à alisier torminal

Parfois, un regroupement entre groupes issus de la statistique est opéré (d et e). Le niveau de la classification hiérarchique ascendante choisi est alors peut être trop élevé et le degré de précision est trop important dans la définition de certaines variantes. Les distinctions faites avec l'analyse statistique ne se justifient pas pour le degré de précision souhaité. Ainsi les formations sableuses avec un engorgement en profondeur sont isolées alors qu'elles sont regroupées au final avec les formations sableuses saines. La distinction de trois épaisseurs de sable différentes dans une problématique de réserve en eau se justifie plus.

Après une première lecture des différentes variantes formées pour la chênaie acidiphile à alisier torminal, il est apparu que le niveau trophique ne ressortait pas et c'était un manque. On distingue ainsi par la suite le très acide de l'acide à l'assez acide.

De même, il est apparu que l'engorgement était insuffisamment décrit. Dans le tableau précédent, les sables engorgés correspondent à des formations où les premières traces d'hydromorphie apparaissent avant 50 cm de profondeur. Un seuil de trente centimètres est utilisé pour les limons. L'engorgement a donc été caractérisé par la suite par son intensité et trois variantes ont été distinguées : une variante saine, une variante peu engorgée et une variante engorgée.

Notons que les mêmes variantes ont été définies pour la hêtraie acidiphile atlantique à houx et la chênaie sessiliflore ligérienne acidiphile à alisier torminal. Il a été montré dans la partie précédente que ces deux habitats occupaient les mêmes conditions stationnelles, seul l'aspect climatique diffère. L'ensemble des variantes retenues se trouve dans l'annexe 9.

3. 5. 3. Pertinence des méthodes utilisées

Pour les deux méthodes, un certain degré de précision pour la définition des variantes est conservé. Ainsi, au final 4 variantes sont définies pour un habitat marginal comme la hêtraie neutrophile à garance voyageuse et 40 pour la chênaie sessiliflore ligérienne à alisier torminal ou la hêtraie acidiphile atlantique à houx (voir annexe 10). Les stations similaires entre les différents catalogues des stations forestières, ont été regroupées. L'analyse des variables à partir de la base de données ne suffit pas pour définir des unités stationnelles cohérentes à partir des variantes. On reste encore dans la précision et on n'est pas encore dans la synthèse. Cette simplification et cette synthèse entre variantes, qui semblent proches, seront présentées dans la partie suivante.

On peut s'interroger sur l'opportunité d'une analyse statistique quand on constate l'importance du dire d'expert pour définir les différentes variantes.

Les analyses statistiques présentées ci-dessus n'ont pas été réalisées sur des variables initiales pertinentes. La contrainte de l'engorgement avec l'hydromorphie avait par exemple mal été décrite. Cela explique les raisons d'un tel redécoupage final. Ces analyses ont eu l'avantage de mettre en évidence la limite des variables que l'on a utilisées initialement et de les corriger.

Elles font ressortir rapidement les grandes caractéristiques d'un habitat, quand on a une faible connaissance du terrain. Elles mettent en lumière les grandes tendances, par exemple l'importance d'un plancher argileux, comme plancher d'une nappe temporaire et comme réservoir en eau, pour les sols sableux.

Pour les habitats avec un grand nombre de stations, la méthode statistique est donc moins longue et fastidieuse qu'une analyse à dire d'expert, avec une synthèse des contraintes par relevé. Elle a l'avantage de rapidement différencier les variantes d'un habitat. Son interprétation est facilitée par une bonne connaissance de terrain. Par exemple, pour la chênaie sessiliflore ligérienne à fragon, on sait déjà que les variables suivantes seront structurantes :

- nature texturale des premiers horizons,
- profondeur d'apparition d'un horizon à dominante argileuse,
- profondeur d'apparition de l'effervescence,
- profondeur d'apparition de l'hydromorphie > 5 % de la matrice,
- profondeur où la pierrosité dépasse 30 % de volume du sol.

Dans le cas cité au dessus, l'analyse est plus aisée après avoir réalisé des tournées en région Centre, en particulier dans la chênaie sessiliflore ligérienne à fragon. Le dire d'expert sera complémentaire de l'analyse statistique mais ne le remplacera pas.

3. 6. Programme de travail sur la constitution d'une base de données sur les stations et sur les méthodes de définition de variantes

Les variables qui constitueront cette base de données sont maintenant définies et codées de façon logique. Elle reste à constituer de manière définitive, ce qui nécessitera environ trois semaines.

Les méthodes de constitution de variantes à dire d'expert et statistiques ne s'appuient pas sur la flore. Il faut définir des groupes écologiques pertinents sur la région d'étude et isoler certaines espèces caractéristiques des habitats et de leurs variantes. Ce travail de détermination et de validation nécessitera un mois de travail et sera facilité par les groupes écologiques définis préalablement (annexe).

L'approche à dire d'expert sera complétée par la flore, selon les méthodes des paragraphes 3. 2. 4. 1 et 3. 2. 4. 3. Les groupes écologiques en tant que variables secondaires serviront à vérifier la pertinence de certaines variantes. Pour les habitats avec un grand nombre de relevés, l'approche statistique à partir des variables d'analyses de la base de données sera conservée. Elle sera croisée avec l'analyse floristique de ces mêmes relevés selon la méthode du paragraphe 3. 2. 4. 2.

Ces méthodes ont le désavantage d'aller encore trop dans la précision avec un grand nombre de variantes. Certaines de ces variantes devront être fusionnées pour former les futures unités stationnelles. La partie suivante sur la pertinence des variantes retenues et sur la présentation des clés et de l'organisation du type de guide présentera la méthode de fusion des variantes proches.

4. Formation d'unités stationnelles cohérentes pour un guide simplifié, à partir des variantes des habitats

4. 1. Format souhaité du futur guide simplifié de choix des essences

4. 1. 1. Une première entrée par les habitats ; une seconde par leurs variantes

La clé des habitats révisée sera la première entrée de ce guide. Il sera séparé par « chapitres » sur les grandes formations basées sur les habitats. L'introduction de ces chapitres donnera les grandes caractéristiques de ces formations avec :

- la présentation des grandes contraintes,
- des préconisations sur le choix des essences,
- la végétation concurrente.

Cette introduction sera suivie d'une clé sur les variantes au sein de ces grandes formations. L'idée initiale était de mettre en place une clé sur les contraintes afin d'isoler les variantes qui posaient problème.

Ces variantes correspondraient aux « unités stationnelles » des guides simplifiés de choix des essences. Elles seraient décrites sous forme de fiches synthétiques des unités stationnelles.

Le nombre de variantes définies initialement par habitat est trop important. Pour la chênaie sessiliflore acidiphile ligérienne à alisier torminal, on ne peut pas avoir 40 unités stationnelles décrites à partir des variantes. Cela ne serait plus alors un guide simplifié, mais un inventaire précis des variantes des habitats. Il faut donc regrouper un certain nombre des variantes proches définies préalablement, afin de définir des unités stationnelles cohérentes.

4. 1. 2. Méthode pour définir des unités stationnelles cohérentes à partir des variantes

Avant d'entamer le regroupement des variantes proches, il faut vérifier leur pertinence.

La méthode analytique débouche sur la description de nombreuses variantes des habitats. Les clés obtenues balayent de nombreux cas. Elles sont appliquées aux fiches synthétiques des stations, pour la correspondance entre le type de station et les variantes des habitats. Cela permet d'identifier les cas où certaines variantes des habitats n'ont pas été décrites. C'est également un moyen d'isoler les variantes rares et marginales. Les clés sont alors corrigées, si nécessaire.

Une synthèse est ensuite proposée sur chaque variante avec :

- la présentation des grandes contraintes,
- des préconisations sur le choix des essences,
- la végétation concurrente.

Après ce premier travail synthétique, des tournées sont organisées sur le terrain pour tester les outils avec les techniciens, sur les zones couvertes par les catalogues. Les clés sont testées, en particulier la bonne correspondance entre les stations des anciens catalogues et les variantes définies au bureau.

Les remarques sur la pertinence et la facilité d'utilisation de la clé de reconnaissance des variantes sont notées pour améliorer sa compréhension. Une discussion est menée sur les essences et les modes de gestion qu'ils conseilleraient pour les variantes visitées. L'ensemble des remarques des discussions est synthétisé et sert à préciser ces synthèses par variantes.

Les variantes présentant des fiches synthétiques similaires (les mêmes conseils dans le choix des essences sur les précautions sylvicoles) seront rassemblées pour former les futures unités stationnelles. Ces regroupements sont discutés et validés lors des comités de pilotage. Le temps a été insuffisant au cours du stage pour aller jusqu'à cette phase de synthèse et de définition des unités stationnelles cohérentes.

4. 1. 3. Validité du guide sur les zones non couvertes par les typologies de station ?

La question de la zone de validité du guide, hors des zones anciennement couvertes par les catalogues se pose toujours. La première entrée du guide sur les « grandes formations » s'appliquera avec les habitats. Le problème de validité se pose plus pour la seconde entrée, avec les variantes des habitats. Les anciens catalogues de station couvrent-ils l'ensemble des variabilités stationnelles que l'on trouve en région Centre ?

Le tableau suivant sur les caractéristiques des régions forestières non couvertes par une typologie de station est déjà un élément de réponse.

Régions forestières	Surface forestière couverte	Altitude moyenne (m)	Altitude minimale (m)	Altitude maximale (m)	Pluviosité annuelle	Gelées (nombre de jours)	Température moyenne	Géologie	Rapprochement proposé pour les sylvoécorégions (SER) (rattachement aux régions forestières de la région)
Basse-Marche	12 200 ha	350	120	504	750 à 950 mm	63	10,9 °C	Formations géologiques anciennes cristallines.	Limousin Combrailles
Beauce	25 800 ha	130	73	258	500 à 650 mm	64	10,5 °C	Plateau calcaire fissuré recouvert de limons dépassant 1 m de profondeur.	Beauce et Champagne Crayeuse
Brandes	13 200 ha	140	45	219	680 à 780 mm	55	12 °C	Calcaire. Sables et grès. Sables argileux.	Bordure Sud du bassin Parisien (Brenne, Champagne Berrichonne, Richelais et Saumurois)
Confins Baugeois - Touraine	36 900 ha	100	40	139	625 à 650 mm	55	11 °C	Craie et tuffeau de Touraine surmontés par de l'argile à silex, sables et limons des plateaux. Formations calcaires (faluns, calcaire lacustre),	Baugeois-Maine
Drouais et plateau de Neubourg et de Saint-André	13 100 ha	150	73	236	550 mm	63	10 °C	Argiles à silex souvent surmontées de limons.	Forêt Normande.
Gâtinais	27 100 ha	120	49	198	600 à 700 mm	63	10 °C	Calcaire de Beauce, craie surmontée d'argile à silex, argiles imperméables et sables.	Gâtinais et Pays d'Othe.
Gâtine Nord-Tourangelle	40 500 ha	120	40	184	600 à 700 mm	55	11 °C	Essentiellement argiles à silex souvent surmontées par les limons de plateaux. Calcaire de Beauce, falun de Touraine.	Champagne Gâtine (Boischaud Nord-Gâtine Sud Tourangelle, Champagne)
Pays des Yvelines et de Fontainebleau	1900 ha	90	50	164	600 à 640 mm	58	10 °C	Sables et grès de Fontainebleau.	Bassin Parisien Nord.
Richelais et Saumurois	8900 ha	190	30	135	575 à 625 mm	50	11,5 °C	Calcaire, craie et sable.	Bordure Sud du bassin Parisien (Brenne, Champagne Berrichonne, Brandes)
Val d'Anjou	400 ha	30	26	34	625 à 650 mm	50	11,5 °C	Alluvions de la Loire.	

En vert : Régions forestières rattachées à celles, couvertes par une typologie de stations forestières, dans les nouvelles sylvoécorégions.

En noir : Régions forestières proches d'un point de vue de la géologie et de la pédologie d'autres régions forestières couvertes par les catalogues, mais différentes du point de vue climatique.

En rouge : Régions forestières qui diffèrent fortement de celles couvertes par une typologie, au niveau géologique et au niveau climatique.

Tableau 18 : Caractéristiques écologiques des régions forestières non couvertes par des typologies de station (d'après les SRGS)

Actuellement, 180 000 ha de forêts ne sont pas couverts par une typologie de stations.

Les sylvoécorégions peuvent être un bon indicateur des zones dans lesquelles le guide pourra être étendu sans trop de difficultés. Ainsi la gâtine Nord Tourangelle est rattachée à la Gâtine Sud tourangelle, anciennement couverte par un catalogue de station et ces deux régions sont proches au niveau géologique et au niveau climatique. Il en est de même pour les régions des Brandes, du Richelais et Saumurois rattachées à la bordure Sud du bassin Parisien, composés de la Champagne Berrichonne et de la Brenne, couvertes par des catalogues.

Des régions sont semblables à d'autres pour la pédologie, mais elles en diffèrent du point de vue climatique. On peut citer la Beauce, proche de la Champagne Berrichonne pour le type de roche mère, mais qui en diffère par un climat plus froid et plus sec. La problématique est la même pour le Drouais par rapport aux zones de plateau à argiles à silex couvertes par les catalogues. Le guide pourra être étendu à ces régions forestières, sauf si le climat influe le compartiment stationnel.

Quelques régions forestières diffèrent vraiment des régions couvertes par la typologie tant au niveau climatique, mais aussi au niveau géologique. La Basse Marche, qui repose sur un socle cristallophyllien correspond aux premiers contreforts du Massif central. Cette région est vraiment à part. Le guide ne s'appliquera pas à ces régions forestières, du moins au niveau des variantes des habitats. Cela ne représente plus que 14 500 ha de forêt sur l'ensemble du site d'étude.

Une fois la première version du guide finalisée, des tournées devront être prévues pour tester son extension sur les deux premiers types de régions forestières, non couvertes par les catalogues.

4. 2. Mise en place de la méthode, pour définir des unités stationnelles cohérentes, à partir des variantes

4. 2. 1. Pertinence des variantes

4. 2. 1. 1. Présentation des clés des variantes

4. 2. 1. 1. 1. Codage logique des variantes

Vous retrouverez en annexe 9 et 10 les clés des variantes, respectivement pour les hêtraies à garance voyageuse et atlantique à houx et la chênaie sessiliflore ligérienne à alisier torminal.

Elles ont été construites pour rendre compte des contraintes, observées lors des analyses. Les variantes les plus contraignantes et les plus difficilement valorisables ont ainsi été isolées.

Le système de numérotation des variantes a été établi selon le niveau des contraintes. Il est noté du plus contraignant, avec une note faible, au moins contraignant, avec une note importante. Les notes pour les différentes contraintes retenues pour l'habitat sont alors juxtaposées dans un ordre prédéfini.

Pour la hêtraie à garance voyageuse, deux contraintes ont été isolées : la réserve en eau et la carbonatation du sol dès la surface. On a donc 4 variantes, qui correspondent au croisement de ces deux contraintes. Les dénominations des variantes sont les suivantes :

- 11 : faible réserve en eau avec une présence de carbonates dès la surface. Elle sera la variante la plus difficilement valorisable de la hêtraie à garance voyageuse,
- 12 : faible réserve en eau,
- 21 : carbonatation dès la surface,
- 22 : pas de contraintes particulières autres que celles présentées lors de la description de l'habitat.

La hêtraie atlantique à houx et la chênaie sessiliflore ligérienne à alisier torminal ont chacune quatre contraintes, la fragilité physique des sols, l'engorgement, la réserve utile et la richesse chimique. La dénomination des variantes sera la juxtaposition des notes de ces contraintes dans l'ordre précédent.

La fragilité physique des sols correspond à la séparation entre les types de formations :

- S : sableuses (S et SL),
- L : limoneuses (L, LS et LA),
- A : argileuses (A, AL, AS, Alo),

4. 2. 1. 1. 2. Seuils pertinents entre les différentes variantes

Il a fallu garder les seuils les plus logiques pour distinguer les différentes variantes, comme on l'a montré dans les parties précédentes. Ces seuils sont importants, car il y a de fortes implications au niveau des orientations sylvicoles et du choix des essences.

Exemple : Un engorgement moyennement contraignant se reconnaît par une hydromorphie peu marquée (entre 5 % et 40 % de coloration et de décoloration) avant 30 cm de profondeur ou marquée (taches rouilles et de décoloration > 40 %) entre 30 cm et 50 cm dans les formations sableuses et limoneuses. Il s'exprime par la dynamique d'espèces comme la fougère aigle adepte de ces sols frais et par un développement racinaire freiné des arbres. Certaines essences secondaires comme le châtaignier ou le merisier y sont plus sensibles. Une coupe à blanc peut amplifier la contrainte par une stagnation prolongée de la nappe perchée au printemps. Cette variante avec un « engorgement moyennement contraignant » est isolée.

La sylviculture envisagée pourrait être :

- irrégulière, afin de toujours conserver une pompe,
- régulière mais avec une coupe de régénération progressive.

Le seuil de 5 % de taches d'hydromorphie plutôt qu'un seuil plus élevé de 15 % par rapport à la contrainte moyenne de l'engorgement dans les trente premiers centimètres peut être discuté. En effet, plus le seuil est faible en pourcentage, plus la surface des zones où les coupes à blanc devront être proscrites est élevée. Pour le second seuil, les surfaces où les coupes à blanc seront proscrites seront moins grandes, ce seuil est donc moins « sévère ».

4. 2. 1. 1. 3. Matériel nécessaire pour l'utilisation des clés de reconnaissance des variantes

Il ne faut pas alourdir les clés avec de nombreux tests, au risque de rebuter l'utilisateur. Le matériel utilisé doit être facilement transportable. La pioche doit être évitée dans la mesure du possible. La tarière est le principal outil pour utiliser la clé. Un flocon d'acide est nécessaire pour le test de l'effervescence dans le cadre de la hêtraie neutrophile à garance voyageuse.

Le diagnostique stationnel doit être le plus rapide possible. Ainsi, le test à la tarière se fait au maximum sur une profondeur de 70 cm pour les habitats décrits jusqu'à présent.

4. 2. 1. 2. Questions posées sur le regroupement de certaines variantes

Comme on le constate, un grand nombre de variantes ont été définies dans la hêtraie atlantique à houx et la chênaie sessiliflore ligérienne à alisier torminal.

Après la correspondance entre les types de station et les variantes, certaines sont apparues comme marginales ou inexistantes, notamment pour la hêtraie atlantique à houx.

Nombre de stations par variantes argileuses	A111	A112	A121	A122	A211	A212	A221	A222
Chênaie sessiliflore ligérienne à alisier torminal	0	0	9	21	1	1	6	16
Hêtraie atlantique acidiphile à houx	0	0	1	2	0	0	0	2

Tableau 19 : Nombre de types de station par variantes argileuses pour la chênaie sessiliflore ligérienne à alisier torminal et la hêtraie acidiphile atlantique à houx

Le tableau montre que les variantes argileuses avec une très forte pierrosité, très engorgées et très pauvres chimiquement (A111, A112) sont ainsi inexistantes.

Les variantes argileuses avec une forte pierrosité sont marginales (A111, A112, A211, A212). Faut-il distinguer des variantes avec une faible réserve en eau pour ces formations argileuses ? Les argiles ne constituent-elles pas une réserve en eau suffisante ?

Nombre de stations par variantes limoneuses	L111	L112	L121	L122	L211	L212	L221	L222	L311	L312	L32*1	L32*2	L321	L322
Chênaie sessiliflore ligérienne à alisier torminal	6	7	21	29	8	9	19	38	10	8	3	4	7	16
Hêtraie atlantique acidiphile à houx	2	3	6	14	4	4	8	19	11	9	3	4	6	10

Tableau 20 : Nombre de stations par variantes limoneuses pour la chênaie sessiliflore ligérienne à alisier torminal et la hêtraie acidiphile atlantique à houx

Pour les formations limoneuses et les formations sableuses, trois niveaux d'engorgement (L1xx, L2xx, L3xx) sont distingués. Est-il pertinent de distinguer trois niveaux pour l'engorgement ?

Ne faut-il pas regrouper un engorgement très contraignant avec un engorgement moyennement contraignant ? Cette fusion serait une erreur vis-à-vis de la contrainte de la réussite de la régénération et du type de sylviculture à mener. Sur des sols présentant un engorgement moyennement contraignant L2XX ou S2XX, il faut être prudent lors de l'ouverture des peuplements, mais on n'est pas obligé de mettre en oeuvre une gestion irrégulière. Pour un engorgement contraignant, la gestion irrégulière sera plus adaptée. Il faut travailler sur régénération acquise lors du renouvellement des peuplements et ouvrir progressivement le peuplement par la suite.

Au niveau du choix des essences, il semble plus pertinent de regrouper un engorgement moyennement contraignant avec un engorgement très contraignant qu'avec un sol sain. En effet, des essences comme le châtaignier ne supportent pas un engorgement même s'il est peu marqué.

Nombre de stations par variantes sableuses	S111	S112	S121	S122	S131	S132	S211	S212	S221	S222	S231	S232	S311	S312	S321	S322	S331	S332
Chênaie sessiliflore ligérienne à alisier torminal	11	13	15	17	17	21	23	29	28	30	20	25	31	27	13	14	9	9
Hêtraie atlantique acidiphile à houx	1	0	1	2	2	3	1	2	2	4	4	6	7	6	2	2	2	3

Tableau 21 : Nombre de stations par variantes sableuses pour la chênaie sessiliflore ligérienne à alisier torminal et la hêtraie acidiphile atlantique à houx

Est-il pertinent de différencier trois niveaux de réserve utile pour les formations sableuses en lien avec l'épaisseur des sables (Sx1x, Sx2x, Sx3x) ? Ne faut-il pas regrouper les sables moyennement épais avec les sables épais par rapport au risque lié au changement climatique ? Au contraire avec les potentialités actuelles, ne vaut-il pas mieux regrouper les sables moyennement épais (entre 50 cm et 70 cm d'épaisseur) avec les sables peu épais (entre 15 cm et 50 cm d'épaisseur) ?

4. 2. 1. 3. Limites de ces clés et des variantes définies

4. 2. 1. 3. 1. Limites de l'utilisation de la tarière

La tarière n'est pas toujours le meilleur outil pour avancer dans la clé de reconnaissance des variantes. Que faire pour diagnostiquer un engorgement moyennement contraignant ou la profondeur d'apparition d'un horizon à dominante argileuse, si la tarière est bloquée en surface par la pierrosité ? Dans ce cas-là, une bêche, une pioche ou une tarière-vrille sont de bons outils complémentaires, même s'ils sont encombrants. La flore est également un bon indicateur, par rapport à un engorgement contraignant notamment.

La tarière peut parfois être bloquée, mais l'enracinement est possible notamment dans le cas d'éboulis de blocs calcaires. Dans la hêtraie neutrophile à garance voyageuse, le frêne et son maintien pérenne au stade adulte sans dépérissement, serait un bon indicateur de stations à bonne réserve en eau. Pour cet habitat, la tarière n'est pas le meilleur outil pour le diagnostic, car la pierrosité y est souvent importante. Le débat porte toujours sur le pourcentage de volume de pierrosité, pour lequel la tarière est bloquée, 15 %, 20 %, 30 % ? Le comité de pilotage n'a pas tranché.

4. 2. 1. 3. 2. Pas d'intégration de la topographie et de la flore

Il est apparu dommage de ne pas avoir intégré la topographie et la microtopographie dans les clés de reconnaissance des variantes. Cette topographie joue sur la réserve en eau et sur la contrainte de l'engorgement avec un drainage plus ou moins efficace. Les cuvettes ou micro-dépressions sont engorgées. Les versants sont drainés, la réserve en eau en est amoindrie ce qui limite la contrainte de l'engorgement. L'adaptation du chêne pédonculé aux variantes dépend pourtant de la position topographique. Une position de bas de versant lui sera favorable, alors qu'un haut de versant pourrait lui être défavorable, même si la réserve utile maximale est importante.

Mais intégrer la topographie risque de multiplier le nombre de variantes. De plus, le relief est trop peu marqué en région Centre, pour distinguer des variantes des habitats liés à ce facteur. Il faudra simplement signaler dans les fiches synthétiques des unités stationnelles, la variabilité, qu'entraîneront le relief et le micro-relief en termes de réserve utile.

Un chapitre sur l'économie en eau sera nécessaire au début du guide. Il présentera notamment l'influence du relief et du micro-relief sur les bilans en eau et sur la contrainte de l'engorgement. Ce chapitre aidera l'utilisateur dans son diagnostic sur le milieu.

Il a été regretté que la flore n'ait pas été intégrée. C'est un bon outil diagnostique notamment pour la contrainte de l'engorgement. En effet l'hydromorphie peut être marquée sur un versant avec l'artefact de la lixiviation des éléments minéraux. L'engorgement n'est pas pourtant pas contraignant avec le drainage de la nappe. Les photos suivantes illustrent ce problème.



Figure 18 : Boischaut Nord station L30 sur plateau : chênaie sessiliflore ligérienne à alisier torminal, variante L111 (JB Reboul)



Figure 19 : Quelques mètres plus loin, station L29 sur versant, chênaie sessiliflore ligérienne à alisier torminal, variante L121 (JB Reboul)

L'hydromorphie peut être marquée de la même façon sur les deux stations, mais l'engorgement est moins contraignant dans le second cas grâce au drainage latéral. La flore est alors le meilleur indicateur, avec ici une moindre abondance de la fougère aigle et la quasi-disparition de la molinie.

4. 2. 2. Préconisations sur le choix des essences par variantes

4. 2. 2. 1 Une méthode adaptation essences-station qui ne suffit pas

A l'aide des données sur l'autécologie des essences notamment la flore forestière (J.C. Rameau 1989) et les synthèses de F. Lebourgeois (cours 2007), l'adaptation des essences aux différentes variantes a été notée. Cela s'est fait au départ avec une liste d'essences potentiellement présentes sur l'habitat. Leur adaptation aux variantes a été jugée avec les trois niveaux suivants :

- «+» : adaptation de l'essence, avec une bonne croissance et un risque très faible de dépérissement,
- «- +» : adaptation moyenne de l'essence, avec une croissance moyenne et un risque faible de dépérissement,
- «-» : adaptation faible de l'essence, avec une croissance difficile et un risque de dépérissement important.

Une étoile est utilisée, pour signaler le caractère envahissant de certaines espèces, comme le frêne dans la hêtraie à garance voyageuse.

De même, un point d'exclamation signale le danger dans l'utilisation d'une essence sur une variante. Par exemple, il faut faire attention à l'utilisation du pin sylvestre dans l'habitat de la chênaie sessiliflore à alisier torminal, chimiquement fragile. Cette essence avec une litière acidifiante (Augusto et al. 2000) renforce l'acidification des sols et le phénomène de podzolisation.

Variante	11			12			21			22		
Stade de production	Régé	Perche	Adulte	Régé	Perche	Adulte	Régé	Perche	Adulte	Régé	Perche	Adulte
chêne sessile	-	-	-	- +	-	-	-	- +	- +	+	+	+
chêne pédonculé	-	-	-	+	- +	-	-	+	- +	+	+	- +
chêne pubescent	?	+	- +	+	+	- +	?	+	+	+	+	+
hêtre	+	+	- +	+	+	- +	+	+	+	+	+	+
alisier blanc	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
tilleul à grandes feuilles	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
érable champêtre	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
cormier	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
alisier torminal	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
frêne	+*	+*	-	+*	+*	-	+*	+*	- +	+*	+*	- +
érable sycomore	+*	+*	-	+*	+*	-	+*	+*	- +	+*	+*	- +
merisier	-	-	-	+	+	-	-	-	- +	+	+	- +
charme	- +	- +	-	+	+	-	- +	- +	- +	+	+	+
tilleul à petites feuilles	- +	- +	-	+	+	-	- +	- +	- +	+	+	+
bouleau verruqueux	- +	- +	- +	- +	- +	- +	-	-	-	-	-	-
pin noir d'Autriche	?	?	- +	+	+	- +	?	?	+	+	+	+

Essences faux amis

Tableau 22 : Adaptation aux variantes des essences potentiellement présentes, dans l'habitat de la hêtraie à garance voyageuse : (Tableau repris d'une idée originale de G. Grandjean et M. Bruciamacchie).

L'adaptation des essences a été indiquée pour trois stades de production. Ces trois stades sont :

- la régénération : Il permet de voir la réussite de la germination et de l'installation des semis sur les différentes variantes. Ici la régénération du chêne sessile sera gênée par la présence de carbonate dès la surface. L'adaptation de cette essence au stade semis est donc «-» pour les variantes 11 et 21 de la hêtraie à garance voyageuse.
- les stades perches : il correspond à la phase de croissance en hauteur (gaule, perche, PB), à la formation de la bille de pied (élagage naturel) et à la qualification des perches d'avenir. Des essences comme le frêne, non adaptées à des stades adultes, comme dans la variante 12, participent au gainage et à la qualification des essences objectives à ce stade s'il elles sont maîtrisées, sinon elles prennent toute la place.
- Le stade adulte : Ce stade correspond à une phase de croissance en diamètre (BM, GB).

Ce type de tableau synthétique permet d'isoler les « faux amis », qui ont une bonne dynamique juvénile mais qui ne sont pas adaptés au stade adulte. Le frêne est un de ces « faux amis » typiques, notamment sur plateaux calcaires, où sa dynamique juvénile est importante.

C'est un tableau qui aide à comprendre le comportement des essences et à faire les bons choix sylvicoles.

Il demande une bonne connaissance de terrain. En effet, la littérature est peu abondante sur la dynamique des essences au stade perche et pour la régénération. Elle est plus abondante pour le stade adulte.

Ces tableaux ne pourront pas être intégrés tels quels dans les fiches synthétiques des unités stationnelles. Ce sont plutôt des outils pour le choix des essences à favoriser lors des martelages. Ils s'adresseront à un propriétaire ou à un gestionnaire formé.

4. 2. 2. 2 Différencier la présence d'une essence, son adaptation et sa production

Le chêne pédonculé a été noté comme non adapté à la variante S221 dans la chênaie sessiliflore ligérienne à alisier torminal. Cela ne suffit pas comme indication. En effet, on peut avoir des phases pionnières avec des peuplements composés essentiellement de chênes pédonculés pour ces variantes. Que fait-on alors ? Doit-on tout couper ?



Figure 20 : Station G4 Brenne, variante S221 de la chênaie acidiphile à alisier torminal, peuplement essentiellement composé de chênes pédonculés au stade perche, PB (JB Reboul)

L'exemple précédent illustre bien cette problématique. L. Milard (2005) distingue dans les essences naturellement présentes certaines à but productif, d'autres à but cultural ou biologique. Les essences à but productif seront les essences adaptées à la station sans risque de dépérissement. Ce sont les essences conseillées lors des plantations et lors de la régénération. Les essences à but cultural, biologique sont les essences présentes sur la station, mais plus ou moins bien adaptées avec un risque de dépérissement ou les essences à faible valeur marchande. Le problème est que les différentes phases sylvicoles ne sont pas distinguées.

Dans la figure précédente, le chêne pédonculé serait classé comme une essence à but cultural car il est peu adapté à la station. On ne peut pas dire pourtant que le chêne pédonculé est à but cultural ici, car en étant l'essence dominante du peuplement, c'est l'essence objectif. Par contre, c'est une essence objectif à risque : plutôt que tout couper, il faut la mener le plus vite possible. Dans le cadre du renouvellement de ce peuplement, le chêne pédonculé ne sera plus une essence objectif mais d'accompagnement soit à rôle cultural. Le chêne sessile et le pin maritime deviendront les essences objectifs.

C'est pour cela qu'il faut séparer la gestion en 2 groupes, en fonction de la phase sylvicole :

1) Phase d'amélioration, peuplement établi :

- essences principales :
 - . en station « + » : gestion classique
 - . à risque « -+ » : aller vite si possible
 - . hors station « - » : Ne faut il pas renouveler dès que c'est vendable ?
- essences d'accompagnement :
 - . idem

2) Peuplement à renouveler et plantation :

- essences principales :
- essences d'accompagnement :

Au niveau des fiches synthétiques, un encadré reprendra cette méthode. Cette méthode donne en plus la possibilité de discuter sur le choix des essences pour le renouvellement à plus ou moins long terme. En fin de guide cet encadré pourra être complété par le tableau synthétique précédent et par une synthèse écrite sur l'adéquation des essences aux différentes unités stationnelles. Cette synthèse écrite par essences principales permet de faire un bilan sur leur autécologie. C'est un outil de plus pour former l'utilisateur du guide, afin qu'il comprenne l'importance de l'adéquation essence station.

4. 2. 3. Préconisations sylvicoles et synthèse des contraintes par variantes

Ces synthèses sur les variantes doivent être complétées par les préconisations sylvicoles. Ces dernières peuvent toucher la gestion de l'eau par le taillis ou la densité du peuplement, mais aussi la fragilité physique des sols avec une exploitation appropriée et aussi la fragilité chimique avec le dépôt de rémanents. Il ne faut pas oublier la gestion de la végétation concurrente. Cette synthèse sur les contraintes et les préconisations sylvicoles par variantes permet de réfléchir à l'investissement forestier.

4. 2. 3. 1. Gestion de l'eau

La contrainte de l'engorgement et la contrainte de la réserve en eau peuvent être atténuées par une gestion appropriée. Dans les chapitres précédents, une gestion irrégulière des peuplements pour les variantes très engorgées de la chênaie sessiliflore ligérienne à alisier torminal est proposée.

La plupart des peuplements en région Centre sont issus d'anciens taillis et taillis sous futaie. Les coupes rases des taillis sont malheureusement encore trop souvent pratiquées dans ces taillis avec réserves. Cela déprécie fortement les réserves avec une mise en lumière brutale et une perte d'ambiance forestière. Ces coupes rases de taillis ont un fort impact sur les essences sensibles à la sécheresse d'autant plus que l'on est sur des variantes à faible réserve en eau ; l'évaporation du sol est renforcée et les réserves isolées transpirent plus et ont donc une consommation en eau plus importante. Leur effet est ainsi négatif sur la résistance à la sécheresse des réserves. Dans ces taillis avec réserve, il est aussi néfaste de ne pas éclaircir le taillis pour les variantes sèches. L'effet asséchant du taillis est alors trop important avec une réserve en eau qui se videra rapidement lors de la saison de végétation. De même, les coupes rases de taillis sur les variantes engorgées sont néfastes. Le taillis, qui débouffe souvent avant les réserves pompe l'eau de la nappe, ce qui limite la nappe temporaire. Une fois le taillis coupé, elle reste plus longtemps au printemps et peut être néfaste à des essences sensibles à l'hydromorphie comme le merisier. La gestion du taillis dans ces peuplements de taillis avec réserve est primordiale, d'autant plus sur les variantes sèches et les variantes engorgées.

Il faut proscrire les coupes rases de taillis comme le fait de ne pas les éclaircir, pour les variantes sèches et engorgées. Cela rejoint les préconisations sylvicoles classiques sur la gestion du taillis dans les SRGS.

Le forestier peut également jouer sur l'économie en eau de la station en maintenant une certaine densité de tiges à l'hectare. Dans le cas de la figure 20, les interventions ont été importantes aux stades jeunes avec un détournement des perches d'avenir. Le nombre de tiges à l'hectare est ainsi faible et la concurrence pour l'eau pour une essence sensible à la sécheresse comme le chêne pédonculé est atténuée. La gestion sylvicole de ce peuplement après ce détournement précoce est plus prudente. L'ambiance forestière doit être conservée pour le chêne pédonculé. Les plus belles tiges sont

progressivement détournées avec des passages en éclaircies réguliers, afin qu'elles développent leur houppier. Les scénarios classiques de futaie régulière, moins dynamiques, sans détourage sont déconseillés pour ces variantes limites avec des arbres étriqués, une croissance ralentie et une sensibilité sécheresse plus élevée.

4. 2. 3. 2. Gestion de la végétation concurrente

Il faudra insister sur la contrainte de la végétation, lors de la présentation de l'habitat mais aussi dans le chapitre des variantes. Ce sont la plupart du temps des espèces héliophiles. Il faut ainsi une bonne gestion de la lumière, lors de l'ouverture des peuplements.

Exemple : une constante, quelle que soit la variante de la hêtraie atlantique à houx et de la chênaie sessiliflore à alisier torminal, c'est le risque d'explosion de la fougère aigle, lors de l'ouverture du peuplement. Elle étouffe les plants et la régénération. De même, ces deux habitats sont fragiles chimiquement. Le risque de dégradation plus poussé du sol dû à un envahissement par les éricacées, est non négligeable. Une solution est de toujours garder un léger couvert forestier, pour empêcher l'explosion de ces espèces héliophiles. Sinon il faudra encore investir pour les traiter chimiquement ou intervenir mécaniquement (battage ...). Mais l'utilisation de phytocides est de plus en plus limitée.

4. 2. 3. 3. Investissement financier

La clé des variantes des habitats isole les stations les plus contraignantes, là où il faut limiter l'investissement forestier.



Figure 21 : Perche, station 3162, variante L311 de la chênaie acidiphile à alisier torminal (envahissement par les éricacées) (JB Reboul)

La figure 21 présente un cas de variante très dégradée de la chênaie acidiphile à alisier torminal. Cette variante a une pierrosité très importante. Le drainage de ces sols est important et explique la faible richesse chimique, avec un dysmoder épais. Sa fertilité est très faible avec une croissance faible. Il faut y limiter les investissements forestiers. Ces derniers seraient aléatoires, avec des plantations résineuses compliquées par la forte pierrosité et un faible retour sur investissement à cause d'une croissance réduite. Il vaut mieux gérer l'existant avec notamment l'exploitation progressive du taillis pour le bois de feu (ici bouleau) et l'amélioration, au profit des rares perches de chêne sessile de qualité. Les coupes rases de taillis devront être évitées, afin d'éviter un envahissement encore plus important par les éricacées et une dégradation encore plus poussée.

4. 3. Conclusion sur la formation de futures unités stationnelles

Tous ces éléments de synthèse sur les variantes permettront de décider du regroupement d'un certain nombre de ces dernières, dans des futures unités stationnelles. Il reste un dernier élément de synthèse à intégrer pour les variantes, la sensibilité au changement climatique. Ce dernier élément de synthèse présenté dans la partie suivante aidera à valider le regroupement de certaines variantes.

5. Intégration du changement climatique dans le guide simplifié de choix des essences

5. 1. Changement climatique en région Centre

5. 1. 1. Changements climatiques observés

Un certain nombre de changements climatiques ont été observés ces cinquante dernières années. Certains indices ont un changement significatif au sens statistique. Pour d'autres, les évolutions ne sont pas encore significatives.

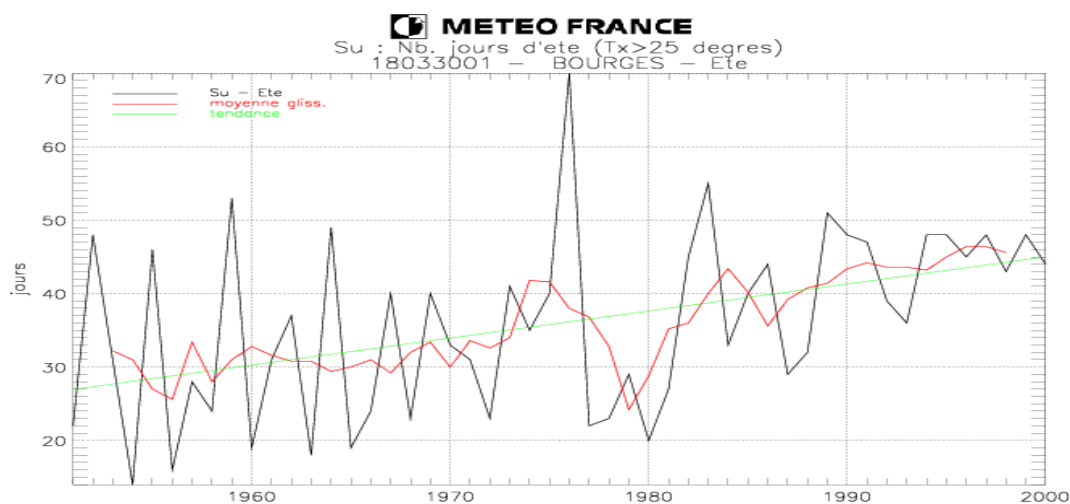


Figure 22 : Hausse des températures significative, exemple de Bourges, évolution du nombre annuel de jours où la température maximale dépasse 25 ° C sur la période 1951-2000

Tous les indices liés à l'augmentation de la température ont évolué significativement ces cinquante dernières années. Ainsi, le nombre de jours où la température maximale dépasse 25 °C a augmenté de façon significative sur Bourges (figure 22). Les étés sont plus chauds, ce qui renforce l'évapotranspiration. La température moyenne annuelle est en hausse, favorisant l'allongement des saisons de végétation. Ce dernier a un fort impact sur les peuplements forestiers. Les arbres risquent de débourrer alors que les sols sont encore engorgés. Si c'est le cas, les peuplements débourreront en période de risque de gelées. Les impacts écophysiologiques de cette hausse de températures sont nombreux. Quid de l'effet des hausses de température sur l'aoûtement avec les mises en réserve des éléments minéraux ? Sur la levée de dormance avec le froid ? Les champs de recherche de l'impact de ce réchauffement sur la physiologie des arbres et des graines sont nombreux. Le temps du stage a été insuffisant pour en faire une synthèse.

L'évolution des précipitations et celle du bilan hydrique climatique sont moins flagrantes ce qui ne permet pas d'observer une tendance significative, quelle que soit la période d'observation (année, saison de végétation, hiver...).

La hausse des événements climatiques extrêmes comme les canicules est avérée.

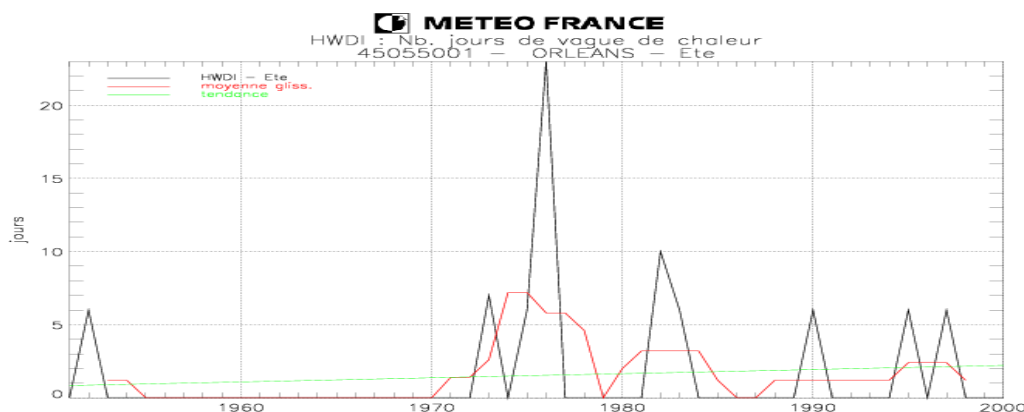


Figure 23 : Plus grande fréquence de vagues de chaleur au cours des cinquante dernières années à Orléans

Le délai de retour des événements climatiques extrêmes est plus faible. Un peuplement forestier sur une station donnée rencontrera des aléas climatiques plus fréquemment.

5. 1. 2. Changements climatiques à venir

Il faut être prudent sur les impacts du changement climatique dans 100 ans. Pour l'instant, seuls les températures et le délai de retour d'événements climatiques extrêmes ont évolué significativement. On peut tout de même s'aider des modèles sur l'évolution climatique, comme celui de Météo-France « ARPEGE » basé sur le scénario A2 du GIEC. Ces sont des indicateurs des évolutions potentielles et des précautions qu'il faudra éventuellement prendre.

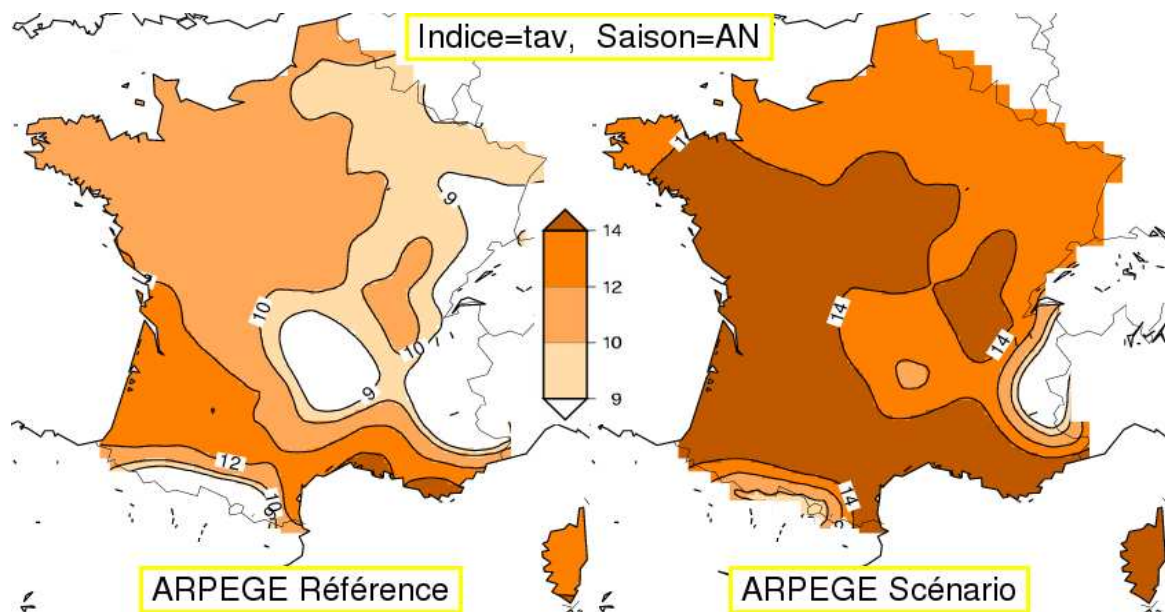


Figure 24 : Température moyenne actuelle et température moyenne que l'on pourrait avoir dans 100 ans selon le modèle ARPEGE basé sur le scénario A2

Ces modèles prévoient :

- une hausse des températures en toute saison, qui aura un fort impact sur la physiologie de nombreuses essences.
- une augmentation des pluies hivernales, qui pourra se traduire par un engorgement hivernal renforcé.
- une baisse des pluies estivales et une plus grande fréquence des événements climatiques extrêmes comme les périodes de canicule, qui nécessitent de bien définir l'économie en eau des stations.

Il faut réussir à définir la sensibilité des variantes des habitats, dans le cadre de ce climat changeant.

5. 2. Définir la sensibilité des variantes au changement climatique

5. 2. 1. Les variantes définies actuellement sont-elles pertinentes dans le cadre du changement climatique ?

L'entrée habitat est une amélioration pour l'intégration du risque du changement climatique. En distinguant l'aire de la hêtraie et de la chênaie, on isole des zones dont la sensibilité est différente au changement climatique.

Dans les zones de la hêtraie, des essences comme le hêtre ou le douglas ne seront certainement plus à leur place, contrairement au chêne sessile. La hêtraie à garance voyageuse sera probablement sensible. De nombreuses essences de milieux à forte humidité atmosphérique ne seront plus à leur place comme

le hêtre, le frêne... Dans certaines variantes très sèches de la chênaie sessiliflore, on pourra s'interroger sur la place du chêne sessile. La clé des habitats sera donc un outil efficace pour pointer les formations qui seront très sensibles au changement climatique au niveau de leur composition en essence.

La clé des variantes des habitats, en isolant les types les plus contraignants actuellement est une seconde sécurité. Certaines variantes comme pour l'engorgement ont nécessité une grande précision ; cela se justifie pour le changement climatique. Il est pertinent d'avoir isolé trois niveaux d'engorgement, pour la chênaie sessiliflore ligérienne à alisier torminal. En effet, les variantes peu engorgées risquent d'avoir un engorgement plus contraignant dans le futur, si le niveau de précipitations hivernales est plus élevé. De même, le fait d'avoir distingué trois niveaux de réserve en eau pour les formations sableuses est pertinent. Le changement climatique pousserait à regrouper les sables moyennement épais avec les sables épais alors qu'actuellement, on aurait tendance à regrouper les sables moyennement épais avec les sables peu épais. Pour les formations limoneuses, c'est dommage de n'avoir considéré que deux niveaux de réserve en eau. Les stations sur limon avec une très forte pierrosité à partir de 50 cm de profondeur seront également sensibles à ces variations.

Ce chapitre montre la nécessité de la prise en compte du changement climatique, pour le regroupement le plus cohérent des variantes au sein des unités stationnelles. Il faut éviter au maximum que les unités stationnelles actuelles soient divisées dans le futur.

5. 2. 2. De nombreuses méthodes pour appréhender le changement climatique

La modélisation de l'évolution de la répartition des essences est un outil pour appréhender l'impact du changement climatique. Le LERFOB a fourni les modèles sur l'évolution de la répartition du hêtre, du chêne sessile et du chêne pédonculé. La carte sur l'évolution de la répartition du hêtre sera un bon indicateur de l'évolution climatique, car ce changement sera dû uniquement au climat. La carte sur la présence actuelle du hêtre est déjà un bon indicateur, car on isole les différentes zones climatiques de la région Centre avec sa probabilité de présence, mais elle est également liée à des caractères édaphiques.

Bien caractériser actuellement, les différentes zones climatiques de la région Centre serait suffisant. Les régions sèches aujourd'hui seront encore plus sèches dans le futur. L'intérêt du guide des stations est d'isoler ces différentes zones. La base de données ECOPLANT a permis de récolter les données climatiques du modèle Aurhély pour les relevés des catalogues de station. Il faudrait faire une ACP de ces données climatiques, complétée par les données climatiques des postes météo de la région, afin de différencier et caractériser ces zones. Cette analyse compléterait la carte de répartition du hêtre, afin de réaliser une carte sur les zones climatiques.

On a tendance souvent à associer les dépérissements au changement climatique. La prudence est de mise avec cette affirmation. Les causes de dépérissement sont multiples, avec un effet de la sylviculture, des attaques d'insectes, des essences hors station... Une étude station-dépérissement, en particulier pour le chêne pédonculé, à partir des variantes que l'on a définies serait un moyen de tester leur pertinence et l'impact du changement climatique. Une collaboration avait été évoquée avec le département de la santé des forêts intéressé par l'outil, mais le temps a été insuffisant pour approfondir cette piste lors du stage.

Le problème des trois méthodes précédentes est que l'on ne caractérise pas la sensibilité des stations au changement climatique. La méthode suivante, inspirée par S. Gaudin en 2007, est une méthode qui permet de caractériser cette sensibilité.

5. 2. 3. Une note pour caractériser l'économie en eau des stations

On a montré précédemment que les variables caractérisant l'économie en eau avaient été codées (partie III, chapitre 3. 4. 3, annexe). Les codes des variables suivantes sont sommés par station pour donner une note sur l'économie en eau:

- réserve utile maximale sur 1 m.
- drainage latéral.
- exposition.
- bilan hydrique climatique de la saison de végétation.
- profondeur où les taches rouilles et de décoloration de l'hydromorphie dépassent 40 % de la matrice.

Il faudra peut être modifier le codage de certaines variables comme le drainage latéral. En effet, en fond de vallon, une faible réserve utile maximale est largement compensée. De même, une réserve utile maximale moyenne est bien diminuée par une position drainante sur haut de versant. Il faut donc accorder une note importante pour la position de fond de vallon et une note faible pour le haut de versant. Cette méthode permettra de voir la variabilité de la note en économie de l'eau des variantes et leur sensibilité au changement climatique.

L'autre solution proposée par S. Gaudin était une clé pour évaluer l'économie en eau. La clé des habitats et des variantes est une première base pour atteindre ce but, grâce à l'entrée par bioclimats, la différence faite des fonds de vallon des autres positions topographiques, la définition des variantes engorgées et de variantes à faible réserve en eau. Elle est insuffisante, car elle n'intègre pas plus la topographie avec l'effet des versants.

Cette note de synthèse sur l'économie en eau permet de classer les stations selon un gradient de sensibilité à la sécheresse. C'est un outil en plus pour le conseil sur le choix des essences. Plus cette note sera faible, plus une essence comme le chêne pédonculé sera déconseillé actuellement et dans le futur. C'est également un outil sur la place des essences à moyen et à long terme. Par exemple pour les variantes sèches de la chênaie sessiliflore ligérienne à alisier torminal, avec une note en économie de l'eau faible, le chêne sessile sera actuellement encore conseillé. À moyen terme, lors de la régénération, il faudra se poser la question s'il est bien à sa place en fonction des évolutions observées.

La cohérence des variantes formées sera vérifiée par la moyenne et la variabilité des notes en économie de l'eau des relevés.

5. 2. 4 Sensibilité et risque économique

Cette notion de sensibilité des stations au changement climatique est complexe. Elle peut être traduite comme l'impact sur l'écosystème forestier et son fonctionnement avec un fort taux de dépérissement. Elle peut être aussi traduite comme un risque de pertes économiques. Dire alors que plus la note en économie de l'eau de la station est faible, plus l'impact du changement climatique sera important est faux. Actuellement, les investissements forestiers sont déjà limités sur les stations à faible réserve en eau. La fertilité est limitée et le risque de dépérissement est important. Il est déjà déconseillé de planter ou de régénérer des essences comme le chêne pédonculé nécessitant une bonne réserve en eau. S. Gaudin en 2007 a proposé de croiser la fertilité avec cette note en économie de l'eau pour définir la sensibilité des stations au changement climatique.



Figure 25 : Champagne berrichonne, station C3 chênaie sessiliflore à fragon variante sèche, substrat calcaire cohérent à 35 cm de profondeur, faible fertilité, risque économique faible. (JB Reboul)



Figure 26 : Champagne Berrichonne, station C6 chênaie sessiliflore à fragon, substrat calcaire cohérent à 60 cm de profondeur, bonne fertilité, risque économique important, peuplement composé essentiellement de chênes pédonculé. (JB Reboul)

Dans le cas du premier exemple de la figure, la sensibilité serait faible à moyenne : une faible fertilité en lien avec la réserve en eau. La sensibilité au changement climatique du deuxième exemple serait élevée, avec une note en économie de l'eau moyenne et une fertilité actuelle élevée.

Le risque économique est plus important pour les stations avec un bon indice de fertilité mais avec une note en économie de l'eau faible ou moyenne.

Les investissements forestiers sont déjà limités dans le premier exemple, avec une station peu valorisable. Dans le deuxième exemple, le peuplement est composé de chênes pédonculés qui sont actuellement à leur place. Lors de la régénération de ces peuplements, que faudra-t-il faire sur cette station à bonne fertilité, mais avec une sensibilité au changement climatique ? Faudra-t-il repartir sur le chêne pédonculé avec un risque de dépérissement important à moyen terme ou faudra-t'il avoir les surcoûts initiaux de la plantation de chênes sessiles ?

Les stations à risque important seront les stations à forts enjeux pour l'investissement forestier.

Ce type de raisonnement, croisant la note en économie de l'eau et la fertilité sera utilisé, pour isoler les variantes aux enjeux importants dans le cadre du changement climatique. Pour les variantes avec une fertilité faible et une faible note en économie en eau, on déconseillera des essences nécessitant une bonne réserve en eau. Pour ces variantes à enjeu économique important, on insistera sur la place des essences limites à moyen terme.

Conclusion

Ce stage a mis en place une méthodologie définissant des unités stationnelles cohérentes dans le temps et dans l'espace. Il a cherché à dégager les contraintes de production, en partant des habitats. Ces derniers sont un premier lien efficace et rapide entre stations similaires. Les contraintes sont isolées grâce à la définition des variantes des habitats. Elles sont définies soit à dire d'expert pour les habitats marginaux, soit par analyse statistique pour les habitats répandus. Ces variantes, engorgées, liées à la richesse chimique ou à la réserve en eau servent de base à la définition d'unités stationnelles. Ainsi leur pertinence avec le choix des essences et les conseils de gestion est analysée, celles qui sont similaires seront regroupées. Les unités stationnelles formées doivent être cohérentes dans le cadre du changement climatique. Il est intégré en définissant les différentes zones climatiques de la région Centre et en donnant une note en économie de l'eau par station. La première entrée du futur guide sera le grand type de formations et une seconde isolera les variantes contraignantes.

Cette méthode sera étendue à l'ensemble des habitats et les manques soulignés, comme une définition insuffisante des groupes écologiques, seront corrigés. Le but ultime de cette seconde étape de généralisation de la méthode sera de rédiger les clés de reconnaissance des unités stationnelles et les fiches synthétiques. Ces dernières seront fournies au technicien et au comité de pilotage afin qu'ils puissent les tester sur le terrain et apporter leurs remarques. Le guide pourra être également testé en cartographiant les unités stationnelles de quelques propriétés forestières. La cartographie permettra de voir la pertinence de ces dernières. Les corrections nécessaires seront alors apportées et le guide simplifié sera rédigé.

Dans ce rapport l'aspect de présentation du guide simplifié n'a pas beaucoup été abordé. Une bonne présentation est très importante, comme le montrent Dumé et Forêt (2006). Il faut qu'elle soit claire et agréable à lire. Beaucoup de guides même simplifiés restent hermétiques car la présentation a été négligée avec des clés trop condensées et trop de textes. Au contraire, d'autres ont une présentation trop aérée, voire lacunaire avec peu de texte et de nombreuses photos. Il faut ainsi trouver un équilibre entre l'illustration et la quantité de texte. La rédaction du guide simplifié n'aura servi à rien, si on ne songe pas à sa valorisation. Il finirait alors dans un de ces fameux placards, mer de poussière, sous les combles d'un grenier peu visité pour ces antiquités.

Ce guide sera utilisé uniquement si les gestionnaires et les propriétaires sont formés. La sortie de ce guide devra être accompagnée par des réunions forestières sur son utilisation. Les cycles FOGFOR proposent souvent une formation sur l'aspect stationnel. Ils devront utiliser ce guide comme support. Les CETEF et GEDEF organisent régulièrement des réunions sur la pédologie ou la botanique. Il faudra profiter de ces réunions pour présenter ce guide, tout en insistant sur l'importance du diagnostic stationnel, pour cerner les contraintes de production.

Une série d'article dans la revue de la forêt privée en région Centre « *Notre forêt* » pointant divers aspects des contraintes stationnelle pourra être publiée, afin d'accompagner la sortie du guide.

Il existe de nombreux autres moyens originaux de le valoriser. En Champagne-Ardenne, des parcours pour l'auto-formation en reconnaissance des stations ont été réalisés. En Aquitaine, un guide de vulgarisation sur les formations forestières réalisé par le centre régional de la propriété forestière a été mis sur internet.

La cartographie des unités stationnelles est une valorisation de ce guide, qu'il ne faut pas oublier. C'est un outil de gestion. Croiser une carte des unités stationnelles avec une carte des peuplements est un outil de décision pour le martelage et permet d'orienter les conseils.

Ce guide à l'échelle régionale pourra servir de base à la réalisation de nombreuses études. On peut imaginer à l'instar de Nebout et Macaire (1993) un guide de sylviculture du chêne sessile et du chêne pédonculé, avec des itinéraires sylvicoles spécifiques aux différentes unités stationnelles.

Bibliographie

Augusto L., Ranger J., Bonneau M. 2000. *Influence des essences sur la fertilité chimique des sols. Conséquences sur les choix sylvicoles*. Revue Forestière Française 52 (6) : 507-518.

Aussenac G., Guehl J-M. 2005. *Variations climatiques et physiologie des arbres*. Forêt-entreprise (162) : 20-24.

Bazin N., Gaudin S. 2004. *La cartographie des stations: méthodes et conseils*. Centre Régional de la Propriété Forestière de Champagne-Ardenne.

Boiron P. 2000. *Catalogue de typologie des stations forestières du Boischaut Nord - Gâtine Sud tourangelle*. Chambre d'agriculture de l'Indre. 377 p.

Brêthes A. 1993. *Les types de station forestière de l'Orléanais*. ONF. 400 p.

Brêthes A. 2003. *Les stations forestières de la Champagne Berrichonne et du Boischaut-Sud (Départements du Cher et de l'Indre)*. ONF. 588 p.

Brêthes A. 2008. *Une nouvelle association phytosociologique sur sol engorgé fortement argileux en région Centre : le Brachypodio pinnati-Quercetum roboris*. Colloque phytosociologie des 12, 13 et 14 novembre 2008 à Velaine en Haye.

Cavaignac S. 2008. *Programme SER. Consultation régionale : Régions Centre et Île-de-France*. IFN. 23 p.

Cavaignac S. 2008. *Programme SER. Proposition de zonage pour le territoire semi-océanique centre nord*. IFN. 50 p.

Centre régional de la propriété forestière. 2005. *Contexte région Centre*. SRGS. 46 p.

Centre régional de la propriété forestière. 2005. *Diagnostic et Gestion Sylvicole*. SRGS. 46 p.

Centre régional de la propriété forestière. 2005. *L'Eure-et-Loir*. SRGS. 28p.

Centre régional de la propriété forestière. 2005. *L'Indre*. SRGS. 32 p.

Centre régional de la propriété forestière. 2005. *L'Indre et Loire*. SRGS. 32 p.

Centre régional de la propriété forestière. 2005. *Le Loiret*. SRGS. 32 p.

Centre régional de la propriété forestière. 2005. *Le Loir-et-Cher*. SRGS. 32 p.

Centre régional de la propriété forestière. 2007. *Les pins de la région Centre*. Plaquette. 35 p.

Charnet F. 1988. *Catalogue des types de station forestière du Perche*. Centre régional de la propriété forestière d'Ile de France et du Centre. 583 p.

Charnet F. 1994. *Typologie des stations actuellement et potentiellement forestières de la Sologne*. IDF.

Charnet F. 2005. *Diagnostic stationnel et besoin en eau des principales essences forestières*. Forêt-entreprise (162) : 42-48.

- Chevalier R., Berger L., Gilbert J-M., Gosselin F. 2001. *Station forestière et végétation spontanée d'accompagnement : perspectives pour la diversification des jeunes pineraies de l'Orléanais*. Revue Forestière Française 53 (2) : 151-170.
- Colombet M. 2000. *Guide du sylviculteur de Moyenne Vilaine : identification des stations forestières et mise en valeur des espaces boisés*. Centre régional de la propriété forestière de Bretagne. 64 p.
- Doussot R., Pesme X., Rosa J. et Sevrin E. 2008. *Connaitre ses peuplements à base de chênes pour les gérer au mieux*. Chêne-avenir. 77 p.
- Dumé G., Forêt M. 2006. *Les outils d'aide à la reconnaissance des stations forestières et au choix des essences*. Inventaire Forestier National. 224 p.
- Gauberville C. 1990. *Les types de station forestière du Pays-Fort*. Centre Régional de la Propriété Forestière d'Ile de France et du Centre. 247 p.
- Gauberville C. 2003. *Les habitats forestiers en région Centre Description, détermination et répartition provisoire*. Recherches Naturalistes en Région Centre (n°12):3 - 48.
- Gaudin S. 2006. *Utiliser et valoriser une carte des stations ; exemple en Brie Champenoise*. Centre régional de la propriété forestière de Champagne-Ardenne. 12 p.
- Gaudin S. 2007. *Prise en compte du changement climatique dans les guides et catalogues de stations : premières approches*. Centre Régional de la Propriété Forestière de Champagne-Ardenne. 22 p.
- Gégout J-C. 2001. *Création d'une base de données phytoécologiques pour déterminer l'autoécologie des espèces de la flore forestière de France*. Revue Forestière Française 53 (3-4) : 397-403.
- Gégout J-C., Bailly G., Jabiol B. 2002. *Banques de données phytoécologiques EcoPlant, Dictionnaire des données, Version 5*. ENGREF. 39 p.
- Gégout J-C., Piedallu C., Cornu J-F, Cluzeau C. 2008. *La cartographie prédictive des stations forestières : un nouvel outil au service du gestionnaire*. Revue Forestière Française 60 (1) : 37-60.
- Gégout J-C, Rameau J-C, Renaux B, Jabiol B, Bar M, Marage D. 2008. *Les habitats forestiers de la France tempérée ; typologie et caractérisation phytoécologique*. AgroParisTech-ENGREF, Nancy. 720 p.
- Gilbert J-M., Chevalier R. 1996. *Autoécologie du pin laricio de Corse dans les pays de la Loire et en région Centre*. Forêt-entreprise (109) : 52-56.
- Gilbert J-M., Chevalier R., Dumas Y. 1995. *Autécologie du pin laricio de corse dans le secteur ligérien*. CEMAGREF.
- Girault D. 1988. *Les stations forestières de la Puisaye*. CEMAGREF. 246 p.
- Gonin P. 2001. *Les types de stations forestières sur les petites Pyrénées, le Plantaurel et la bordure sous pyrénéenne, 2 : Méthodologie*. Centre régional de la propriété forestière de Midi-Pyrénées. 30 p.
- Gosselin M., Valadon A., Berges L. et al. 2006. *Prise en compte de la biodiversité dans la gestion forestière : état des connaissances et recommandations*. Office national des forêts – CEMAGREF. 161 p.
- Jabiol B. 1990. *Le relevé des paramètres du sol en vue d'une estimation de ses contraintes et de ses aptitudes pour les arbres*. FIF-ENGREF. ENGREF. 30 p.

- Jabiol B, Ranger J, Richter C. 2000. *Sol sensible ou résistant ? Eléments simples de diagnostic de la sensibilité à la dégradation chimique ou physique*. La forêt privée (253) : 30-46.
- Lebourgeois F. 2000. *Autécologie de quelques essences feuillues, ENGREF-FIF 1ère année*. ENGREF. 137 p.
- Lebourgeois F. 2000. *Autécologie de quelques essences résineuses, ENGREF-FIF 1ère année*. ENGREF. 110 p.
- Lebourgeois F. 2003. *Système racinaire : "Morphologie et réponses aux contraintes" et autoécologie des essences sur sols à nappe temporaires, ENGREF-FIF 1ère année*. ENGREF.
- Lebourgeois F. 2007. *Autécologie des principales essences forestières françaises, ENGREF-FIF 1ère année*. ENGREF.
- Lebourgeois F., Jabiol B. 2002. *Enracinements comparés du chêne sessile, du chêne pédonculé et du hêtre. Réflexions sur l'autoécologie des essences*. Revue Forestière Française 54 (1) : 17-42.
- Lebourgeois F., Piedallu C. 2005. *Appréhender le niveau de sécheresse dans le cadre des études stationnelles et de la gestion forestière à partir d'indices bioclimatiques*. Revue Forestière Française 57 (4) : 331-355.
- Lévy G., Lefèvre Y. 2001. *La forêt et sa culture sur sol à nappe temporaire*. ENGREF. 223 p.
- Merrien T. 2005. *Construction d'une typologie de stations forestières liée à la phytosociologie, à partir de relevés existant sur le territoire du Parc naturel régional Livradois-Forez*. Mémoire de fin d'études FIF. 121 p.
- Milard L. 2005. *Guide pour l'identification des stations et le choix des essences du Pays d'Othe, Champagne sénonaise, Gâtinais oriental, Puisaye des plateaux*. Centre de formation professionnelle et de promotion agricole de Croigny. 114 p.
- Nebout J-P., Macaire A. 1993. *Guide du sylviculteur du bocage Bourbonnais*. Centre régional Auvergne de la propriété forestière, Centre d'Etudes Forestières de l'Allier, office national des forêts. 77 p.
- Nicloux C. 1999. *Typologie des stations forestières de la Brenne ; liens dynamiques avec les milieux ouverts*. Centre régional de la propriété forestière d'Ile-de-France et du Centre. 639 p.
- Perrier C., Gaudin S., Madesclaire A. 2007. *Guide pour l'identification des stations et le choix des essences en Argonne*. 118 p.
- Ponge J-F. 1999. *Biodégradation des sols forestiers, causes et remèdes*. La forêt privée (248) : 55-60.
- Rameau J-C. 1994. *Typologie phytosociologique des habitats forestiers et associés; types simplement représentatifs ou remarquables sur le plan patrimonial. Tome 2 complexes riverains*. ENGREF.
- Rameau J-C. 1994. *Typologie phytosociologique des habitats forestiers et associés; types simplement représentatifs ou remarquables sur le plan patrimonial ; Tome 3-1 complexes sylvatiques, caducifoliés, mélangés, mixtes; étages collinéen et montagnard sous influences atlantiques, méditerranéennes ou supraméditerranéennes*. ENGREF.
- Rameau J-C. 2001. *Données de l'IFN et habitats forestiers*. Revue Forestière Française 53 (3-4) : 359-364.

Rameau J-C, Gauberville C, Drapier N. 1989. *Flore Forestière Française, Tome 1, Plaines et Collines*. IDF. 1785 p.

Rameau J-C, Gauberville C, Drapier N. 2000. *Gestion forestière et diversité biologique ; identification et gestion intégrée des habitats et espèces d'intérêt communautaire. France, domaine atlantique*. IDF.

Riou-Nivert P. 2008. *Changements climatiques : les interrogations des sylviculteurs*. Forêt-entreprise (180).

Riou-Nivert P. 2008. *Changements climatiques : les interrogations des sylviculteurs*. Forêt-entreprise (182).

Sites internet visités

Données météo France et modèle ARPEGE : <http://imfref.mediasfrance.org/web/index>

Site de l'outil statistique utilisé, ADE4 : <http://pbil.univ-lyon1.fr/ADE-4-old/ADE-4F.html>

Rubrique de l'IFN sur la typologie des stations : <http://www.ifn.fr/spip/spip.php?rubrique20>

Présentations du colloque du 21 et 22 novembre 2006 à Paris "typologies des stations : blocages et avancées" : http://www.gip-ecofor.org/publi/page.php?id=1025&rang=0&domain=1&lang=fr_FR

Dossier thématique sur le changement climatique du portail du CNPFF : <http://www.foretpriveefrancaise.com/changement-climatique-et-forets-701385.html>

Liste des personnes contactées

Comité de pilotage							
Monsieur	BOIRON Patrice	Chambre d'Agriculture	24 rue des Ingrains		36022	CHATEAUROUX Cedex	02 54 61 61 45 p.boiron@indre.chambagri.fr
Monsieur	BRETHES Alain	ONF - DT Centre Ouest	100 Bd de la Salle	BP 18	45760	BOIGNY SUR BIONNE	02 38 65 02 97 alain.brethes@onf.fr
Monsieur	CHEVALIER Richard	CEMAGREF	Domaine des Barres		45290	NOGENT SUR VERNISSON	richard.chevalier@cemagref.fr
Monsieur	DUME Gérard	IFN	Domaine des Barres		45290	NOGENT SUR VERNISSON	gerard.dume@inf.fr
Monsieur	GAUBERVILLE Christian	CNPFF	13 Avenue des Droits de l'Homme	BP 9021	45921	ORLEANS CEDEX 9	christian.gauberville@cnpff.fr
Monsieur	LE BOURGEOIS F	Agro Paristech ENGREF	14 Rue Girardet		54042	NANCY CEDEX	lebourgeois@engref.fr
Monsieur	PIEDALLU Christian	Agro Paristech ENGREF	15 Rue Girardet		54042	NANCY CEDEX	piedallu@engref.fr
Monsieur	MASSE Franck	C.R.P.F.	38 Rue Augustin Fresnel	BP 139	37171	CHAMBRAY LES TOURS	franck.masse@crpf.fr
Monsieur	PESME Xavier	C.R.P.F.	43 Rue du Bœuf St Paterne		45000	ORLEANS	xavier.pesme@crpf.fr
Monsieur	SEVRIN Eric	C.R.P.F.	43 Rue du Bœuf St Paterne		45000	ORLEANS	eric.sevrin@crpf.fr
Personne ressource							
Monsieur	CHARNET François	IDF	13 Ave des Droits de l'Homme	BP 9021	45921	ORLEANS CEDEX 9	06 26 07 70 24

Liste des sigles

ACM : Analyse des correspondances multiples

ACP : Analyse en composante principale

AFC : Analyse factorielle des correspondances

AFORCE : Réseau mixte de recherche sur l'adaptation des forêts au changement climatique

CAH : Classification hiérarchique ascendante

CEMAGREF : Centre national du machinisme agricole, du génie rural, des eaux et des forêts

CETEF : Centre d'études techniques forestières

CRPF : Centre régional de la propriété forestière

FOGEFOR : Cycle de formation à la gestion forestière

GEDEF : Groupement d'études et de développement pour l'économie forestière

GIP ECOFOR : Groupement d'intérêt public sur les écosystèmes forestiers

IDF : Institut pour le développement forestier

IFN : Inventaire forestier national

LERFOB : Laboratoire d'études des ressources forêts-bois

ONF : Office national des forêts

PEFC : Programme of endorsement for forest certification

SER : Sylvo-éco-régions

SRGS : Schéma régional de gestion sylvicole

US : Unité stationnelle

Liste des annexes :

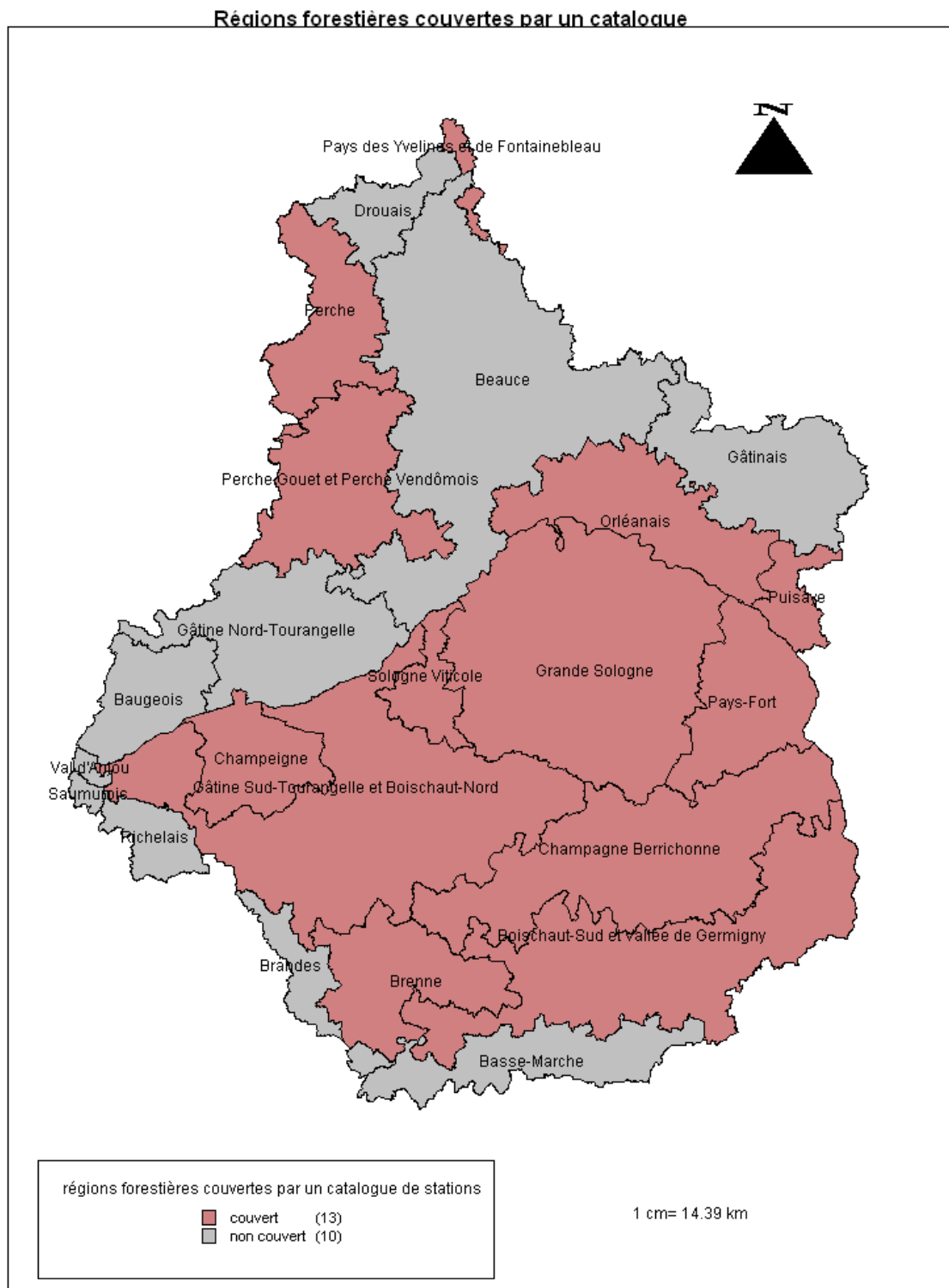
Annexe 1 : Liste des outils pour l'adéquation essence station en région Centre (source : IFN 2008) :	2
Annexe 2 : Régions forestières couvertes par un catalogue de stations forestières :	3
Annexe 3 : Clé de reconnaissance des habitats forestiers (C. Gauberville, 2003) :	5
Annexe 4 : Carte de répartition du hêtre, modèle du LERFOB, pas kilométrique (C.dallu, 2009).....	14
Annexe 5 : Groupes écologiques simplifiés (C.Gauberville, 2003)	15
Annexe 6 : Codage des variables de la base de données écologiques sur les stations :	18
Annexe 7 : Approche à dire d'expert exemple de la hêtraie – chênaie neutrophile à calcicole à garance voyageuse :	24
Annexe 8 : Méthode statistique de constitution de variantes pour la hêtraie-chênaie acidiphile atlantique à houx.....	27
Annexe 9 : Clé pour la reconnaissance des variantes de la hêtraie à garance voyageuse :	45
Annexe 10 : Clé de reconnaissance des variantes de la chênaie sessiliflore ligérienne à alisier torminal et de la hêtraie atlantique à houx :	46

Annexe 1 : Liste des outils pour l'adéquation essence station en région Centre (source : IFN 2008) :

Territoire couvert	Régions nationales IFN	Régions départementales IFN	Type de document	Cadre administratif	Cadre scientifique	Auteur(s)	Année	Disponibilité actuelle	Observations
Pays Fort	181	18.1, 45.6	PE, C	CRPF	CRPF, Institut d'Ecologie appliquée	Christian Gauberville	1990	Épuisé	PE réalisée en 1983.
Perche Gouët et Vendômois	412, 619	28.3, 28.5, 41.2	PE, C	CRPF	Engref Nancy, IDF, CRPF	François Charnet	1988		C est un rapport scientifique.
			GS			Christian Gauberville	1993	Épuisé	Un GS pour le nord, un pour le sud.
Orléanais	452	45.2	C	ONF, CRPF	ONF, CRPF	Alain Brêthes	1993	Disponible	Clé séparée, au format de poche, résistante sous la pluie.
Puisaye	89B	45.5	C	Cemagref Nogent	Cemagref Nogent	Denis Girault	1988	Limitée	C édité par le Cemagref. Cf. aussi BOURGOGNE.
Gâtinais - FD de Montargis	453	45.3	PE	Cemagref Nogent	Cemagref Nogent	Richard Chevalier, Yann Dumas, Jean-Michel Gilbert	1998		
Pays d'Othe, Champagne sénonaise, Gâtinais oriental et Puisaye des plateaux	893, 453, 514, 89B	45.3, 45.5	GS	CRPF Champagne-Ardenne, CFPPA Croigny	CRPF Champagne-Ardenne, Cemagref Nogent, IFN Nogent	Laurence Milard	2005	Disponible	Cf. aussi CHAMPAGNE-ARDENNE, BOURGOGNE et ÎLE-de-FRANCE.
Gâtine sud-tourangelle et Boischaut-nord	376	18.4, 36.1, 37.6, 41.4	PE	Chambre d'agriculture de l'Indre	IDF, Chambre d'agriculture de l'Indre	Pierre Monin	1988		
			C			Patrice Boiron	2000		
Sologne	415, 416	41.5, 18.6, 41.6, 45.4	PE	IDF	IDF, CRPF, ONF	François Charnet	1990		C est un rapport scientifique, qui traite aussi des stations potentielles.
			C				1994	Épuisé	
			GS				1998	Très limitée	
Brenne	364	36.4	PE, C	CRPF	CRPF, IDF, ONF, PNR, Chambre d'agriculture de l'Indre	Claude Nicloux	1999		C est un rapport scientifique, qui prend en compte les milieux ouverts.
Forêt domaniale de Montargis	453	45.3	C	Cemagref Nogent	Cemagref Nogent	Richard Chevalier, Jean-Michel Gilbert, Yann Dumas	1998		
Champagne berrichonne et Boischaut-sud (Cher et Indre)	188, 183	18.8, 36.2, 18.3, 36.5	PE, C	ONF	ONF	Alain Brêthes	2003	Disponible	
Basse-Marne et ses bordures septentrionales	236	18.2, 36.6	PE*, E*	CRPF, Cemagref Clermont-Ferrand	Cemagref Clermont-Ferrand, Université de Clermont-Ferrand II	Jean-Luc Meloux	1992		Il existe un rapport scientifique géomorphologique et pédologique. Cf. aussi LIMOUSIN.
			Po	Cemagref Clermont-Ferrand			1998		Diagnostic des potentialités en milieu ouvert. Cf. aussi LIMOUSIN.
Yveline et Essonne	754, 284, 453	28.1	PE, C	CRPF	CRPF, ONF, IDF, Université de Paris XI	Gilles Bailly, Thérèse Beauvils, Jean-Paul Party	2001		Indications sur les choix d'essences et correspondances avec les habitats. Cf. aussi ÎLE-de-FRANCE.
			GS				2002	Disponible	
Pin laricio et pin sylvestre en Sologne et Orléanais	416, 452	18.6, 41.6, 45.4, 45.2	Po	CRPF, Cemagref Nogent, Arbocentre	Cemagref Nogent	Jean-Michel Gilbert	1995		Rapport à diffusion limitée.

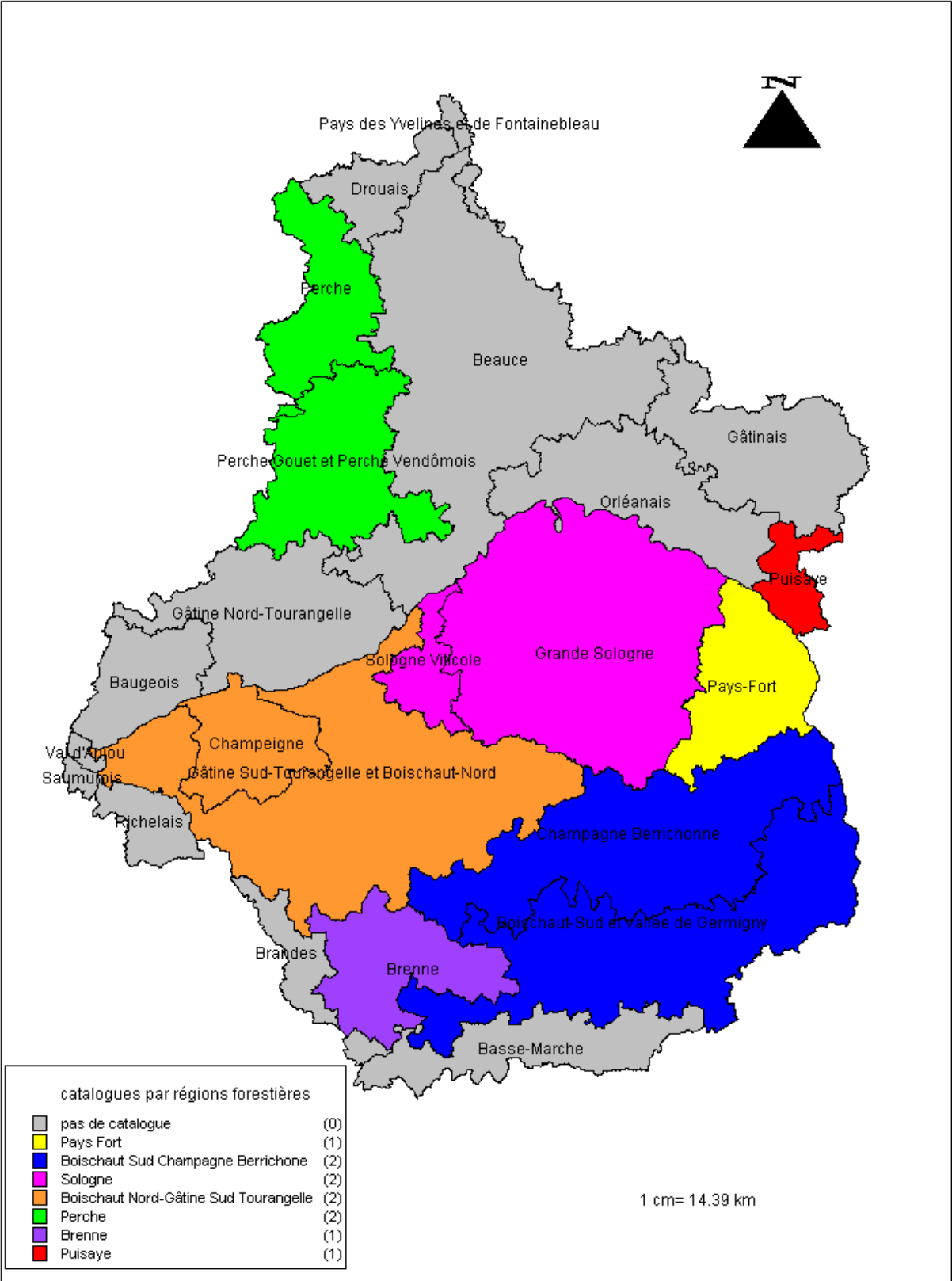
Annexe 2 : Régions forestières couvertes par un catalogue de stations forestières :

(Reboul JB à partir des régions forestières dans le sens du CRPF)

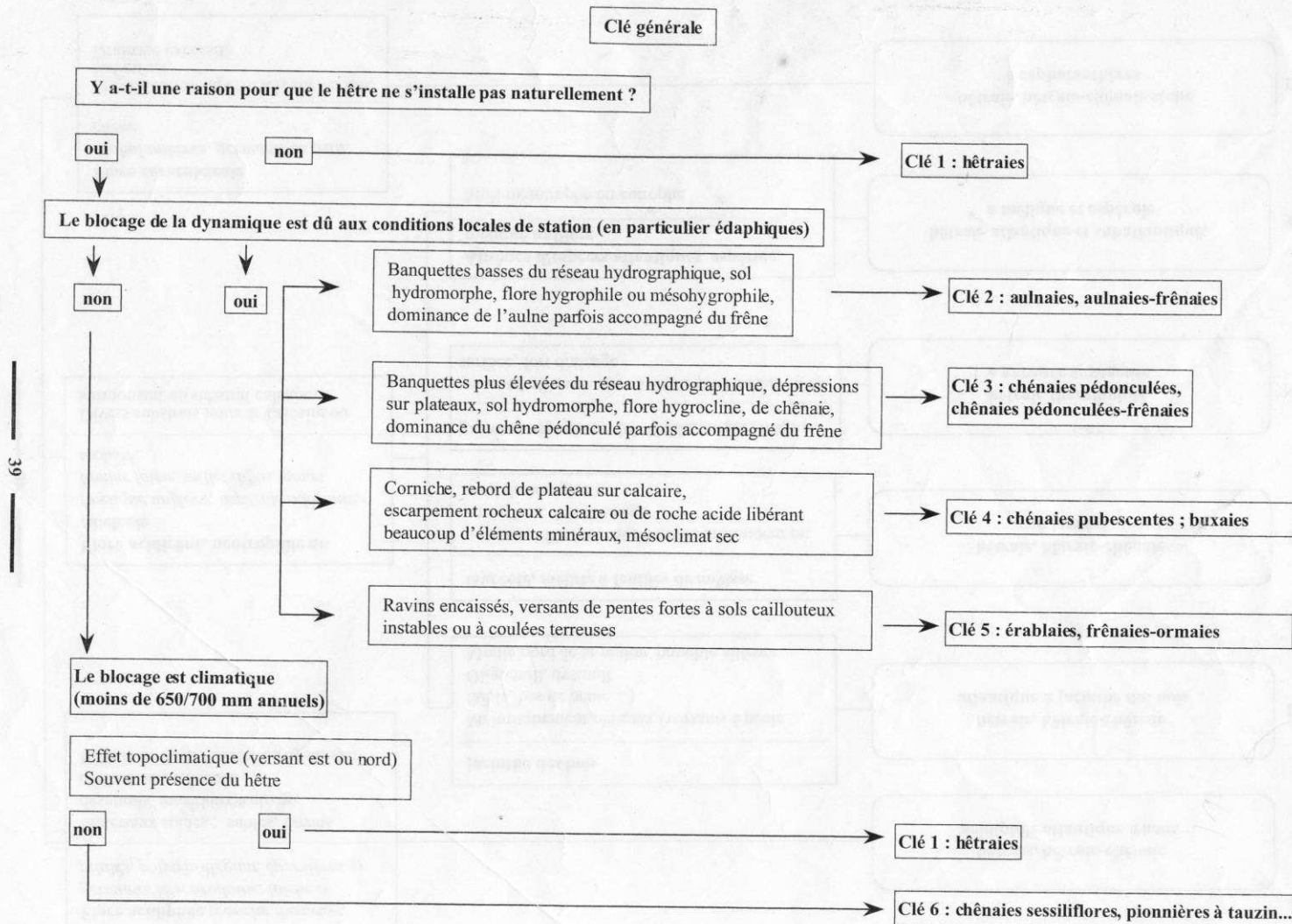


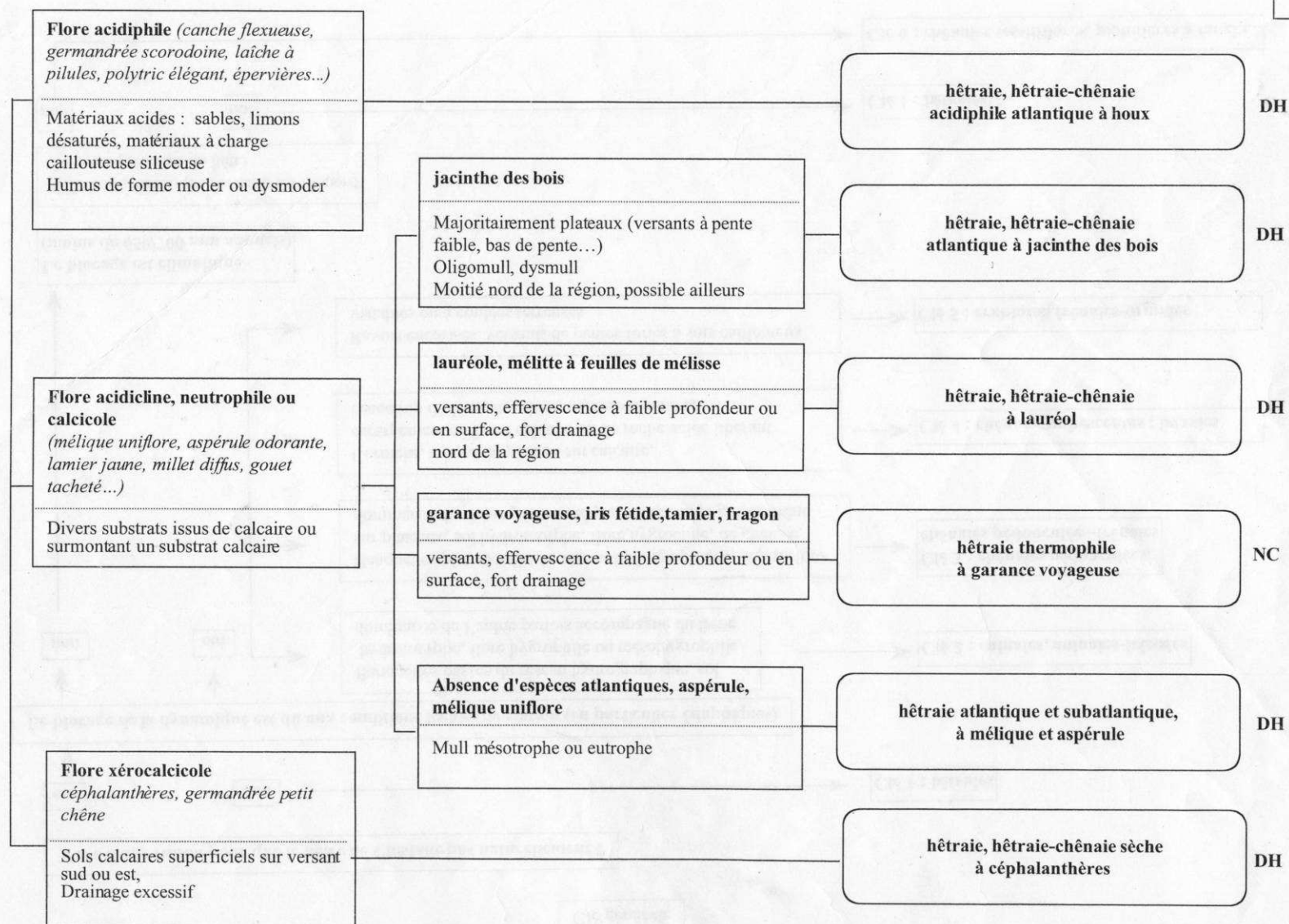
(Reboul JB à partir des régions forestières dans le sens du CRPF)

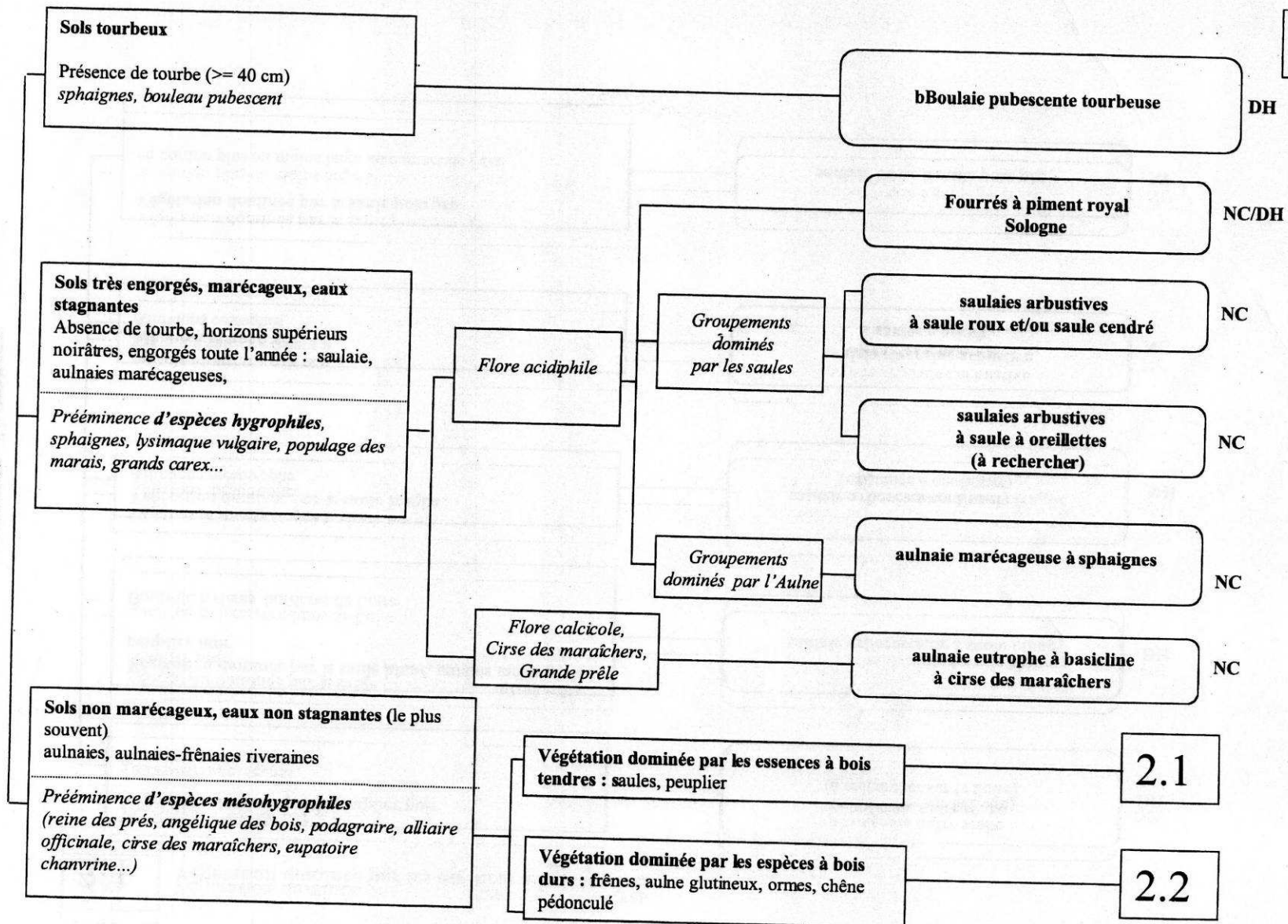
Catalogues par régions forestières en région Centre:



Annexe 3 : Clé de reconnaissance des habitats forestiers (C. Gauberville, 2003) :

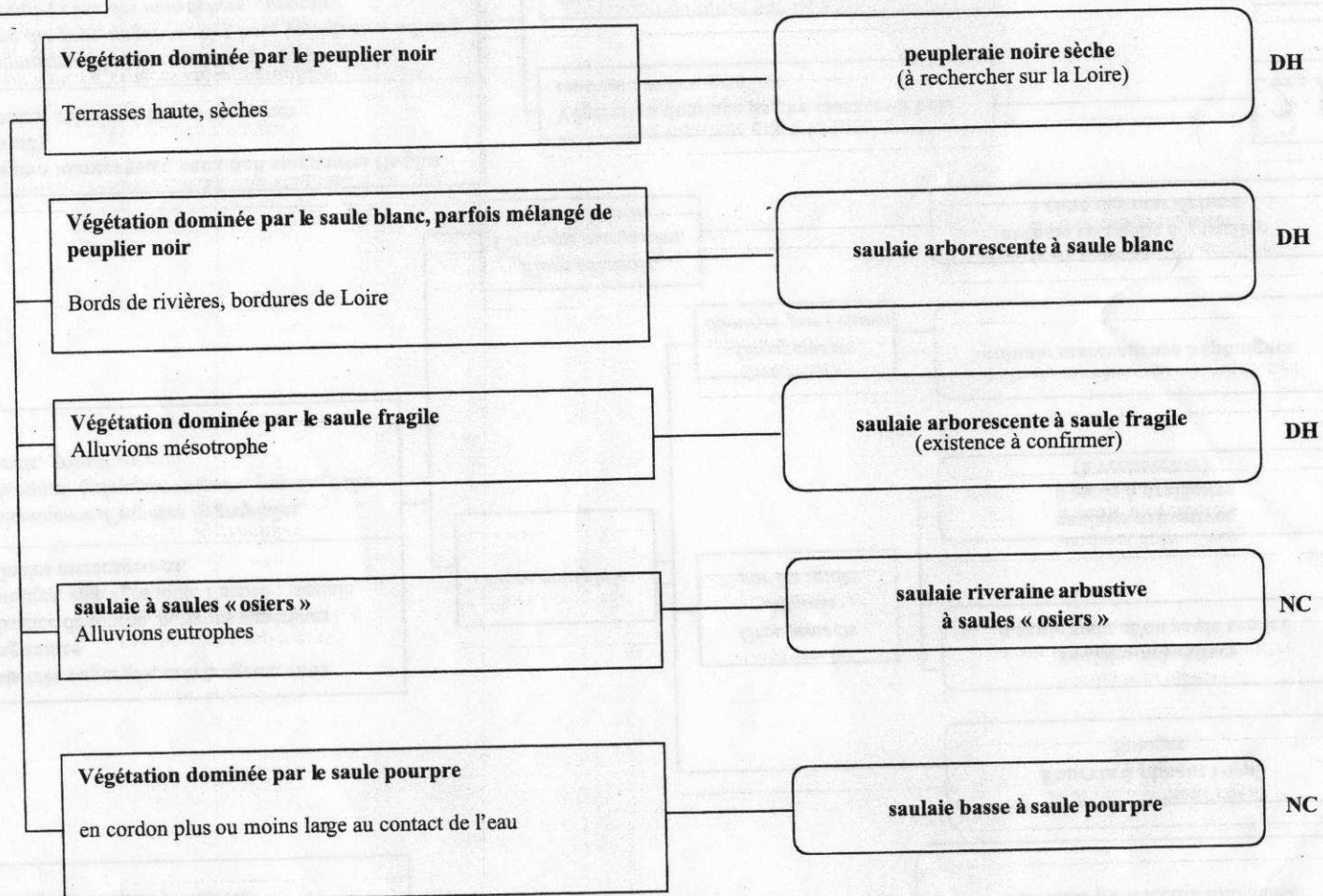






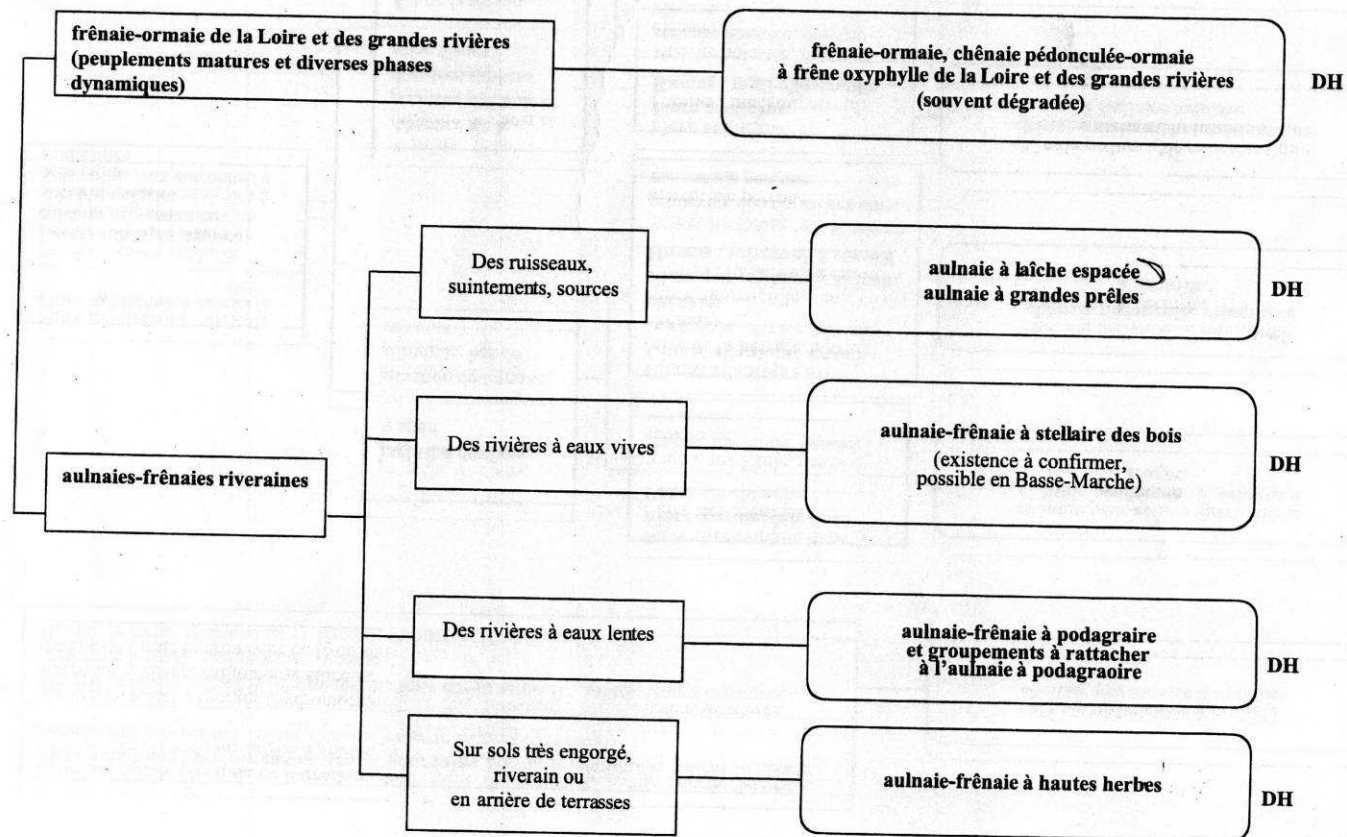
2.1

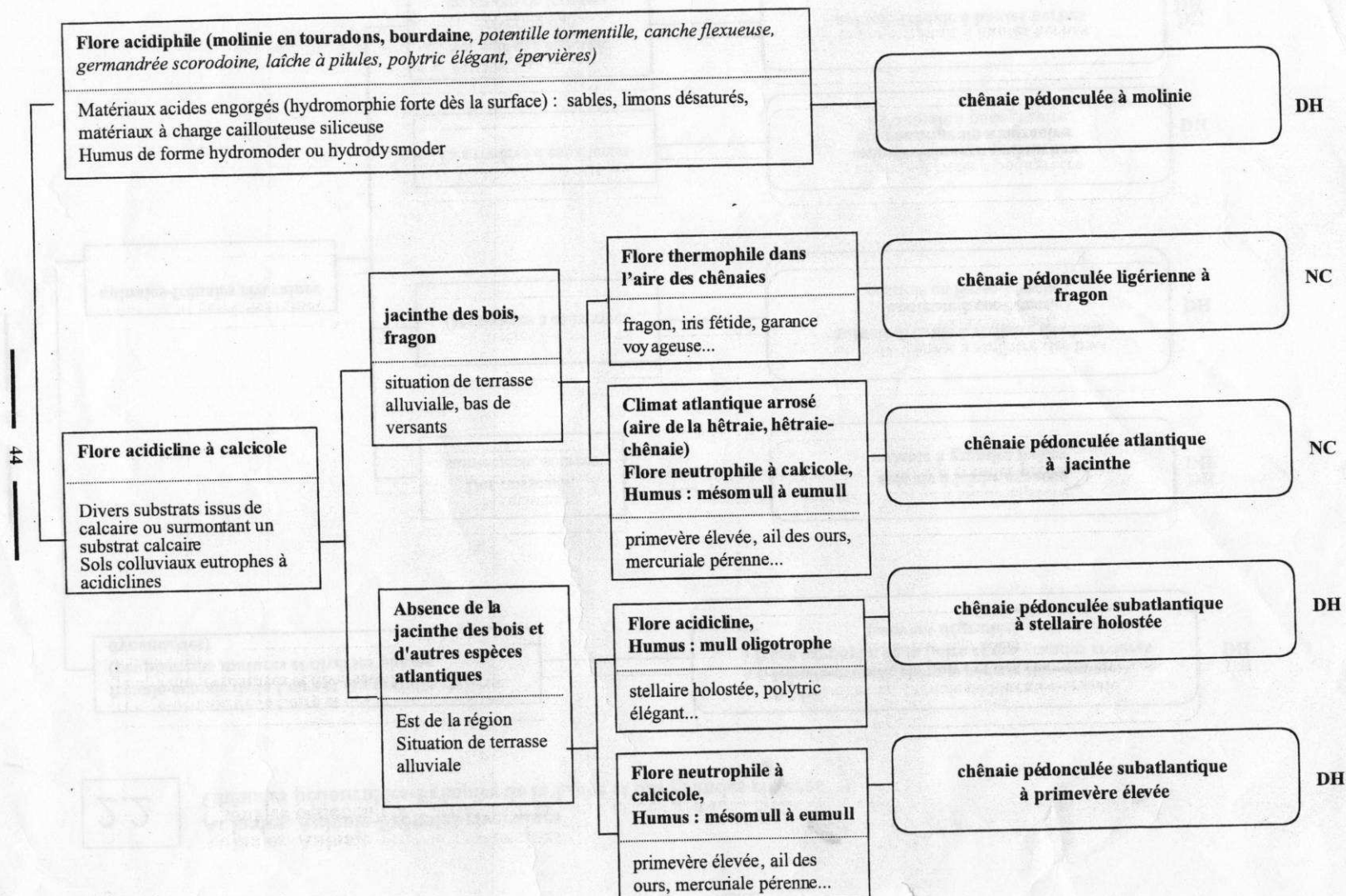
Végétation dominée par les essences à bois tendres

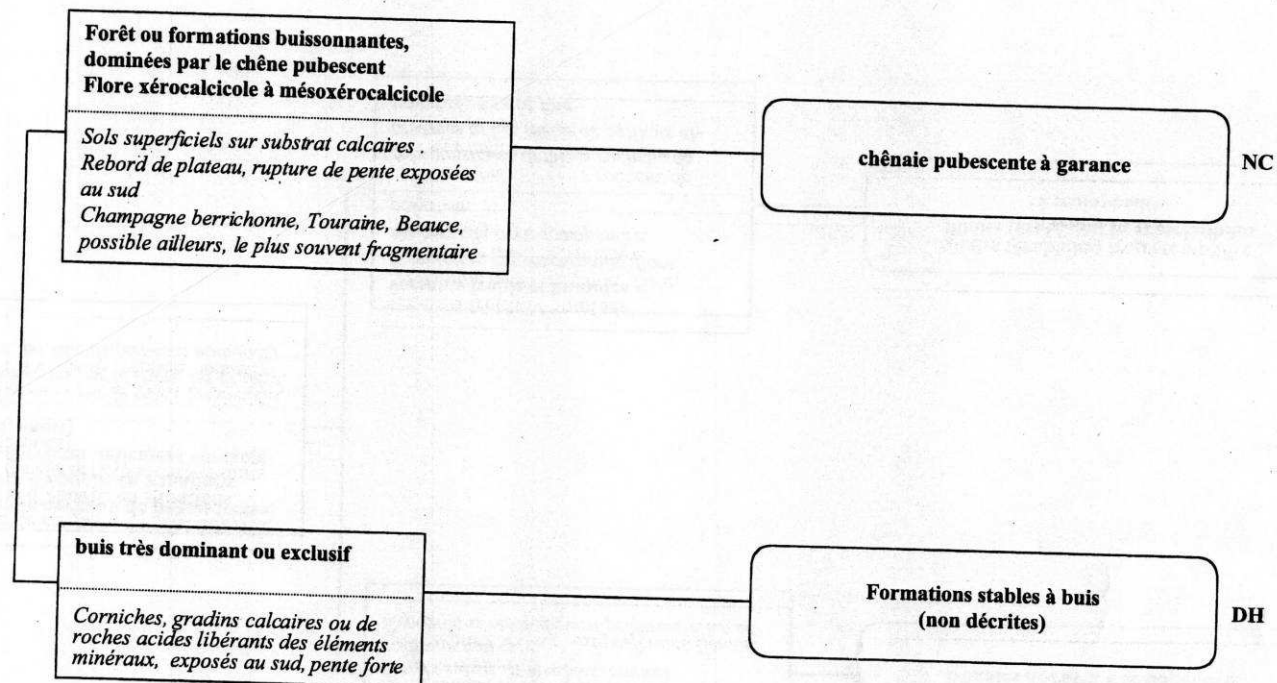


2.2

Aulnaies, Aulnaie-Frênaies riveraines Chênaies pédonculées-Frênaies de la Loire et des grandes rivières







chênaies, boulaies pionnières
à chêne tauzin

chênaies à chêne tauzin et
asphodèle blanche

chênaies sessiliflore ligérienne
à alisier torminal

chênaies pubescente à garance

chênaies sessiliflore ligérienne
à fragon

Flora acidiphile (*canche flexueuse*,
germandrée scorodaine, *laiche à*
pillules, *polytrich élégant*, *épervières*)

sur matériaux acides : sables, limons
désaturés, matériaux à charge
caillouteuse siliceuse

Humus de forme Moder ou Dysmoder

Forêts claires, dominées par le chêne tauzin,
accompagné du bouleau verruqueux

Sols dégradés, souvent podzolisés, Sologne et
sud-ouest de la région
Humus de forme Moder ou Dysmoder

Forêts dominées par le chêne pédonculé et le
chêne tauzin, à asphodèle blanche

Sols sur sables, sables et galets, souvent
podzolisés ; Brenne, possible en Marche,
Brandes
Humus de forme moder ou dysmoder

Forêts dominées par le chêne sessile plus ou
moins mêlé de pédonculé (issu des TSF) avec
l'alisier torminal bien présent ou
sporadique, accompagné souvent du charme
et du bouleau verruqueux

Sols lessivés, lessivés-dégradés, parfois
podzolisés, ubiquiste
Humus : moder
sylvofaciès : charmaie, boulaie

Forêts ou formations buissonnantes,
dominées par le chêne pubescent
Flora xérocalcicole à mésoxérocalcicole

Sols superficiels sur substrats calcaires ou
acides. Rebord de plateau, rupture de pentes
exposées au sud
Champagne berrichonne, Touraine, Beauce,
possible ailleurs, le plus souvent fragmentaire

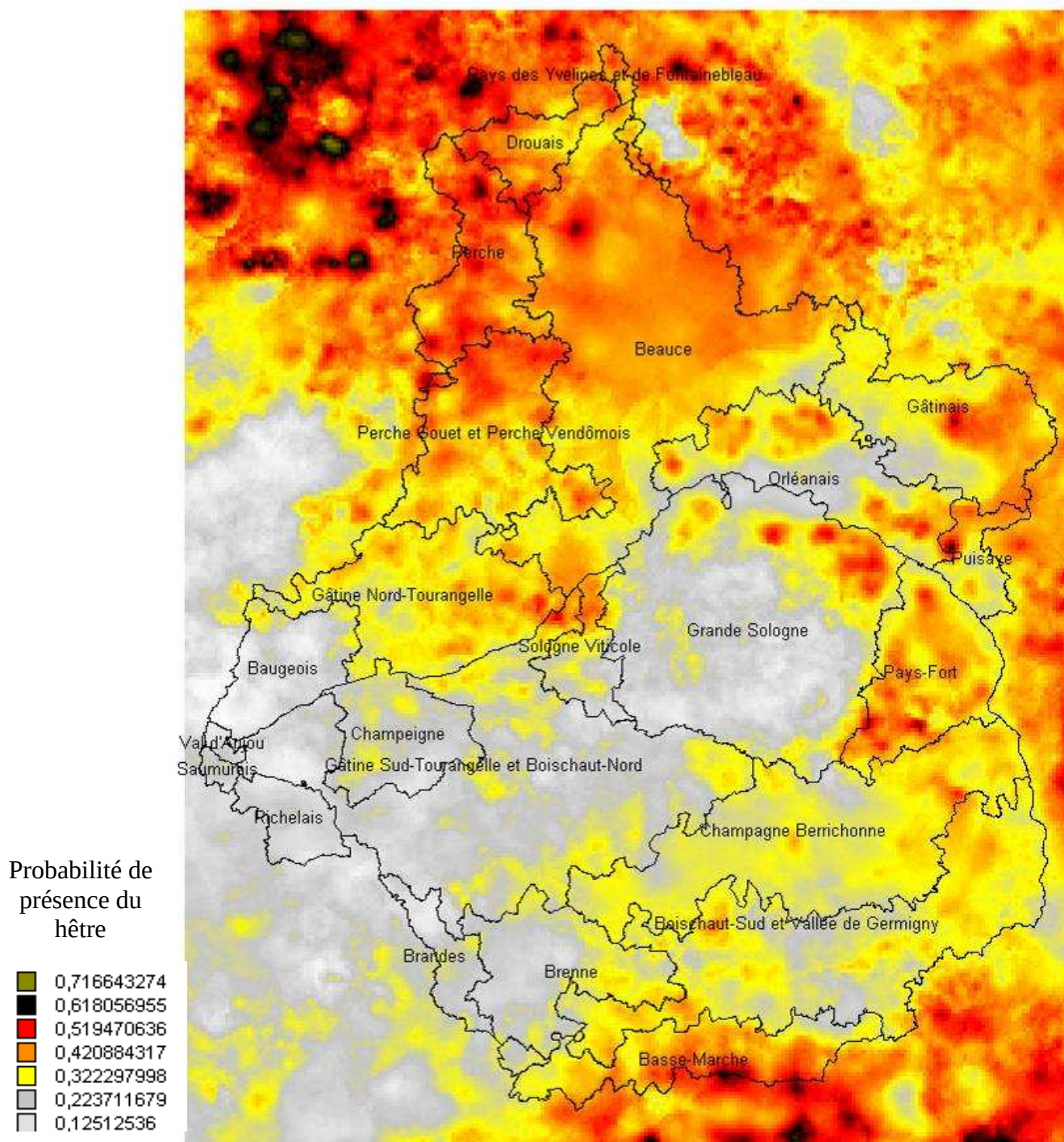
Forêts dominées par le chêne sessile plus ou
moins mêlé de chêne pédonculé
(normalement minoritaire)

versants et plateaux en pente douce
Humus de forme oligomull

Flora acidocline à calcicole

Divers substrats issus de calcaire ou
surmontant un substrat calcaire

Annexe 4 : Carte de répartition du hêtre, modèle du LERFOB, pas kilométrique (C. Piédallu, 2009)



On s'aidera de cette carte pour dessiner les zones de présence du hêtre en région Centre et pour distinguer des zones climatiques à part. On fournira cette carte de présence du hêtre au LERFOB, afin qu'il puisse corriger les erreurs constatées du modèle.

Annexe 5 : Groupes écologiques simplifiés (C. Gauberville 2003)

Espèces hygroclines	
acidiphiles	
<i>Frangula alnus</i>	Bourdaine
<i>Potentilla erecta</i>	Tormentille
acidiclines à neutrophiles	
<i>Athyrium filix-femina</i>	Fougère femelle
<i>Carex laevigata</i>	Laîche lisse
<i>Circaea lutetiana</i>	Circée de Paris
<i>Deschampsia cespitosa</i>	Canche cespiteuse
<i>Dryopteris carthusiana</i>	Fougère spinuleuse
<i>Ranunculus ficaria</i>	Ficaire
<i>Veronica montana</i>	Véronique des montagnes
Espèces mésohygrophiles	
acidiphiles	
<i>Juncus squarrosus</i>	Jonc squarreux
<i>Molinia caerulea</i>	Molinie
acidiclines à neutrophiles	
<i>Aegopodium podagraria</i>	Podagraire
<i>Angelica sylvestris</i>	Angélique des bois
<i>Carex remota</i>	Laîche espacée
<i>Filipendula ulmaria</i>	Reine des prés
<i>Lysimachia nummularia</i>	Lysimaque nummulaire
<i>Phalaris arundinacea</i>	Baldingère
<i>Poa trivialis</i>	Pâturin commun
<i>Rumex sanguineus</i>	Oseille sanguine
<i>Scutellaria galericulata</i>	Grande scutellaire
<i>Solanum dulcamara</i>	Douce amère
Espèces hygrophiles	
acidiphiles	
<i>Drosera sp.</i>	Rosolis sp.
<i>Galium uliginosum</i>	Gaillet des marais
<i>Sphagnum sp.</i>	Sphaignes
acidiclines à neutrophiles	
<i>Caltha palustris</i>	Populage des marais
<i>Carex acutiformis</i>	Laîche des marais
<i>Carex riparia</i>	Laîche des rives
<i>Galium palustre</i>	Gaillet palustre
<i>Iris pseudacorus</i>	Iris d'eau
<i>Lycopus europaeus</i>	Lycophe d'Europe
<i>Lysimachia vulgaris</i>	Lysimaque vulgaire
<i>Lythrum salicaria</i>	Salicaire
<i>Rumex hydrolapathum</i>	Patience aquatique

Espèces xérocalcicoles, mésoxérocalcicoles (et thermophiles)

<i>Anthericum liliago</i>	Phalangère à fleur de lis
<i>Anthericum ramosum</i>	Phalangère rameuse
<i>Cephalanthera longifolia</i>	Céphalanthère à longues feuilles
<i>Cephalanthera rubra</i>	Céphalanthère rouge
<i>Cornus mas</i>	Cornouiller mâle
<i>Melitis melissophyllum</i>	Mélitte à feuilles de mélisse
<i>Teucrium chamaedrys</i>	Germandrée petit chêne

Espèces acidiphiles de moder

<i>Carex pilulifera</i>	Laïche à pilules
<i>Deschampsia flexuosa</i> *	Canche flexueuse
<i>Dicranum scoparium</i>	Dicrane en balai
<i>Hypericum pulchrum</i>	Millepertuis élégant
<i>Polytrichum formosum</i>	Polytric élégant
<i>Teucrium scorodonia</i>	Germandrée scorodaine

Espèces acidiphiles de dysmoder (également xérophiles)

<i>Calluna vulgaris</i>	Callune
<i>Erica cinerea</i>	Bruyère cendrée
<i>Leucobryum glaucum</i>	Leucobryum glauque
<i>Pleurozium schreberi</i>	Hypne de Schreber

Espèces neutrophiles (affectionnant aussi les sols riches en azote)

<i>Adoxa moschatellina</i>	Moschatelline
<i>Ajuga reptans</i>	Bugle rampante
<i>Arum maculatum</i>	Gouet tacheté
<i>Carex sylvatica</i>	Laïche des bois
<i>Galanthus nivalis</i>	Perce-neige
<i>Galeopsis tetrahit</i>	Ortie royale
<i>Galium aparine</i>	Gaillet grateron
<i>Galium odoratum</i>	Aspérule odorante
<i>Geum urbanum</i>	Benoîte
<i>Melica uniflora</i>	Mélique uniflore
<i>Ornithogalum pyrenaicum</i>	Ornithogale des Pyrénées
<i>Primula elatior</i>	Primevère élevée
<i>Ranunculus auricomus</i>	Renoncule tête d'or
<i>Sambucus nigra</i>	Sureau noir
<i>Sanicula europaea</i>	Sanicle d'Europe
<i>Stachys sylvatica</i>	Epiaire des bois

* à ne pas confondre avec *Festuca heterophylla* (Fétuque hétérophylle), de milieux moins acides.

Liste des espèces atlantiques à subatlantiques

<i>Arenaria montana</i> (acidiphile)	Sabline des montagnes
<i>Arum italicum</i>	Arum d'Italie
<i>Asphodelus albus</i> (acidiphile)	Asphodèle blanche
<i>Carex laevigata</i> (acidiphile)	Laîche lisse
<i>Conopodium majus</i>	Conopode dénudé
<i>Corydalis claviculata</i> (lisières)	Corydale à vrilles
<i>Euphorbia hyberna</i>	Euphorbe d'Irlande
<i>Galanthus nivalis</i>	Perce-neige
<i>Hyacinthoides non-scripta</i>	Jacinthe des bois
<i>Hypericum androsaemum</i>	Androsème
<i>Lathraea clandestina</i>	Lathrée clandestine
<i>Lobelia urens</i> (acidiphile)	Lobélie brûlante
<i>Potentilla montana</i> (mesoxérophile)	Potentille des montagnes
<i>Primula vulgaris</i>	Primevère acaule
<i>Pulmonaria affinis</i>	Pulmonaire semblable
<i>Pulmonaria longifolia</i>	Pulmonaire à longues feuilles
<i>Pyrus cordata</i>	Poirier à feuilles en cœur
<i>Simethis planifolia</i> (acidiphile)	Phalangium à feuilles planes

Liste d'espèces thermophiles

<i>Arenaria montana</i>	Sabline des Montagnes
<i>Iris foetidissima</i>	Iris fétide
<i>Mespilus germanica</i>	Néflier
<i>Rubia peregrina</i>	Garance voyageuse
<i>Ruscus aculeatus</i>	Fragon
<i>Spiraea hypericifolia</i>	Spirée à feuilles de millepertuis
<i>Tamus communis</i>	Tamier

Annexe 6 : Codage des variables de la base de données écologiques sur les stations :

Variables pour l'analyse statistique :

- RUM sur 1 m :

La réserve utile maximale va être calculée sur cette profondeur pour une première indication de la contrainte de la sécheresse.

Réserve utile Sur 1m (en mm)	Code
0 à 25	0
25 à 50	1
50 à 75	2
75 à 100	3
100 à 125	4
125 à 150	5
150 à 175	6
175 à 200	8
200 à 250	10
250 à 300	12
Plus de 300	14

- Texture des horizons de surface :

Texture	Code
S	1
SL	2
SA	3
LS	4
L	5
Alo	6
AS	7
A	8
AL	9
LA	10

Par texture des horizons de surface, on entend la texture des premiers horizons retirés à la tarière sous l'humus (horizon A..). Il est important de préciser la texture des horizons de surface notamment avec la problématique des tassements mais aussi de drainage et de RU superficiel (réussite des plantations...).

Il faut donc également préciser l'épaisseur de ces horizons de surface. Ici, les textures de surface ont été codées de façon logique par rapport à la problématique de la réserve en eau.

- Épaisseur des horizons de surface (même texture) :

Épaisseur des horizons de surface	Code
0-15	1
15-30	2
30-50	3
50-70	4
>70	5

- Profondeur où l'hydromorphie touche plus de 5% de la matrice et profondeur où l'hydromorphie touche plus de 40 % de la matrice et profondeur où l'hydromorphie touche plus de 80 % de la matrice:

Il faut décrire l'engorgement et sa contrainte. A partir de quelle profondeur d'apparition peut-on considérer l'engorgement comme contraignant ?

On a essayé d'avoir les classes les plus pertinentes pour décrire cette contrainte. Ainsi, une profondeur d'apparition de l'hydromorphie à moins de 30 cm correspond à un engorgement contraignant. Une profondeur d'apparition supérieure à 50 cm est non contraignante et cela peut être même un bénéfice en termes d'alimentation en eau.

Profondeur où l'hydromorphie dépasse x% de la matrice	Code
0-15	1
15-30	2
30-50	3
50-70	4
> 70	5

- Profondeur d'apparition d'un horizon enrichi en argile et profondeur d'apparition d'un horizon à dominance argileuse :

Profondeur d'apparition d'un horizon à dominante argileuse	Code
0-15	6
15-30	5
30-50	4
50-70	3
> 70	2
Pas d'horizon à dominante argileuse dans le profil du sol	1

Cet horizon à dominante argileuse avec sa non-prospection est lié à la sécheresse mais aussi à l'engorgement avec une discontinuité texturale voire parfois structurale (planosol hydromorphe). La profondeur d'apparition d'un horizon enrichi en argile (LA, SA...) permet de voir la vitesse de transition avec un plancher argileux et la possible adaptation du système racinaire.

Profondeur d'apparition d'un horizon enrichi en argile	Code
0-15	6
15-30	5
30-50	4
50-70	3
> 70	2
Pas d'horizon enrichi en argile dans le profil du sol	1

- Nature des premiers horizons enrichis en argile :

Certaines essences ne peuvent pas prospector les horizons argileux trop lourds (exemple du châtaignier) et ne supportent pas les discontinuités texturales. Il faut donc préciser la nature de ces premiers horizons enrichis en argile.

Nature des premiers horizons enrichis en argile	Code
A	5
AL, LA, LAS	6
Alo	4
A, Al, LA, SA, AS, Alo avec pierrosité	2
AS, SA	3
Pas d'horizon enrichi en argile dans le profil du sol	1

Le codage de cette variable essaye de suivre la logique de la réserve en eau avec un code de 1 pour les sols sans horizons enrichis en argile, soit des sols limoneux épais (rares ou absents en région Centre) ou des sols sableux épais.

- Nature des argiles du premier horizon à dominante argileuse :

Nature des horizons à dominante argileuse	Code
A	5
AL	6
Alo	4
A, AL, AS ou Alo avec pierrosité	2
AS	3
Pas d'horizon à dominante argileuse	1

- Profondeur d'apparition de l'effervescence :

La profondeur d'apparition de l'effervescence permet de connaître la richesse du sol en profondeur et d'estimer la contrainte de la sécheresse.

Profondeur d'apparition de l'effervescence	Code
0-5	1
5-20	2
20-40	3
40-60	4
60-80	5
> 80	6
Pas de substrat calcaire	7

- Drainage latéral :

Il nous a semblé plus intéressant de prendre en compte la topographie dans le drainage latéral de l'eau que comme une variable à part entière.

Topographie	Drainage latéral	Code
Haut de pente, versant à pente moyenne à forte (>15%)	Drainage latéral important	1
Versant peu marqué	Drainage latéral	2
Plateau	Pas de drainage latéral	3
Fond de vallon, Bas de versant	Arrivée d'eau mais faible drainage le long du fond de vallon	4
Cuvette, fond de vallon plat, replat en bas de versant	Accumulation d'eau	5

- Profondeur où la pierrosité dépasse 10 % du volume de sol et profondeur où la pierrosité dépasse 30% du volume de sol et profondeur où la pierrosité dépasse 50% du volume de sol :

Les classes ont été faites de la façon la plus exploitable et la plus logique possible. En effet si la pierrosité dépasse trente pourcent du volume de terre avant 40 cm de profondeur alors la tarière est bloquée et la contrainte de la sécheresse est très importante.

Profondeur où la pierrosité dépasse X% du volume de sol	Code
0-20	1
20-40	2
40-60	3
60-80	4
> 80	5
Pas de pierrosité (EG < 5%)	6

- Niveau trophique indiqué par les humus:

On utilise celui indiqué dans le diagramme floristique et s'il est absent on utilise uniquement le type d'humus.

Niveau trophique	
Humus associés	Code
mor	1
dysmoder	1
eumoder	2
mull - moder	3
dysmull	3
oligomull	4
mésomull	5
eumull	6
mull eutrophe	7

Variables supplémentaires :

Des variables supplémentaires sont utilisées pour l'interprétation de l'analyse statistique à partir des variables précédentes. Ces variables sont supplémentaires, car elles ne sont pas toujours renseignées dans les descriptions de station comme la structuration des argiles. Dans une analyse statistique comme l'ACM, il ne doit pas y avoir de trous soit des données manquantes. Ces variables ne seront généralement pas codées, sauf celles qui ont trait directement à l'économie en eau de la station comme l'exposition ou le bilan hydrique climatique turc de la saison de végétation.

Exposition	Code
S	1
SO	2
SE	3
E	4
NO	5
NE	6
N	7

Le bilan hydrique climatique de la saison de végétation sera de même codé de façon logique par classe.

- Nature de la roche mère :

Calcaire dure, craie, marnes, faluns, argiles de lignières....

- Structuration des argiles :

Polyédrique, prismatique, vertique...

La capacité d'enracinement est variable en fonction de la structuration des argiles. Il existe ainsi une différence de pénétrabilité des racines entre des prismes et des polyèdres.

- Fertilité :

Fertilité	Code
Nulle	0
Très faible	1
Faible	2
Moyenne	3
Bonne	4
Très bonne	5

C'est une note de synthèse subjective d'après la description des peuplements par l'auteur. Ce n'est pas l'indice de fertilité classique avec la hauteur dominante moyenne du peuplement à 100 ans. Cet indice permettra de vérifier la cohérence des groupes formés. On peut s'attendre qu'un groupe avec une contrainte de sécheresse importante ait en moyenne une fertilité assez basse.

Surface relative occupée par le type de station :

Surface occupée par la station	Code
Très faible	1
Faible	1
Moyenne	2
Importante	3
Très importante	4
Très bonne	5

C'est une variable que l'on remplit à partir de la lecture de la fiche synthétique, où la fréquence de la station est souvent indiquée. Il faudra prendre avec précaution cette variable. En effet, un type de station peut être fréquent dans un catalogue de station, mais la surface couverte par ce dernier peut être faible. Il faudrait pondérer cette variable par la surface couverte par le catalogue.

Variables de synthèse :

Niveau de la contrainte sécheresse, niveau de la contrainte engorgement:

Niveau de la contrainte de la sécheresse et niveau de la contrainte de l'engorgement	Code
Pas de contrainte	0
Faible contrainte	1
Moyennement contraignant	2
Très contraignant	3

La contrainte de la sécheresse est estimée à partir de la RU sur 1m, du drainage latéral et des commentaires de l'auteur du catalogue sur la station.

La contrainte de l'engorgement est estimée à partir de la profondeur d'apparition de l'engorgement, de son maximum et de son intensité. De même on s'aide des commentaires de l'auteur.

Niveau de la contrainte de la richesse chimique :

Niveau de la contrainte de la sécheresse et niveau de la contrainte de l'engorgement	Humus flore	Code
Très pauvre chimiquement	Mor, dysmoder, envahissement par les éricacées, podzol marqué	0
Moyennement contraignant	Moder, acidiphiles	1
Faible ou pas de contrainte	Mull acide à eumull	2
Effervescence dès la surface, contraignant pour la régénération	Eumull, cornouiller sanguin, espèces calcaricoles	3

Annexe 7 : Approche à dire d'expert exemple de la hêtraie – chênaie neutrophile à calcicole à garance voyageuse :

Pour cette association on a retenu 4 groupes ou 4 variantes de l'habitat, si on considère que la flore en surface réagit aux contraintes.

Ces groupes sont les suivants :

- 1 groupe sans contraintes : pas de contraintes, sécheresse légère, engorgement léger.
- 1 groupe sécheresse : sécheresse moyenne ou très forte sécheresse.
- 1 groupe carbonate et sécheresse : carbonate et sécheresse moyenne ou très forte sécheresse.
- 1 groupe carbonate : sécheresse légère et carbonate ou engorgement léger et carbonate.

On trouve cette association sur les formations calcaires sur les versants à fort drainage et à effervescence à faible profondeur. La réserve en eau n'est pas importante et les sols sont bien drainés avec le substrat calcaire sous jacent. C'est pourquoi la sécheresse légère n'a pas été considérée comme une contrainte et est dans le groupe sans contrainte. De même, s'il y a engorgement léger, c'est un engorgement d'imbibition des argiles. Il peut être jugé comme non contraignant surtout s'il est en profondeur (exemple de la station AC8 Gâtine Sud Tourangelle).

Le groupe carbonate correspond aux stations sur lesquelles, il y a effervescence dès l'horizon A. Cette carbonatation de cet horizon peut représenter un blocage de la régénération d'essences comme le chêne (PH>6).

Nombre de stations par groupe et par classe de RUM	RUM sur 1 m (mm)					
Groupe	25 -50	50-75	75-100	100-125	>125	Total
carbonate			1			1
pas de contraintes			1	2	1	4
sécheresse	2	1	1			4
sécheresse et carbonate	2	3				5
Total	4	4	3	2	1	14

Le groupe sans contraintes a donc une réserve utile supérieure à 75 mm. Le groupe sécheresse a une station avec une réserve utile maximale supérieure à 75 mm, mais elle est sûrement sur estimée car elle correspond à un éboulis de gros blocs calcaires avec peu de terre fine dans les espaces (C10 Boischaut Sud Champagne Berrichonne).

Nombre de stations par groupe et par classe de profondeur d'apparition d'un horizon à dominante argileuse	Profondeur d'apparition d'un horizon à dominante argileuse			
Groupe	0-15	>70	Pas d'horizon à dominante argileuse	Total
carbonate		1		1
pas de contrainte	3		1	4
sécheresse	3			3
sécheresse et carbonate	3		2	5
Total	9	1	3	13

Nombre de stations par groupe et par texture de surface	Texture de surface					
Groupe	SA	LS	LA	A	Alo	Total
carbonate		1				1
pas de contrainte	1			2	1	4
sécheresse			2		2	4
sécheresse et carbonate		1	3		1	5

Pour la majorité des stations de cette association, la texture des premiers horizons est argileuse. Ce sont des sols lourds avec des argiles de décarbonatation. Ce sont soit des calcosols ou des rendzines. En fond de vallon ou en bas de versant, il y a parfois des pollutions par des colluvions limoneuses ou sableuses.

Nombre de stations par groupe et par classe de profondeur d'apparition du substrat calcaire	Profondeur d'apparition du substrat calcaire (cm)					
	0-20	20-40	40-60	60-80	> 80	Total
Groupe						
carbonate					1	1
pas de contrainte				3	1	4
sécheresse	2	1	1			4
sécheresse et carbonate	1	3	1			5
Total	3	4	2	3	2	14

On voit que l'on différencie les deux groupes de la sécheresse des autres groupes par la profondeur d'apparition du substrat calcaire inférieure à 60 cm pour les deux groupes liés à la sécheresse. Mais cette information ne suffit pas, car on pourrait avoir une pierrosité supérieure à 30% qui bloquerait la tarière avant.

Nombre de stations par groupe et par classe de profondeur où la pierrosité dépasse 30 %	Profondeur où la pierrosité dépasse 30% et où la tarière est bloquée (cm)					
	0-20	20-40	40-60	60-80	>80	Total
Groupe						
carbonate		1				1
pas de contrainte			1	2	1	4
sécheresse	2	2				4
sécheresse et carbonate		4	1			5
Total	2	7	2	2	1	14

On voit que la profondeur où la pierrosité dépasse 30 % soit la profondeur où est bloquée la tarière est un bon indicateur généralement pour distinguer les groupes avec sécheresse et les groupes sans sécheresse.

Dans le groupe sécheresse et carbonate, on remarque tout de même, qu'il existe une station où le blocage de la tarière ne marche pas. Elle correspond à des sables cryoclastiques soit des grèzes meubles ou des graviers calcaires prospectables (très faible réserve utile mais prospection à la tarière possible).

De même ; on remarque que pour le groupe des carbonates, le test de la tarière ne marche pas.

Pour ce groupe si on regarde le drainage latéral, on voit que la station où le test ne marche pas se situe dans un fond de vallon (C8 Champagne Berrichone, Boischaut Sud). On a considéré ici que la faible RUM est compensée par les apports d'eau latéraux. De plus cette station correspond à des colluvions calcaires. La tarière peut être bloquée, mais la profondeur prospectée par les racines peut être importante. Un des moyens de s'assurer d'une contrainte sécheresse non prépondérante sur ces stations sera d'observer en dernier recours les peuplements avec leur hauteur dominante et de possibles dépérissements du chêne pédonculé.

Nombre de stations par groupe et par classe de drainage latéral	Drainage latéral				
Groupe	1	2	3	4	Total
carbonate				1	1
pas de contrainte	2	1	1		4
sécheresse	4				4
sécheresse et carbonate	2	3			5
Total	8	4	1	1	14

La fertilité confirme les groupes qui ont été constitués avec une fertilité supérieure en moyenne dans le groupe sans contraintes.

Nombre de stations par groupe et par classe de fertilité	Fertilité					
Groupe	1	2	3	4	5	Total
carbonate			1			1
pas de contrainte			1	2	1	4
sécheresse		2	2			4
sécheresse et carbonate	1	3	1			5
Total	1	5	5	2	1	14

Annexe 8 : Méthode statistique de constitution de variantes pour la hêtraie-chênaie acidiphile atlantique à houx

Sur les 67 types de stations et variantes retenus en hêtraie acidiphile atlantique à houx, il n'y en a que 60 à partir desquels on a pu réaliser une analyse statistique.

Ces 7 types de station et variantes restants n'ayant pas d'exemples types n'ont pas été intégrés à l'analyse statistique.

ACM :

Principe et exemple de recodage des modalités des différentes variables pour l'analyse statistique :

Pour que l'analyse statistique par ACM ne soit pas biaisée, il faut que les variables aient à peu près le même nombre de modalités et que le nombre d'occurrences par modalités soit équilibré (pas une unique occurrence par modalités). Avant de faire l'analyse statistique en elle même, il faut donc vérifier que toutes les variables sont exploitables (nombre suffisant de modalités, nombre suffisant d'occurrences par modalité).

Exemples :

	RUM sur 1 m (mm)							
RU	25-50	50-75	75-100	100-125	125-150	150-175	175-200	Total
Nombre de Stations	1	3	10	15	11	15	5	60

On voit que la première classe de RU (25-50 mm) a une unique occurrence et que la classe suivante a 3 occurrences. On regroupe ces deux classes pour avoir un effectif suffisant.

On procède ainsi pour chaque variable.

Les variables avec moins de 4 modalités comme pour l'intensité de l'engorgement lors des premières traces d'hydromorphie ne sont pas intégrées à l'analyse statistique.

Intensité de l'engorgement (% de décoloration de la matrice, premier horizon engorgé)				
Intensité de l'engorgement (apparition de l'hydromorphie)	< 5 %	> 5% et <40%	>40%	Total
Nombre de stations	24	33	2	59

Pour le niveau trophique, on voit que le nombre d'occurrences pour la modalité 4 n'est que de 1. On peut la rattacher alors à la modalité 3 mais la variable niveau trophique n'a plus que trois modalités. On n'utilisera donc pas la variable trophique pour le traitement statistique par ACM.

	Niveau trophique				
Niveau trophique	1	2	3	4	Total
Nombre de stations	24	30	9	1	64

Pour le pourcentage maximum de pierrosité, on a regroupé les classes 4 (30%-40% EG), 5 (40%-50% EG) et 6 (> 50% EG) pour former une classe correspondant à une pierrosité > 30 %.

	Pourcentage du maximum de pierrosité						
% EG	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	> 50	Total
N station	15	13	9	3	13	6	62

Codage des variables utilisées pour l'analyse statistique :

Variables	Modalités	Fréquence
RU	RU25-75	4
	RU75-100	10
	RU100-125	15
	RU125-150	11
	RU150-175	14
	RU175-200	5
Nombre de modalités	6	6
texture	S	10
	SL	9
	L	19
	LS	21
Nombre de modalités	4	4
épaisseur des horizons de surface (même texture)	e0-25	2
	e25-40	12
	e40-60	35
	e>60	10
Nombre de modalités	4	4
apparition engorgement	Engdeb<15	15
	Engdeb15-30	6
	Engdeb30-50	10
	Engdeb>50	10
	Engdebpas	18
Nombre de modalités	5	5
intensité maximum de l'engorgement	Maxeng0	18
	Maxeng1	18
	Maxeng2	17
	Maxeng3	6
Nombre de modalités	4	4
profondeur max engorgement	Engmax15-30	4
	Engmax30-50	15
	Engmax50-70	17
	Engmax>70	5
	Engmaxpas	18
Nombre de modalités	5	5
profondeur plancher Bt	Bt30-50	20
	Bt50-70	22
	Bt>70	2
	Btpas	15
Nombre de modalités	4	4
nature plancher	A	6
	AL LA	21
	Alo	7
	Alosilex	4
	AS SA	6
	pas de plancher	15
Nombre de modalités	6	6

profondeur horizon à dominante argileuse	A30-50	13
	A50-70	19
	A>70	22
	Apas	5
Nombre de modalités	4	4
nature argile	A	8
	AL	7
	Alo	9
	Alosilex	20
	AS	10
	pas d'horizon à dominante argileuser	5
Nombre de modalités	6	6
drainage	D1	18
	D2	18
	D3	18
	D4	5
Nombre de modalités	4	4
profondeur apparition pierrosité	zPi0-20	26
	zPi20-40	6
	zPi40-60	5
	zPi>60	5
	zPipas	17
Nombre de modalités	5	5
profondeur max pierrosité	zPmax0-40	12
	zPmax40-60	17
	zPmax60-80	10
	zPmax>80	9
	zPmaxpas	11
Nombre de modalités	5	5
pierrosité initiale	Pi0-10	34
	Pi10-20	11
	Pi20-30	5
	Pi>30	9
Nombre de modalités	4	4
pierrosité maximale	Pmax0-10	15
	Pmax10-20	13
	Pmax20-30	9
	Pmax>30	22
Nombre de modalités	4	4

On a au final 15 variables pour 70 modalités. L'ACM revient à une AFC d'un tableau disjonctif complet de 70 colonnes correspondant aux modalités et de 59 lignes correspondant aux stations.

L'inertie totale du nuage de points est égale à : $N/Q - 1$

N est le nombre de modalités ici 70.

Q est le nombre de variables ici 15.

Le nombre de modalités par variables oscille entre 4 et 6, ce qui est assez équilibré, même si les variables à 6 modalités comme la RU risquent d'avoir un poids trop important.

Le nombre d'occurrences par modalités reste plus critiquable avec notamment des modalités avec deux occurrences, qui déformeront fortement le nuage de point et qui seront à part. On a laissé ces modalités, car on ne pouvait les rattacher à d'autres classes au risque de perdre une signification biologique. C'est le cas de l'épaisseur des premiers horizons avec la modalité 0-25 cm à deux occurrences que l'on ne rattache pas à la modalité 25-40 cm, pour ne pas perdre en cohérence.

Il en est de même pour la « profondeur d'apparition > 70 cm d'un plancher Bt », que l'on ne rattache pas à la modalité « pas de plancher Bt » ou à la modalité « plancher entre 50 cm et 70 cm ».

Il n'est pas choquant de ne pas avoir gardé le niveau trophique pour l'analyse statistique. En effet, cette association est étroite au niveau trophique mull_moder à dysmoder et elle est marquée par des sols avec des phénomènes de micro podzolisation ou de podzolisation fréquents. La litière du hêtre a un fort pouvoir acidifiant et sur les sols déjà appauvris en fer, le risque de micropodzolisation et de lessivage des éléments minéraux est accru.

Lors de la constitution des groupes à partir de cette analyse statistique, le niveau trophique ne sera donc pas prépondérant.

Analyse statistique de l'ACM pratiquée sur les variables précédentes :

A partir de l'ACM qui revient à une AFC du tableau disjonctif complet avec 59 stations et 70 modalités, on analyse le nuage de points. On calcule les coordonnées factorielles des modalités et les coordonnées factorielles des lignes.

On calcule tout d'abord les axes factoriels du nuage de points :

Total inertia: 3.66667

Num.	Eigenval.	R.Iner.	R.Sum	Num.	Eigenval.	R.Iner.	R.Sum
01	+4.4615E-01	+0.1217	+0.1217	02	+3.0322E-01	+0.0827	+0.2044
03	+2.6333E-01	+0.0718	+0.2762	04	+2.2181E-01	+0.0605	+0.3367
05	+1.8870E-01	+0.0515	+0.3881	06	+1.7261E-01	+0.0471	+0.4352
07	+1.7058E-01	+0.0465	+0.4817	08	+1.4870E-01	+0.0406	+0.5223
09	+1.4498E-01	+0.0395	+0.5618	10	+1.3158E-01	+0.0359	+0.5977
11	+1.2253E-01	+0.0334	+0.6311	12	+1.1381E-01	+0.0310	+0.6622
13	+1.0946E-01	+0.0299	+0.6920	14	+1.0214E-01	+0.0279	+0.7199
15	+9.2866E-02	+0.0253	+0.7452	16	+9.2138E-02	+0.0251	+0.7703
17	+8.1719E-02	+0.0223	+0.7926	18	+7.3160E-02	+0.0200	+0.8126
19	+7.1209E-02	+0.0194	+0.8320	20	+6.2854E-02	+0.0171	+0.8491
21	+5.4159E-02	+0.0148	+0.8639	22	+4.8555E-02	+0.0132	+0.8772
23	+4.4936E-02	+0.0123	+0.8894	24	+4.2687E-02	+0.0116	+0.9011
25	+4.0005E-02	+0.0109	+0.9120	26	+3.5222E-02	+0.0096	+0.9216
27	+3.4770E-02	+0.0095	+0.9311	28	+3.0933E-02	+0.0084	+0.9395
29	+2.7075E-02	+0.0074	+0.9469	30	+2.6162E-02	+0.0071	+0.9540
31	+2.1987E-02	+0.0060	+0.9600	32	+2.0346E-02	+0.0055	+0.9656
33	+1.7557E-02	+0.0048	+0.9703	34	+1.6740E-02	+0.0046	+0.9749
35	+1.3981E-02	+0.0038	+0.9787	36	+1.3559E-02	+0.0037	+0.9824
37	+1.1825E-02	+0.0032	+0.9856	38	+8.8694E-03	+0.0024	+0.9881
39	+8.2279E-03	+0.0022	+0.9903	40	+7.4432E-03	+0.0020	+0.9923

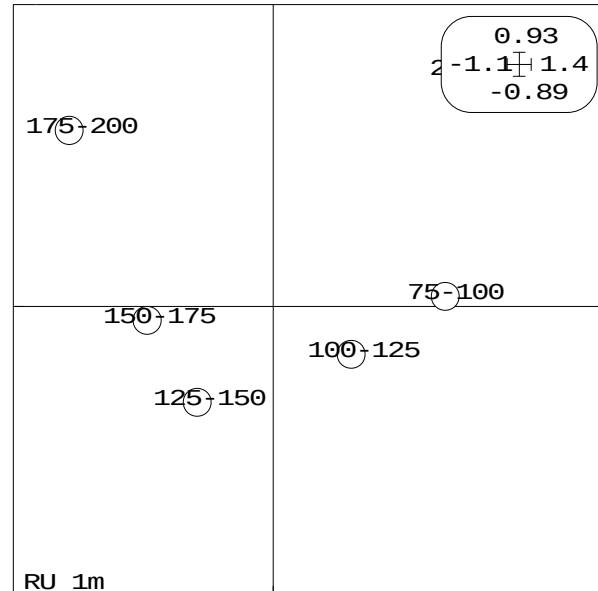
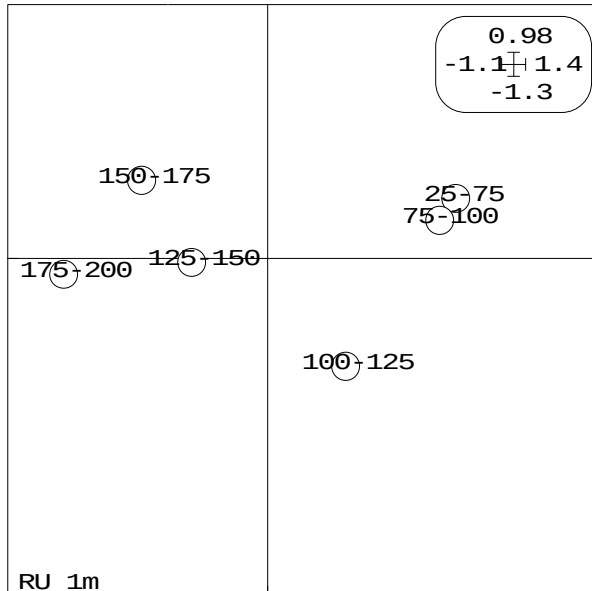
...

J'ai gardé les trois premiers axes qui expliquent environ 28% de l'inertie du nuage de points, ce qui est relativement peu. Le premier axe explique tout de même 12.2% de l'inertie du nuage de points.

Analyse par modalités :

Les modalités sont représentées dans le plan factoriel du premier axe et du second axe puis dans le plan factoriel du second et troisième axe.

RU :



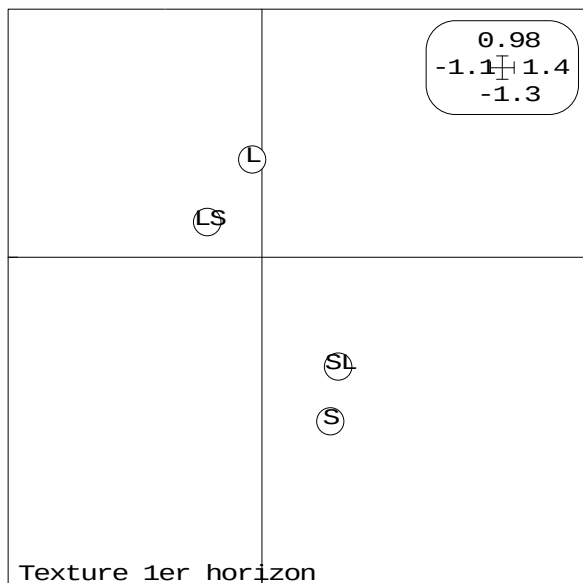
axe 1-2 :

axe1-3 :

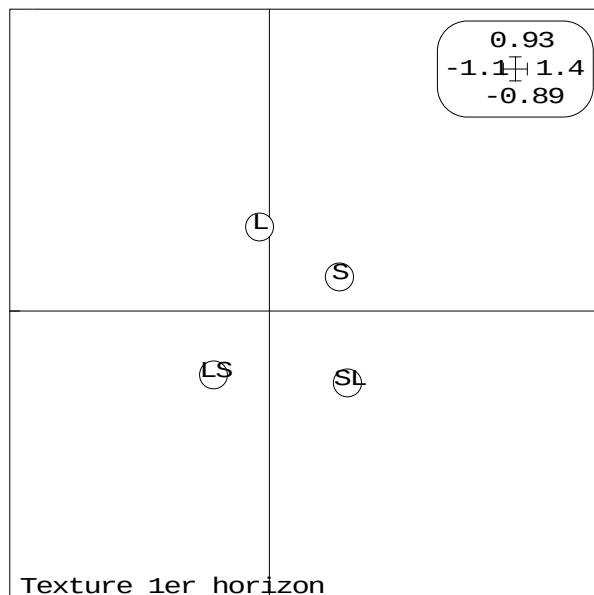
Variables	Modalités	Fréquence	axe 1	axe 2	axe 3
RU	RU25-75	4	1,1851	0,4271	1,4049
	RU75-100	10	1,0838	0,26757	0,066307
	RU100-125	15	0,48445	-0,74856	-0,27763
	RU125-150	11	-0,47754	-0,026121	-0,57398
	RU150-175	14	-0,7983	0,54864	-0,078613
	RU175-200	5	-1,2831	-0,10987	1,0592
R2			0,68721	0,23954	0,31213

La RU est corrélée à l'axe 1 de façon logique. En effet les modalités de la RU sont croissantes selon l'axe 1. On observe que la limite entre les pôles positifs et négatifs de l'axe 1 est la RU de 125 mm. L'interprétation de l'axe 2 semble plus compliquée malgré là aussi la corrélation avec cet axe. L'analyse est la même pour l'axe 3. L'axe 1 semble pouvoir être relié à la contrainte sécheresse.

Texture des horizons de surface :



Axe 1-2 :



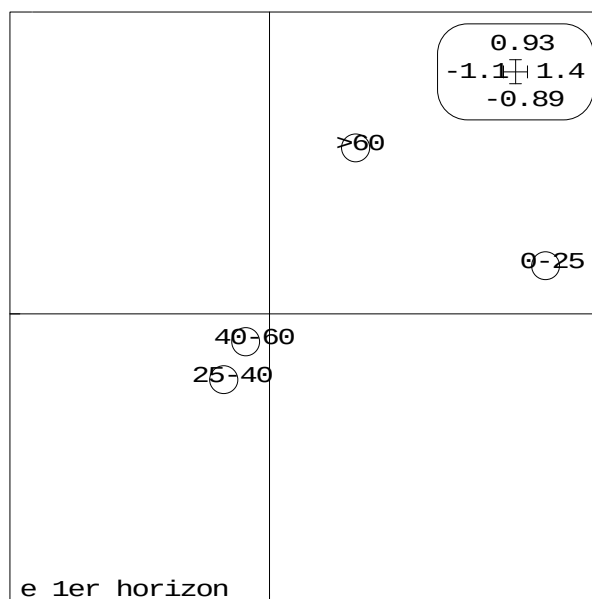
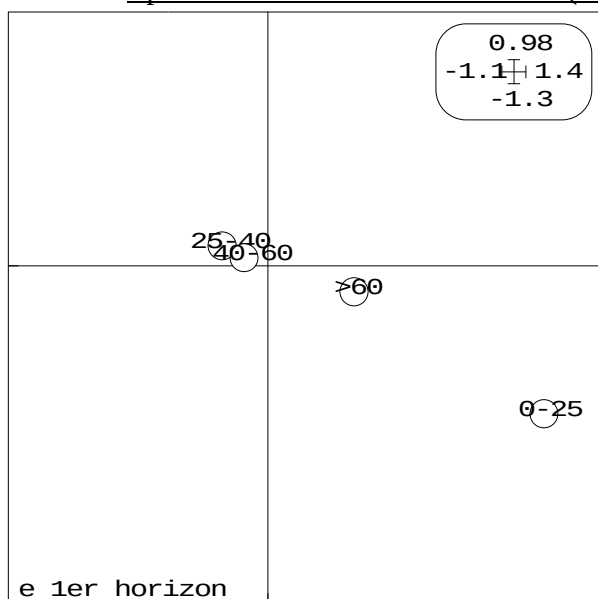
Axe 1-3 :

Variables	Modalités	Fréquence	axe 1	axe 2	axe 3
texture	S	10	0,44393	-1,1743	0,21176
	SL	9	0,49281	-0,78169	-0,42919
	L	19	-0,069475	0,70359	0,50873
	LS	21	-0,35974	0,25762	-0,37718
R2			0,11807	0,50997	0,16968

La variable sur la texture de surface est corrélée à l'axe 2. On voit ainsi sur cet axe 2 une opposition entre les sols sableux et les sols limoneux. On retrouve le fait que l'axe 1 doit être lié à la sécheresse avec une opposition entre les textures très filtrantes sableuses (coordonnées positives) et les textures limoneuses (coordonnées négatives).

L'axe 2 serait lié à la texture de surface du sol mais pas dans une logique de réserve en eau. L'axe 3 oppose les textures de surface pures (L, S) aux textures mélangées (LS, SL).

Epaisseur des horizons de surface (même texture) :



Axe 1-2 :

Axe 1-3 :

Variables	Modalités	Fréquence	axe 1	axe 2	axe 3
épaisseur des horizons de surface (même	e0-25	2	1,7348	-1,0283	0,29169
	e25-40	12	-0,29053	0,14092	-0,39317
	e40-60	35	-0,15544	0,060503	-0,16547
	e>60	10	0,54573	-0,1752	0,99262
R2			0,184	0,047258	0,21757

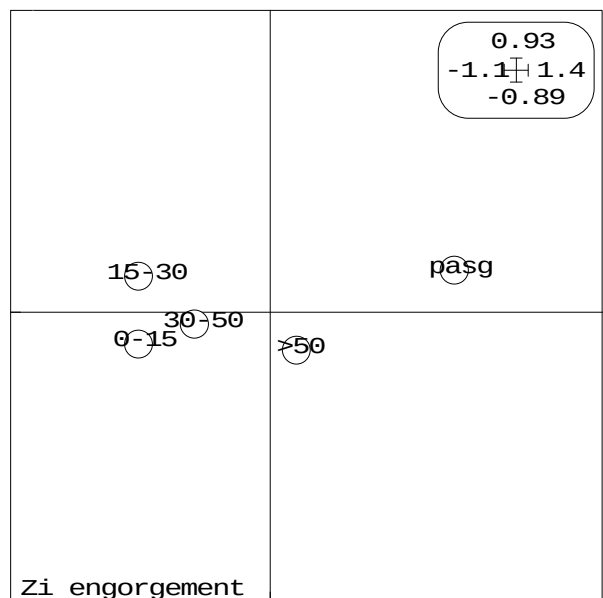
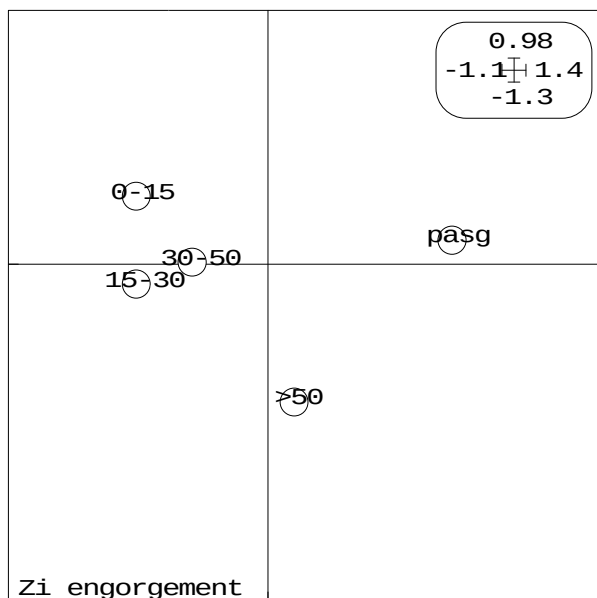
Cette variable avec la répartition de ses modalités va être dure à interpréter. En effet, la première modalité avec que deux occurrences se retrouve isolée. De plus, la troisième modalité (e40-60) a de très nombreuses occurrences.

Si on met à part la première modalité, on observe que les coordonnées factorielles de ces modalités sont croissantes sur l'axe 1. On peut l'expliquer par la forte fréquence de sols lessivés pour cette association (horizon illuvial Bt enrichi en argile) et qu'elle se situe essentiellement sur les plateaux avec limons (souvent d'origine éolienne) sur argiles (souvent à silex) (Perche, Puisaye, Pays fort...). Plus les premiers horizons sont épais (limon épais ou sable épais), plus la profondeur d'apparition d'un horizon enrichi en argile est profonde. Hors ces horizons argileux servent de réserve en eau, c'est pourquoi les sols avec les premiers horizons épais (quatrième modalité) ont des coordonnées positives (faible RU). La variable 2 ne semble pas participer à l'axe 2.

L'axe 1 semble bien lié à la sécheresse.

De même, si on met à part la première modalité, on voit que l'axe 3 oppose les premiers horizons peu épais (coordonnées négatives) aux horizons épais (coordonnées positives).

Profondeur d'apparition des premières traces d'hydromorphie due à l'engorgement :



Axe 1-2 :

Axe 1-3 :

Variables	Modalités	Fréquence	axe 1	axe 2	axe 3
apparition engorgement	Engdeb<15	15	-0,83596	0,48163	-0,19128
	Engdeb15-30	6	-0,82818	-0,13992	0,21755
	Engdeb30-50	10	-0,4867	0,011476	-0,071388
	Engdeb>50	10	0,16234	-0,9642	-0,22857
	Engdebpas	18	1,1529	0,17457	0,25353
R2			0,69755	0,22786	0,043444

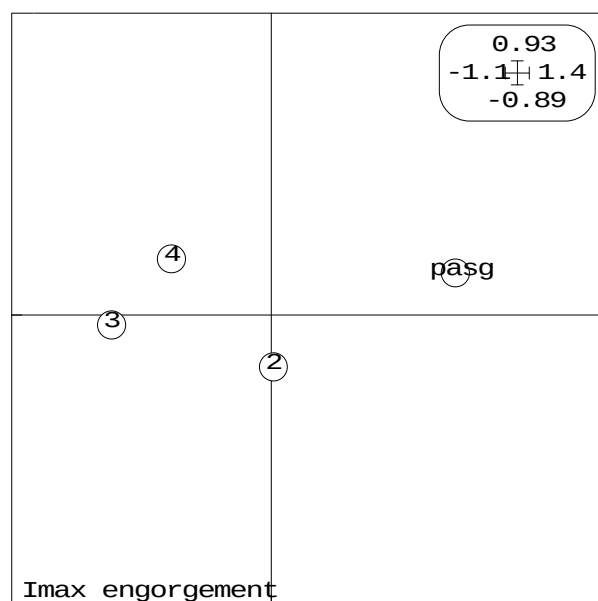
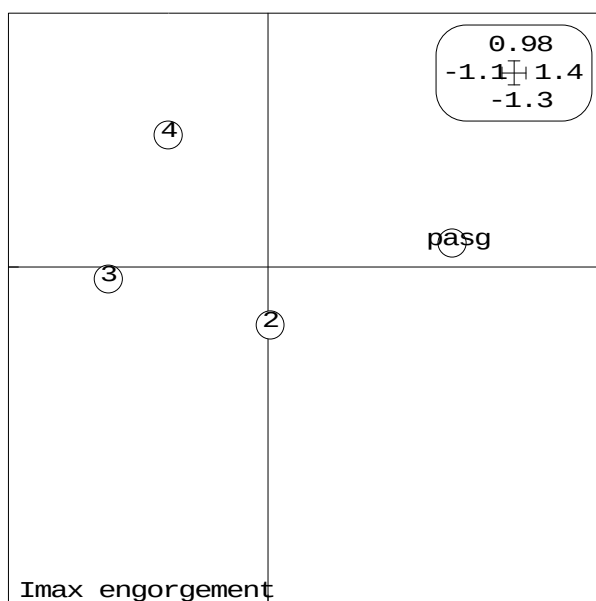
Cette variable est corrélée à l'axe 1. On distingue clairement un pôle avec une apparition de l'engorgement avant 50 cm (coordonnées négatives) d'un pôle avec apparition de l'engorgement > 50 cm. On peut s'étonner du fait que finalement la variable de la RU soit corrélée au même axe que la variable de l'apparition de l'engorgement.

Il est peut être étonnant à première vue que l'engorgement et la RU aillent de paire sur l'axe 1. Sur les coordonnées positives de l'axe 1, on retrouve les faibles RU et les profondeurs d'apparition de l'engorgement > 50 cm. Cela pourrait correspondre aux sols filtrants comme des S, LS, SL ou L de très fortes épaisseurs.

Inversement, les sols avec une apparition de l'engorgement plus superficielle correspondent à des sols à forte RU. Cela peut correspondre à des sols avec une apparition d'un plancher argileux assez rapide en profondeur. Cela confirme l'hypothèse suivante qu'engorgement et RU sont liés par l'épaisseur des horizons de surface et par la profondeur d'apparition du plancher argileux. Ce dernier joue le rôle de réservoir pour la RU et de plancher, par rapport à la contrainte de l'engorgement.

Les deux autres axes ne semblent pas pouvoir être interprétées par rapport à cette variable.

Intensité du maximum des traces d'hydromorphie :



Axe 1-2 :

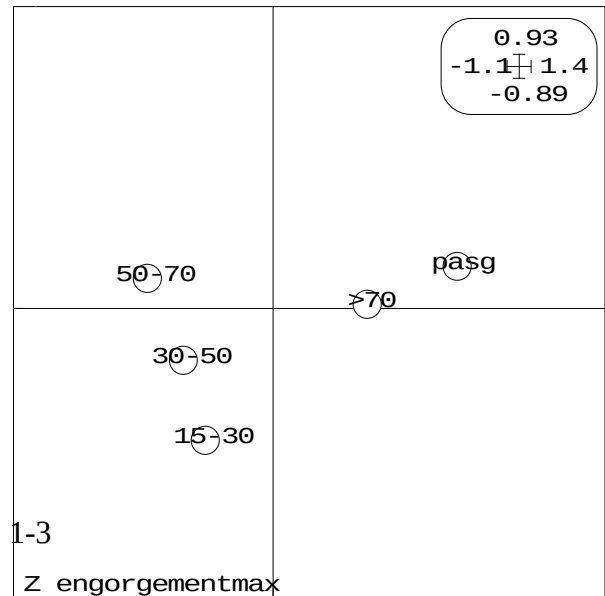
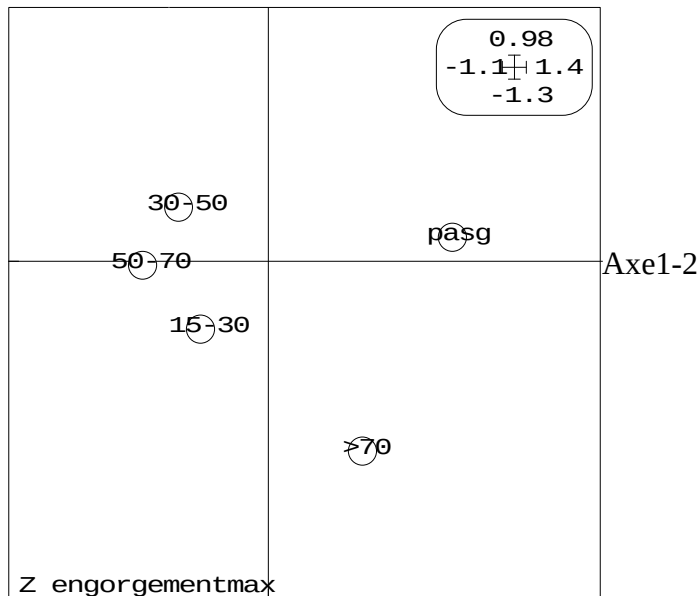
Axe 1-3 :

Variables	Modalités	Fréquence	axe 1	axe 2	axe 3
intensité maximum de l'engorgement	Maxeng0	18	1,1529	0,17457	0,25353
	Maxeng1	18	0,015591	-0,40701	-0,3128
	Maxeng2	17	-1,0123	-0,080466	-0,056421
	Maxeng3	6	-0,63742	0,92531	0,33766
R2			0,74214	0,14877	0,061973

L'interprétation semble similaire à l'interprétation précédente. L'axe 1 oppose les engorgements intenses (coordonnées négatives) correspondant à des sols peu filtrants riches en argile à forte RU, aux engorgements faibles des sols filtrants (sols sableux, sols avec une très forte pierrosité, coordonnées négatives). Les axes 2 et 3 sont peu corrélés à cette variable.

Profondeur du maximum de l'intensité de l'engorgement :

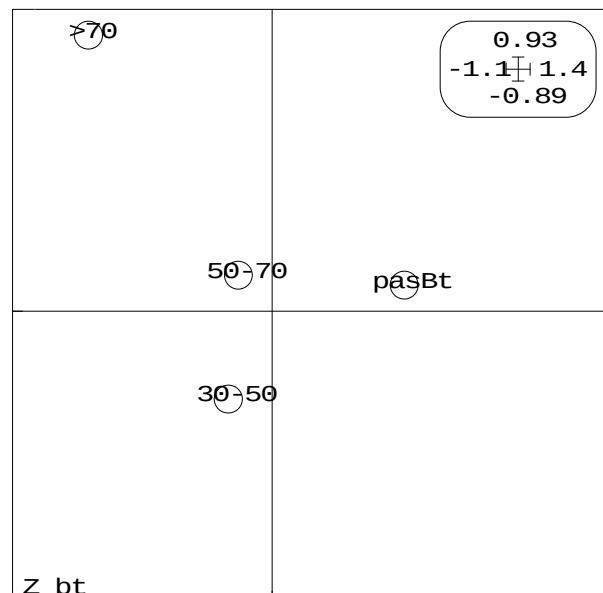
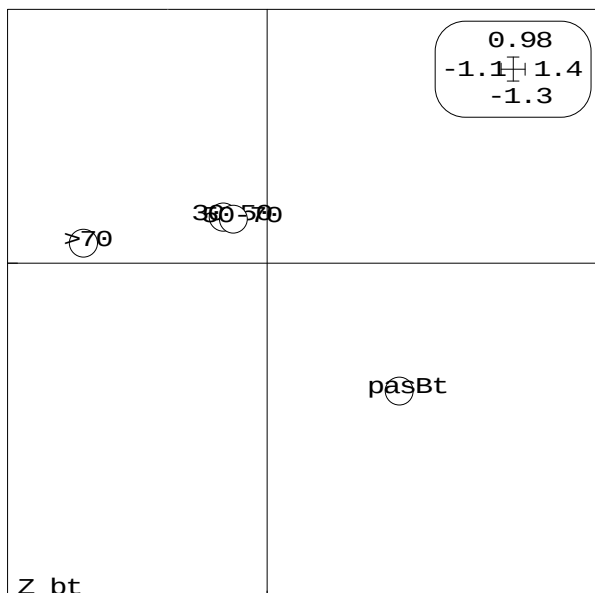
Variables	Modalités	Fréquence	axe 1	axe 2	axe 3
profondeur max engorgement	Engmax15-	4	-0,43569	-0,47337	-0,78769
	Engmax30-50	15	-0,56316	0,38214	-0,30657
	Engmax50-70	17	-0,79466	-0,020598	0,1794
	Engmax>70	5	0,58945	-1,3261	0,027181
	Engmaxpas	18	1,1529	0,17457	0,25353
R2			0,71041	0,21077	0,094905



L'interprétation pour l'axe 1 semble la même que pour les variables précédentes avec un pôle négatif correspondant à un engorgement contraignant et à une forte RU et un pôle avec un engorgement non contraignant et une RU faible.

Le maximum d'intensité de l'engorgement se trouve souvent au sommet de l'Horizon Bt et à la base de l'horizon E, soit l'endroit avec un enrichissement en argile. Sa profondeur peut donner une indication sur l'épaisseur des horizons de surface. C'est pourquoi cette variable est corrélée à l'axe 3. Plus ce maximum de l'engorgement serait près de la surface, plus l'épaisseur des premiers horizons serait faible.

Profondeur d'apparition d'un plancher Bt :



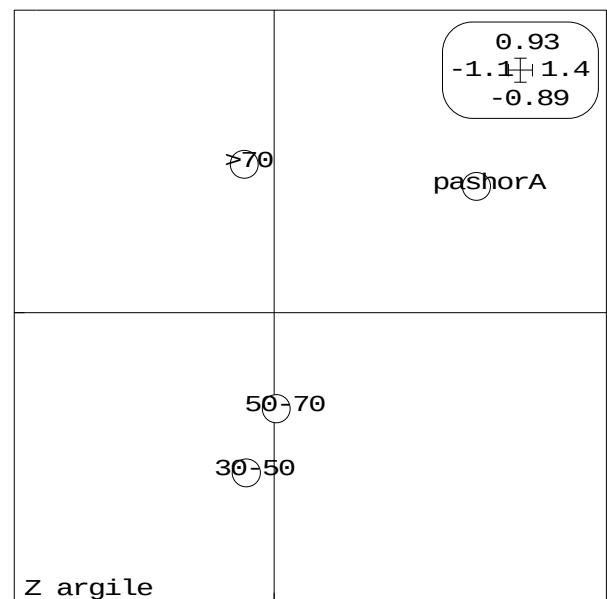
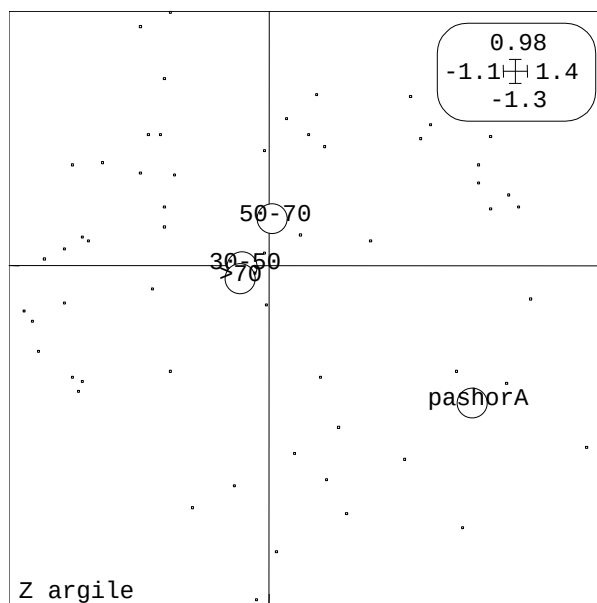
Variables	Modalités	Fréquence	axe 1	axe 2	axe 3
profondeur plancher Bt	Bt30-50	20	-0,27452	0,31991	-0,52603
	Bt50-70	22	-0,21404	0,3065	0,21913
	Bt>70	2	-1,1631	0,14686	1,6564
	Btpas	15	0,83503	-0,89565	0,15912
R2			0,26576	0,2744	0,21114

La modalité Bt > 70 cm de profondeur avec 2 occurrences va s'éloigner du nuage de points et va être dure à interpréter.

L'hypothèse précédente que le premier axe est lié à la profondeur d'un enrichissement en argile se confirme avec une opposition entre les sols lessivés avec plancher et les sols sans plancher Bt. Mais cette interprétation est critiquable, car les sols peuvent ne pas être lessivés et reposer directement sur un horizon argileux (sables sur argile, planosols...).

En tout cas, cet horizon Bt correspond souvent à une transition entre les premiers horizons (A et E) et l'horizon S ou C. Sa profondeur d'apparition indique donc l'épaisseur des matériaux de surface. Ainsi sur l'axe 3 on retrouve l'opposition entre des matériaux de surface épais et des matériaux de surface moins épais. Pour les mêmes raisons que l'axe 1, cette interprétation reste critiquable.

Profondeur d'apparition d'un horizon à dominante argileuse :



Axe 1-2:

Variables	Modalités	Fréquence	axe 1	axe 2	axe 3
profondeur horizon à dominante argileuse	A30-50	13	-0,17986	-0,0035116	-0,95722
	A50-70	19	0,0095687	0,33935	-0,57402
	A>70	22	-0,19106	-0,075092	0,88877
	Apas	5	1,272	-0,95001	0,75944
R2			0,15788	0,11568	0,65142

Axe 1-3:

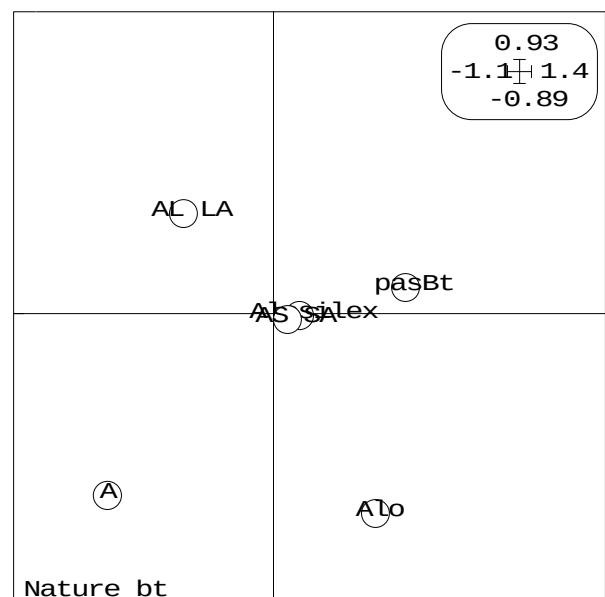
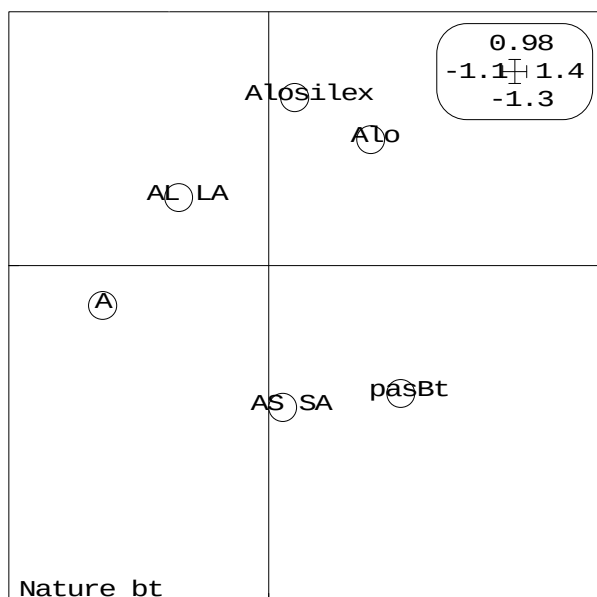
L'interprétation de cette variable sur l'axe 1 est compliquée. En effet, les horizons à dominante argileuse peuvent être profonds, mais ils peuvent être couverts par des horizons Bt à texture LA enrichis en argiles. C'est pourquoi, cette variable est difficilement interprétable par rapport à l'axe 1.

En tout cas, l'hypothèse que l'axe 3 oppose des sols avec des horizons de surface non argileux épais et des sols plus minces avant l'horizon argileux se confirme. Le seuil est ici de 50 cm entre ces sols épais et ces sols minces.

L'idée d'avoir une variable profondeur d'apparition d'un horizon Bt et une variable profondeur d'apparition d'un horizon à dominante argileuse était d'analyser la transition entre des horizons lessivés et le substrat sous jacent, de voir si la transition était progressive et non contraignante pour l'enracinement.

Nature du plancher Bt:

Variables	Modalités	Fréquence	axe 1	axe 2	axe 3
nature plancher	A	6	-1,0541	-0,27293	-1,0851
	AL LA	21	-0,56389	0,48107	0,60244
	Alo	7	0,64449	0,88106	-1,1868
	Alosilex	4	0,15607	1,1727	-0,008664
	AS SA	6	0,084129	-0,9814	-0,030922
	pas de plancher	15	0,83503	-0,89565	0,15912
R2			0,45508	0,57718	0,42256



Axe 1-2:

Les argiles avec leur nature jouent sur la contrainte de l'engorgement. On retrouve les argiles ayant une réserve en eau moindre sur les coordonnées positives de l'axe 1 avec les AS, les argiles lourdes à silex pierreuses.

De même on retrouve l'opposition de texture sur l'axe 2 avec les LA au niveau des coordonnées positives et les AS et SA au niveau des coordonnées négatives.

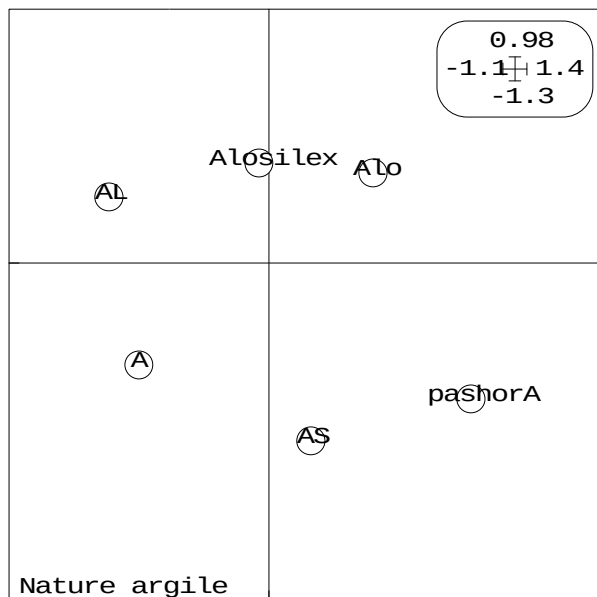
Cette variable est difficilement interprétable sur l'axe 3.

Axe 1-3:

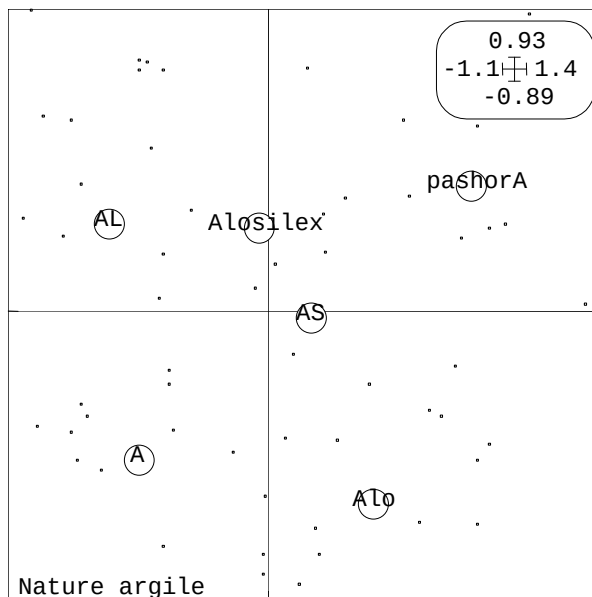
Nature des argiles du premier horizon à dominante argileuse:

Variables	Modalités	Fréquence	axe 1	axe 2	axe 3
nature argile	A	8	-0,82192	-0,71498	-0,88269
	AL	7	-1,0066	0,45761	0,53114
	Alo	9	0,65243	0,63015	-1,1385
	Alosilex	20	-0,064603	0,70078	0,50813
	AS	10	0,26819	-1,242	-0,037014
	pas d'horizon à dominante argileuse	5	1,272	-0,95001	0,75944
R2			0,42746	0,65915	0,47346

Axe 1-2:

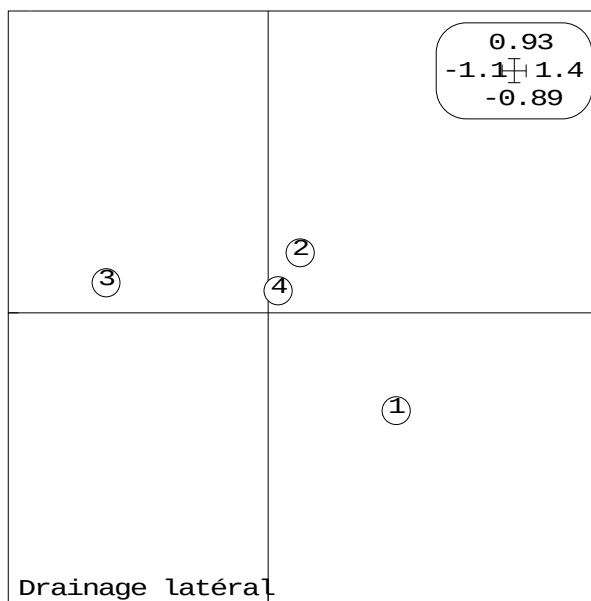
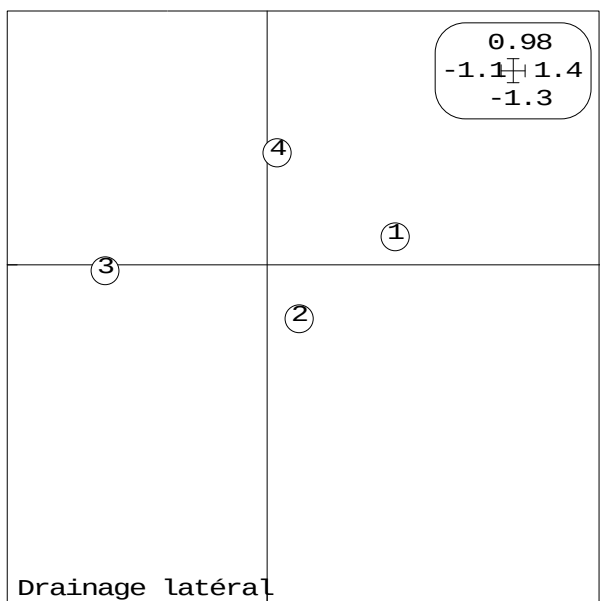


Axe 1-3:



L'interprétation est la même que pour la variable précédente. On remarque que ces deux variables sont quasi redondantes.

Drainage latéral:



Axe 1-2:

Axe 1-3:

Variables	Modalités	Fréquence	axe 1	axe 2	axe 3
drainage	D1	18	0,80492	0,19866	-0,57631
	D2	18	0,20185	-0,37646	0,35757
	D3	18	-1,0225	-0,040934	0,18132
	D4	5	0,056641	0,78746	0,13472
R2			0,52933	0,10834	0,1519

Cette variable est corrélée à l'axe 1. Le pôle des coordonnées positives correspond au drainage latéral important, tandis que le pôle négatif est associé à la modalité 3 (plateau) soit pas de drainage. La modalité 4 est plus difficilement interprétable avec que 5 occurrences, elle correspond aux fonds de vallon et bas de versants qui ont des arrivées d'eau mais qui sont drainés tout de même.

Cela confirme que l'axe 1 est lié à la contrainte de l'engorgement. L'axe 1 est lié également à la RU. Comment le drainage latéral peut il être relié à la RU?

Les situations de versant (1 et 2) et de fond de vallon (4) sont constituées pour la plupart par des colluvions limono sableuses à forte charge à silex dans la région (plateau d'argile à silex recouvert par les limons), avec l'érosion et le remaniement des matériaux. Ces situations de versant et de fond de vallon, avec une forte pierrosité, ont une RU plus faible et un meilleur drainage, que les situations en plateau (3) sans drainage et avec une pierrosité plus faible.

Pourcentage du maximum de pierrosité croisé avec le drainage latéral, nombre d'occurrences:

NB Pourcentage du maximum de pierrosité	Pourcentage du maximum de pierrosité						
Drainage latérale	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	>50	Total
1	1	3	3	1	7	3	18
2	5	4	2	1	4	2	18
3	9	5	2	1	1		18
4		1	1			1	3
5			1		1		2
Total	15	13	9	3	13	6	59

La lecture du tableau suivant confirme l'hypothèse précédente.

Variables sur la pierrosité:

Variables	Modalités	Fréquence	axe 1	axe 2	axe 3
profondeur apparition pierrosité	z Pi0-20	26	0,86445	0,31026	-0,1488
	z Pi20-40	6	-0,45978	-0,59431	-0,92836
	z Pi40-60	5	-0,60471	0,97441	-0,66782
	z Pi>60	5	-0,86642	1,0551	1,4084
	z Pipas	17	-0,72714	-0,86167	0,33741
R2			0,59776	0,46708	0,3361
profondeur max pierrosité	z Pmax0-40	12	0,60064	-0,24033	-0,25121
	z Pmax40-60	17	0,28078	0,50767	-0,96969
	z Pmax60-80	10	0,19675	0,7081	1,1671
	z Pmax>80	9	-0,47257	-0,28271	0,79325
	z Pmaxpas	11	-0,88139	-0,93482	0,062599
R2			0,28156	0,34611	0,61137
pierrosité initiale	Pi0-10	34	-0,57094	-0,36873	0,057892
	Pi10-20	11	0,71796	0,26955	-0,76941
	Pi20-30	5	0,63328	0,6503	0,34184
	Pi>30	9	0,92756	0,70223	0,53177
R2			0,44918	0,20296	0,16534
pierrosité maximale	Pmax0-10	15	-0,84226	-0,8083	0,18798
	Pmax10-20	13	-0,094624	-0,50272	-0,22428
	Pmax20-30	9	-0,24	0,52963	-0,17597
	Pmax>30	22	0,72837	0,63151	0,076343
R2			0,38894	0,41329	0,026964

La pierrosité est liée à l'axe 1. Les coordonnées négatives correspondent à une pierrosité faible ou nulle et à une apparition profonde. Les coordonnées positives correspondent à une forte pierrosité avec une faible

On distingue ainsi un pôle de stations sensibles au tassement d'un pôle non sensible.

CAH constitution des groupes pour la hêtraie chênaie acidiphile atlantique à houx :

Méthode :

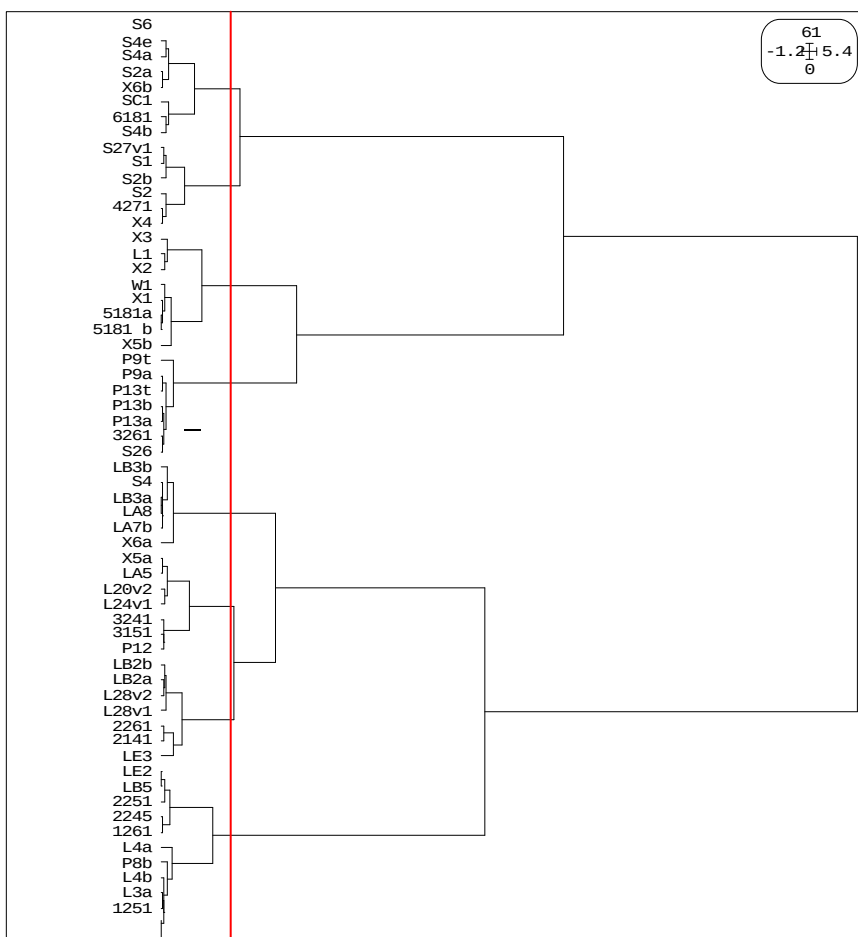
A partir de l'analyse statistique précédente, on va constituer les différents groupes de cette association. On calcule tout d'abord la distance de Ward pour les 59 stations à partir de leurs coordonnées factorielles (métrique Euclidienne) sur les trois premiers axes issus de l'ACM. On se sert de cette distance ultramétrique de Ward, pour constituer les groupes de stations proches sur ces trois premiers axes grâce à la classification hiérarchique ascendante.

On vérifie ensuite la cohérence de ces groupes en regardant leurs caractéristiques écologiques à partir des variables ayant servi à l'ACM mais aussi des variables supplémentaires. On se sert notamment des variables sur les grandes contraintes, sur lesquelles on s'aide pour faire les regroupements à dire d'expert. Elles aideront à déterminer la véracité de ce dire d'expert mais aussi de contrôler la pertinence de ces groupes statistiques.

Groupement des stations similaires :

On travaille à partir des 59 stations avec lesquelles l'analyse statistique a été réalisée.

Après calcul de la distance de Ward entre ces stations à partir de leurs coordonnées factorielles sur ces 3 axes, on effectue une classification hiérarchique ascendante. Le dendrogramme suivant est issu de cette CAH et permet de choisir le niveau hiérarchique que l'on souhaite garder soit le nombre de groupes de stations similaires que l'on veut constituer. La hiérarchie que l'on garde dépend du degré et du niveau de précision que l'on souhaite.

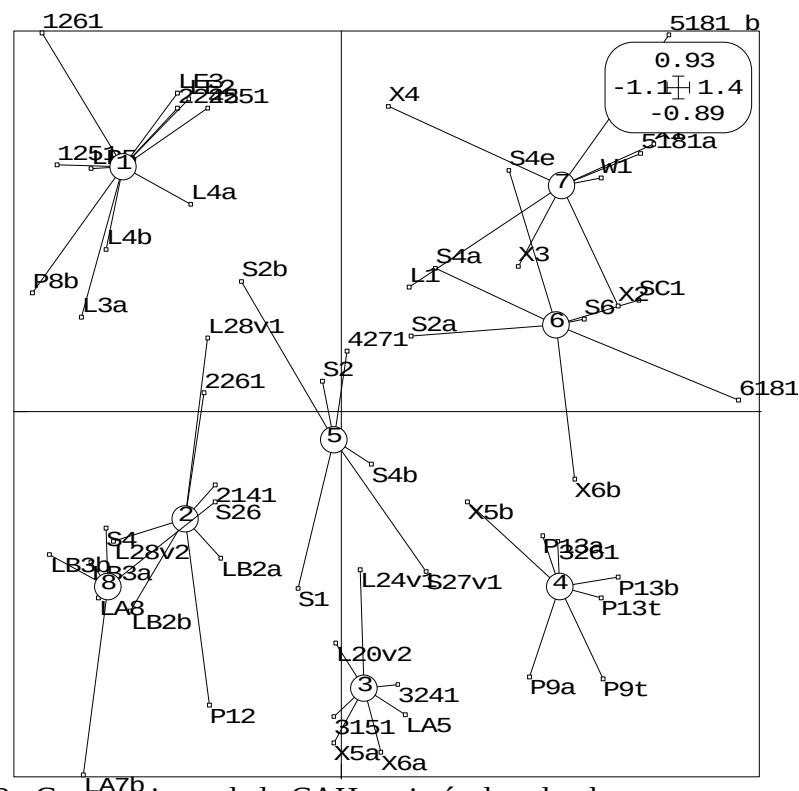
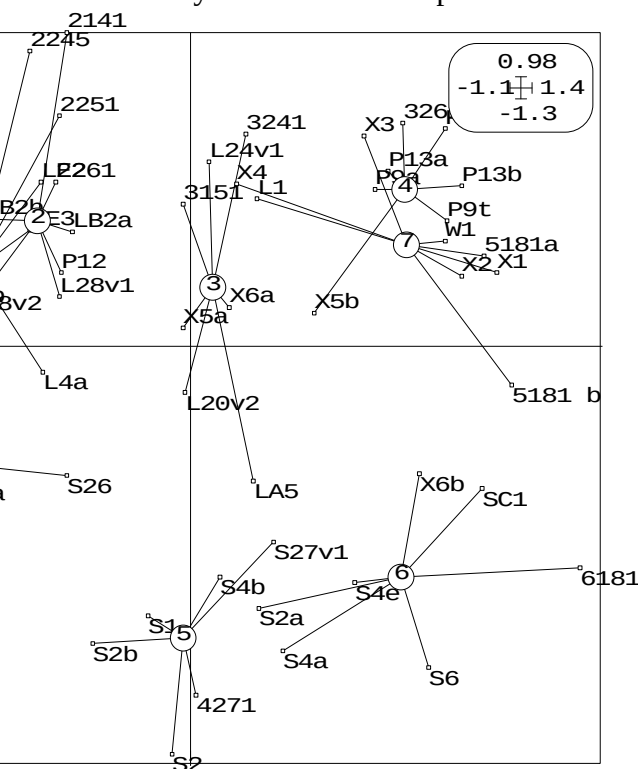


Dendrogramme issu de la CAH à partir des coordonnées factorielles des stations :

On a choisi ici de garder un niveau hiérarchique de 8. Il a été préféré de prendre un nombre assez grand de groupes, pour au pire les regrouper si certains étaient similaires. En prenant un nombre de groupes plus petit, la démarche aurait peut être été l'inverse.

Caractérisation écologique des groupes issues de la CAH :

On peut projeter ces groupes dans le plan factoriel 1-2 et 1-3 pour analyser leurs caractéristiques en utilisant l'analyse des axes faites préalablement.



Groupes issus de la CAH projetés dans le plan 1-2 Groupes issus de la CAH projetés dans le plan 1-3 :

En bas de l'axe 2, on voit immédiatement que l'on a deux groupes (5 et 6) qui correspondent à un pôle sableux. On a 3 groupes à gauche de l'axe 1 (coordonnées négatives) (1 et 2 et 8) qui correspondent aux stations avec engorgement. Elles se distinguent des 2 stations en haut à droite (4 et 7) qui correspondent aux limons des plateaux sur argile à silex avec une forte pierrosité et une RU faible.

On va par la suite analyser une par une les variables écologiques par groupe.

RU :

	Groupes issus de la CAH								
RUM sur 1 m	1	2	3	4	5	6	7	8	Total
25-50							1		1
50-75							3		3
75-100			1	3		3	3		10
100-125			2	3	6	4			15
125-150	1	2	3	1				4	11
150-175	5	5	1				1	2	14
>175	5								5
Total	11	7	7	7	6	7	8	6	59

On voit, que les groupes 1 et 2 et 3 et 8 se distinguent des autres groupes, avec une RU en moyenne supérieure à 125mm, tandis que les autres groupes ont une RU moyenne en dessous de ce seuil.

Le groupe 3 est intermédiaire (position médiane sur l'axe 1). Il faudra peut être regrouper les extrêmes de ce groupe, avec les groupes avoisinants.

Le groupe 7 a une station L1 qui sort du lot, qui sera reclassée par la suite, car elle ne présente pas de contraintes de sécheresse.

Texture des premiers horizons :

	Groupes issus de la CAH								
Texture de surface	1	2	3	4	5	6	7	8	Total
S				1	5	3	1		10
SL			1	1		4		3	9
L	7	2	2	2			6		19
LS	4	5	4	3	1		1	3	21
Total	11	7	7	7	6	7	8	6	59

Les groupes 1 et 2 sont des groupes à texture limoneuse dans les premiers horizons du sol. Au contraire les groupes 5 et 6 sont à texture sableuse. Le groupe 7 est à dominance limoneuse.

Profondeur d'apparition des traces d'hydromorphie :

	groupes issus de la CAH								
Profondeur d'apparition des traces dues à l'engorgement	1	2	3	4	5	6	7	8	Total
0-15	5	4	3					3	15
15-30	3				1			2	6
30-50	2	3	2		1		1	1	10
50-70	1		2		4	1			8
>70				1		1			2
pas d'engorgement				6		5	7		18
Total	11	7	7	7	6	7	8	6	59

On distingue les différents groupes avec la profondeur d'apparition de l'engorgement avec un seuil de 30 cm. Ainsi le groupe 1 et le groupe 8 sont engorgés avec une profondeur moyenne d'apparition de l'engorgement inférieure à 30 cm. Les groupes 4, 5 et 6 et 7 ne sont pas engorgés. Les groupes 3 et 2 sont intermédiaires. Si on prend un seuil de 30 cm pour différencier les stations engorgées des stations non engorgées, alors les groupes 1 et 2 et 3 seront répartis dans différents groupes.

Intensité du maximum de l'engorgement :

	groupes issus de la CAH								
Maximum intensité de l'engorgement	1	2	3	4	5	6	7	8	Total
Pas d'engorgement				6		5	7		18
1	2	1	5	1	5	2	1	1	18
2	6	5	1		1			4	17
3	3	1	1					1	6
Total	11	7	7	7	6	7	8	6	59

Les conclusions sont les mêmes que pour la variable précédente. Les groupes 4, 5 et 6 et 7 ont une contrainte engorgement quasi nulle. Tout de même, le groupe 5 se démarque du groupe sans engorgement mais l'engorgement reste léger.

Profondeur de blocage de la tarière ou profondeur où la pierrosité dépasse 30 % :

	groupes issus de la CAH								
Profondeur où la pierrosité dépasse 30%	1	2	3	4	5	6	7	8	Total
0-20			1	4		1	5		11
20-40			2	1			2		5
40-60		1	1	1					3
60-80	2	1							3
>80	3						1		4
Pas d'EG >30 %	6	5	3	1	6	6		6	33
Total	11	7	7	7	6	7	8	6	59

Cette variable permet de distinguer les groupes 5 et 6 (sauf 1 station très caillouteuse) des groupes 4 et 7 dans le pôle sécheresse. Les groupes 5 et 6 correspondent à des sols en surface sableux avec une contrainte sécheresse et une contrainte engorgement négligeable pour le groupe 5.

Les groupes 4 et 7 correspondent aux limons sur argiles à silex avec une forte charge en éléments grossiers, ce qui limite la RU. Le groupe 7 a une RU encore plus faible que le groupe 4. Ceci est dû au fait que la pierrosité est encore plus importante pour ce groupe, comme l'indique le tableau suivant.

	groupes issus de la CAH								
Pourcentage du maximum de pierrosité	1	2	3	4	5	6	7	8	Total
0-10	5				3	2		5	15
10_20	1	4	2		2	3		1	13
20_30	3	2	1	1	1		1		9
30_40	1	1	1						3
40_50	1		3	6		1	2		13
>50						1	5		6
Total	11	7	7	7	6	7	8	6	59

Le groupe 8 se distingue par une pierrosité quasi nulle.

On distingue déjà par ces tableaux et par les analyses précédentes les futurs groupes pour les stations de cette association :

- Un groupe correspondant à un pôle sécheresse avec une forte pierrosité et blocage de la terrière avant 40 cm (les textures de surface étant variées mais avec une majorité de limon) mais sans engorgement. Ce groupe serait issu des groupes 4 et 7 de la CAH. La clé d'entrée pour ce groupe serait le blocage de la terrière avant 40 cm et l'absence de traces d'engorgement avant 30 cm (problème si on ne peut pas prospecter)
- Un groupe correspondant aux textures sableuses filtrantes mais avec une pierrosité faible ou nulle avec une contrainte sécheresse mais sans contrainte d'engorgement. La clé d'entrée serait premiers horizons épais à dominante sableuse (> 50 cm) et l'absence de traces d'hydromorphie dans les 30 premiers centimètres. Il serait constitué des groupes 5 et 6 issus de la CAH.

- Un groupe correspondant aux textures sableuses filtrantes avec une pierrosité faible ou nulle sans contrainte d'engorgement avec apparition d'un plancher argileux avant 50 cm de profondeur. La clé serait texture de surface sableuse, sable peu épais < 50 cm, absence de trace d'hydromorphie, horizon à dominante argileuse avant 50 cm de profondeur. Il serait constitué des stations du groupe 5 et 6 avec une profondeur d'apparition d'un horizon à dominante argileuse avant 50 cm de profondeur.
- Un groupe correspondant aux limons avec une forte pierrosité et engorgement. La clé d'entrée serait le blocage de la tarière dans les 40 premiers centimètres du sol et l'apparition des traces d'engorgement avant 30 cm de profondeur. Il serait constitué des stations extrêmes du groupe 3 avec blocage de la tarière et engorgement.
- Un groupe correspondant aux limons sains sans engorgement et avec une pierrosité faible ou nulle. La clé d'entrée serait le non blocage de la tarière dans les 40 premiers centimètres du sol et l'absence de traces d'hydromorphie dans les 30 premiers centimètres. Il serait constitué à partir du groupe 1, 2 et 3 et une apparition d'un horizon à dominante argileuse supérieure à 50 cm.
- Un groupe de limons sains peu épais (<50 cm) avant l'apparition d'un horizon à dominante argileux. La clé d'entrée serait le non blocage de la tarière dans les 40 premiers centimètres du sol et l'absence de traces d'hydromorphie dans les 30 premiers centimètres. Il serait constitué à partir du groupe 1, 2 et 3 et une apparition d'un horizon à dominante argileuse inférieur à 50 cm.
- Un groupe de limons engorgés. La clé d'entrée serait, l'apparition de traces d'hydromorphie avant 30 cm de profondeur et l'absence de blocage de la tarière dans les 40 premiers centimètres du sol. Il serait constitué des groupes 1, 2 et 3 et 8.
- Un groupe de sables engorgés. La clé d'entrée serait, l'apparition de traces d'engorgement avant 30 cm de profondeur. Il serait constitué du groupe sableux du groupe 8.

A partir de ces éléments, on classe les différentes stations dans des groupes qui nous semblent homogène.

	Groupes issus de la CAH								
Groupe final	1	2	3	4	5	6	7	8	Total
Sable engorgé								3	3
Limon engorgé	8	5						2	15
Limon pierreux et engorgé			3						3
Sable épais					4	5			9
Pierrosité				6		1	7		14
Limon épais	3	2	3	1	1	1	1	1	13
Limon peu épais			1						1
Sable peu épais					1				1
Total	11	7	7	7	6	7	8	6	59

On voit au final, que l'on garde à peu près la logique des groupes issus de l'analyse statistique.

Annexe 9 : Clé pour la reconnaissance des variantes de la hêtraie à garance voyageuse :

I) Si position topographique autres que fond de vallon :

Blocage de la tarière avant 40 cm au bout de trois essais :

(1) Si oui : sécheresse

Horizon A effervescent à l'acide :

(11) Si oui : **Groupe sécheresse et carbonate**

(12) Si non : **Groupe sécheresse**

(2) Si non :

Horizon A effervescent à l'acide

(21) Si oui : **Groupe carbonate**

(22) Si non : **Pas de contrainte**

II) Si Fond de vallon :

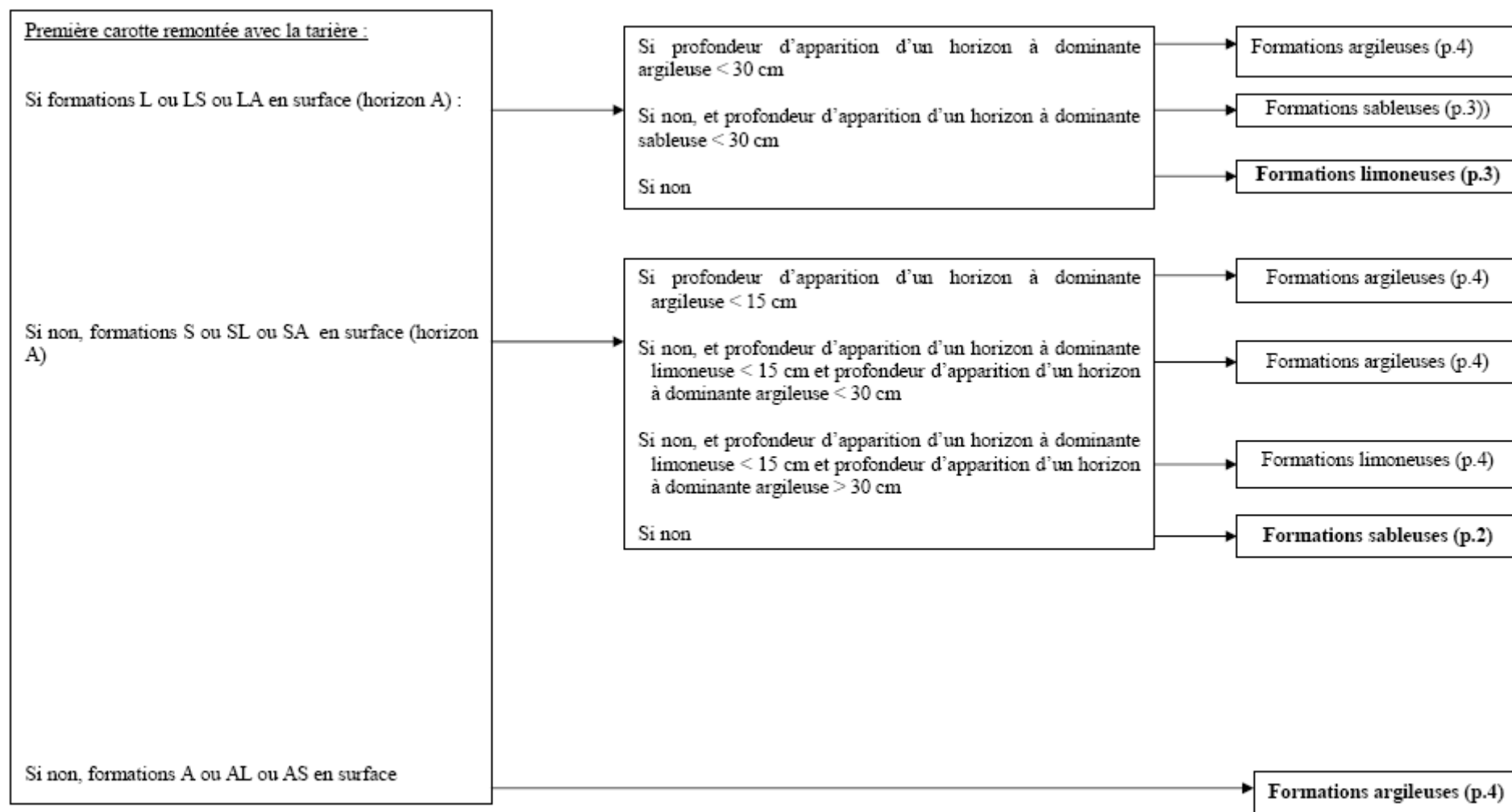
Horizon A effervescent à l'acide :

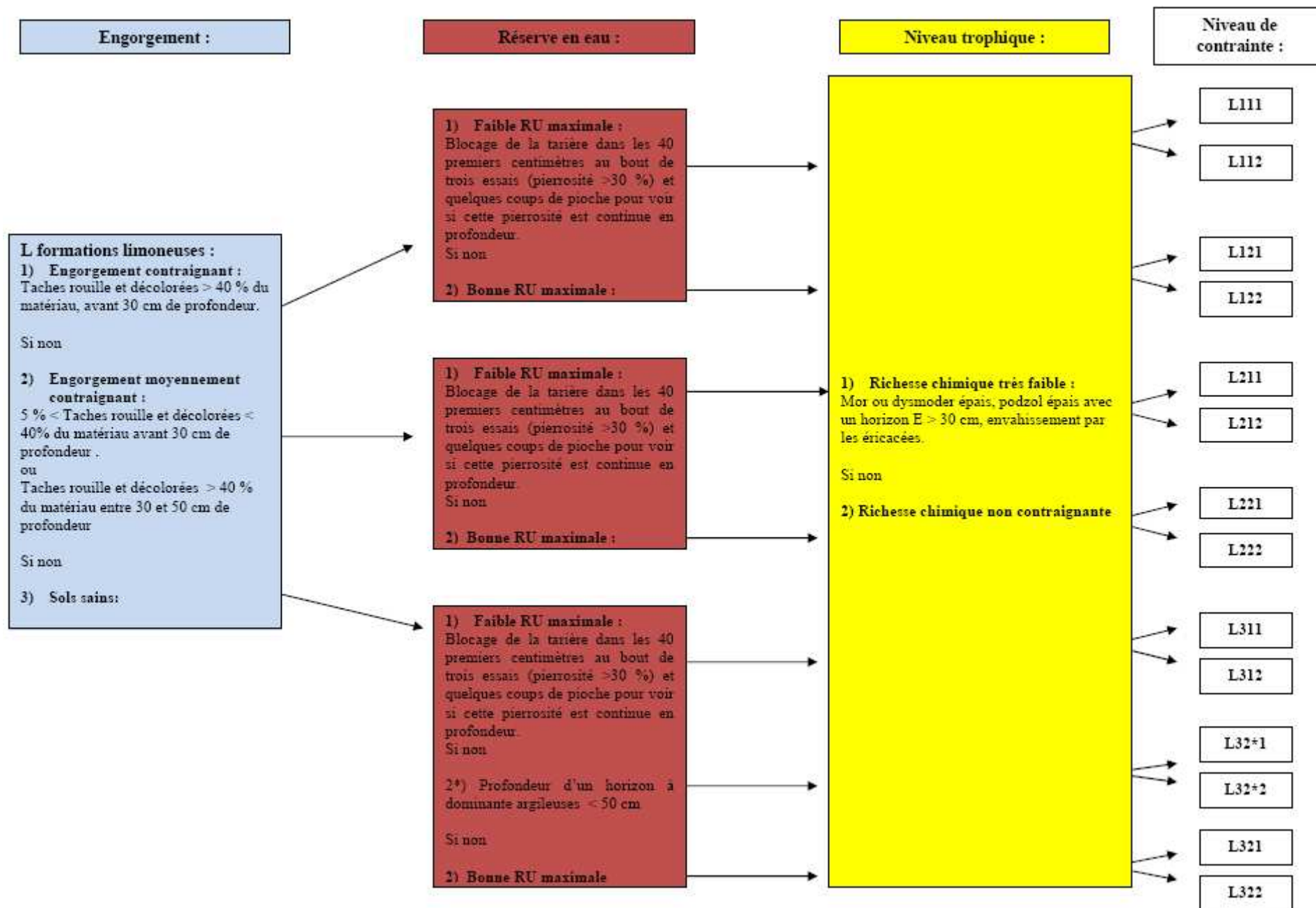
(21) Si oui : **Groupe carbonate**

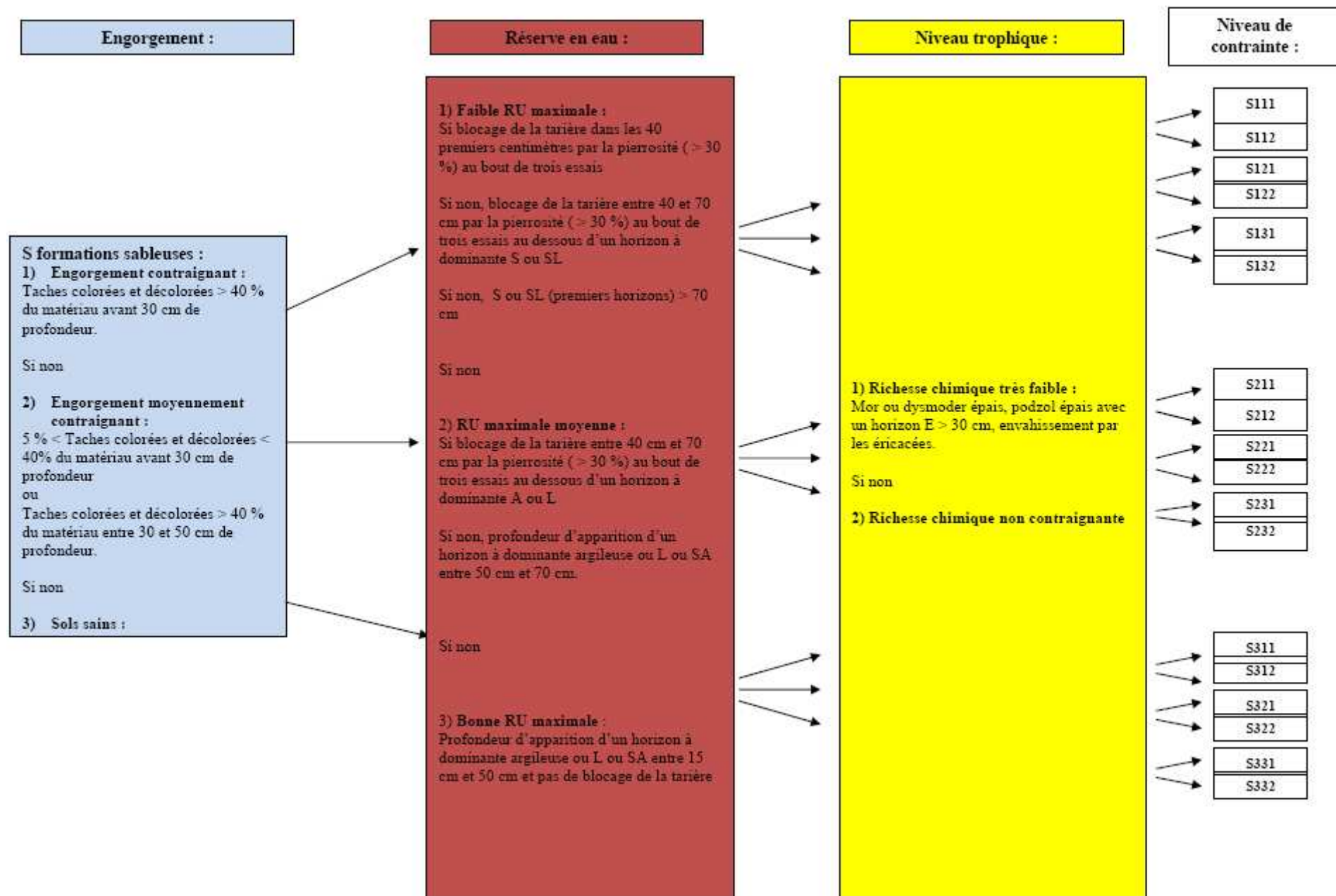
(22) Si non : **Pas de contrainte**

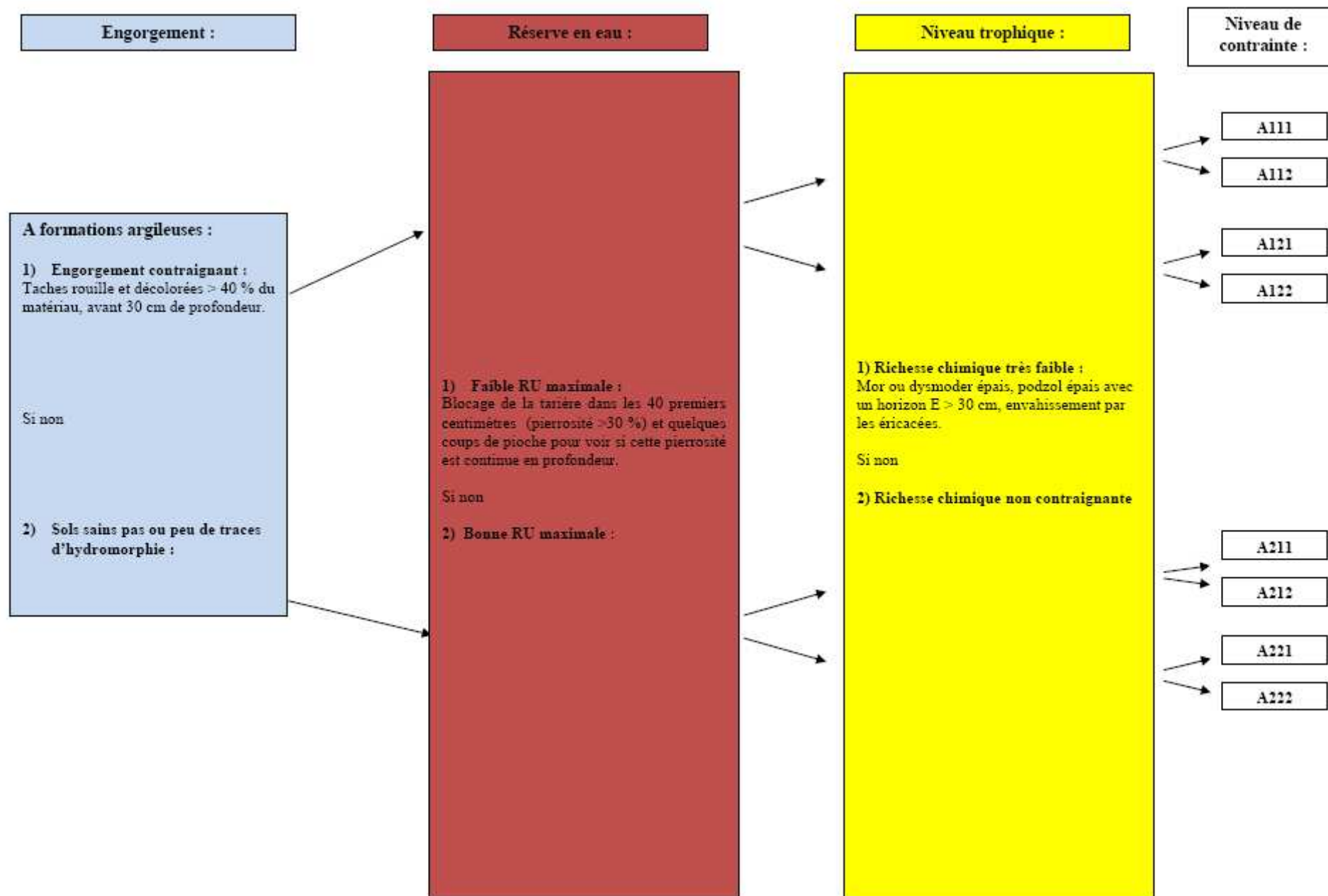
Si dépérissement du chêne pédonculé ou faible hauteur dominante des peuplements, contrainte sécheresse (1.)

Annexe 10 : Clé de reconnaissance des variantes de la chênaie sessiliflore ligérienne à alisier torminal et de la hêtraie atlantique à houx :









Résumé :

Une méthodologie définissant des unités stationnelles cohérentes à partir des catalogues de stations forestières dans la région Centre a été mise en place. Elle a cherché à dégager les contraintes de production, en partant des habitats. Ces derniers sont utilisés comme premier lien entre stations. Les contraintes sont isolées grâce à la définition des variantes des habitats. Elles servent de base à la définition d'unités stationnelles. Leur pertinence pour la gestion est analysée, celles similaires seront regroupées. Les unités stationnelles doivent être cohérentes dans le cadre du changement climatique. Il est intégré en définissant les différentes zones climatiques de la région Centre et en donnant une note en économie de l'eau par station.