

Camille Queinnec

Promotion 80

Cycle A 11



Restauration minérale des sols forestiers bretons

CETEF des Côtes d'Armor

Maison Forestière de Malaunay - 22970 Ploumagoar

Tuteur : Laurent Le Mercier

CNPF délégation de Bretagne, Antenne des Côtes d'Armor

4 rue de la Passerelle – 22200 Guingamp

Tuteur : Michel Colombet

Soutenance : 21 septembre 2016

Expert en charge de l'évaluation : Fabienne Benest



Ecole Supérieure du Bois

Etablissement privé sous tutelle des Ministère de l'Agriculture
et de l'Enseignement Supérieur

Atlantôle – BP 10605 – Rue Christian Pauc – 44306 Nantes Cedex 3

Tél : +33 (0)2 40 18 12 12 – Fax : +33(0)2 40 18 12 00

Web : <http://www.ecoledubois.fr>

Mémoire de fin d'études 2015-2016

REMERCIEMENTS

Ce mémoire a été réalisé conjointement au sein du Centre National de la Propriété Forestière (CNPf) - délégation de Bretagne et du Centre d'Etudes Techniques et d'Expérimentations Forestières (CETEF) des Côtes d'Armor dans le cadre de mon Projet de Fin d'Etudes.

Je tiens dans un premier temps à remercier Laurent Le Mercier, Co-Président du CETEF 22 et Michel Colombet, Ingénieur au CRPF de Bretagne. Merci d'avoir accepté que je réalise cette étude, merci de m'avoir fait confiance et merci pour votre soutien.

Je remercie également très chaleureusement Jean-Pierre Drougard et Thomas Varquet, Techniciens forestiers au CRPF de Bretagne à l'antenne des Côtes d'Armor. Vos conseils, votre disponibilité et votre participation au travail de terrain ont été nécessaires à l'aboutissement de ce travail.

J'adresse mes sincères remerciements à Dr Claude Nys, Directeur de Recherches et Chargé de Mission INRA, pour avoir consacré du temps à mon étude et pour ses précieux conseils malgré ses nombreuses responsabilités et son début de retraite.

Je souhaite également remercier Fabienne Benest, chef de département IGN, pour sa participation au jury en tant qu'examinatrice.

Je voudrais aussi dire un grand merci à toutes les personnes qui ont contribué à la réussite de ce projet :

Merci à tout le personnel du Laboratoire d'Analyses des Sols d'Arras pour l'analyse des échantillons dans un temps aussi contraint.

Merci à Pierre-Yves Tourlière, Chef produits Production Végétale chez Timac Agro, et Jean-Yves Guimard pour leur aide et leurs conseils.

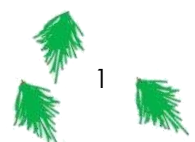
Merci à Lisa et Christophe, Secrétaire et Technicien Forestier à Sylva Expertise pour leurs aides.

Merci aux propriétaires forestiers de nous avoir ouvert leur forêt et nous permettre la réalisation de cette étude.

Merci à l'ensemble du personnel de l'Ecole Supérieure du Bois et à Assouad Ahmad, arrivé en cours de route, pour m'avoir suivie lors de ma formation et de mon Projet de Fin d'Etudes.

Je tiens à remercier tout particulièrement Jérôme Moreau, Responsable du Cycle d'approfondissement A11. Merci pour votre aide, pour vos précieux conseils, pour votre soutien, pour vos connaissances, pour le temps que vous nous avez consacré et pour tous les moments que nous avons partagés avec vous.

Je terminerai en remerciant toute ma famille et mes amis pour leurs encouragements tout au long de ce projet et de mes études. Un grand merci à mes parents pour m'avoir donné la possibilité de faire cette formation, pour m'avoir suivie et supportée parmi mes nombreux changements de situation et pour les valeurs que vous m'avez inculquées.



INTRODUCTION

Le « Projet de Fin d'Etudes », d'une durée de 26 semaines, est le dernier stage de mon cursus à l'Ecole Supérieure du Bois. Il vient compléter ma formation par la mise en pratique des compétences que j'ai pu acquérir au cours des trois années de cycle ingénieur. Il s'agit d'une expérience d'ingénieur, qui exige de la rigueur, de l'analyse et de la prise de recul.

DEPERISSEMENT

EPICEA DE SITKA

FERTILISATION

RESTAURATION MINERALE

AMENDEMENT

Mon stage s'est déroulé sous la double direction du Centre d'Etudes Techniques et d'Expérimentations Forestières des Côtes d'Armor (CETEF - financeur du stage) et du Centre National de la Propriété Forestière – délégation de Bretagne (CNPf) à l'antenne des Côtes d'Armor à Guingamp (encadrement technique).

Durant ces six mois, la restauration minérale des sols forestiers bretons a été au cœur de mon projet.

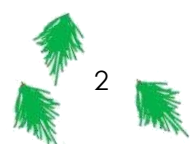
Le présent document est destiné à vous présenter les tenants et aboutissants de l'étude.

Après une introduction consacrée au contexte socio-économique de la Bretagne et à la présentation des organismes pour qui j'ai travaillé, le cadre de mon étude et ses objectifs vous seront exposés.

Vous pourrez apprécier le déroulement de l'étude avec ses différentes étapes ainsi que les outils utilisés pour répondre à la problématique.

Enfin, vous terminerez par les résultats de l'étude et une ouverture sur d'autres perspectives.

Je vous souhaite bonne lecture.



NOTE DE SYNTHÈSE

Le climat (température, humidité) ainsi que le bilan hydrique* et la fertilité minérale du sol sont les principaux facteurs de milieu dont dépend la croissance des arbres forestiers.

Longtemps, le forestier a considéré qu'on ne pouvait agir sur eux. Au fil des années, les scientifiques se sont penchés sur la question et se sont rendu compte qu'il n'en est pas ainsi pour la fertilité minérale. On peut modifier, dans une certaine mesure, la teneur du sol en éléments nutritifs et la porter à une valeur plus proche du niveau optimum.

La plupart des écosystèmes forestiers bretons sont localisés sur des sols naturellement acides et pauvres en éléments nutritifs. Or, plus un sol est acide, moins il peut stocker de cations nutritifs, qui représentent le « garde manger » des plants. Ainsi, si la quantité disponible diminue au-delà d'une certaine limite, l'arbre réduira sa croissance puis dépérira si la situation de déficience en nutriment perdure.

Cette acidification est bien souvent renforcée par l'action de l'homme. Certaines pratiques sylvicoles (coupes à blanc, prélèvements intensifs...) peuvent entraîner une perte élevée d'éléments minéraux (par exportation de matière ligneuse, lessivage par les eaux de drainage, ...). Ces pertes peuvent s'avérer importantes au regard des réserves disponibles dans les sols et accroître le phénomène d'acidification. A cela s'ajoute, depuis la révolution industrielle, la pollution atmosphérique qui renforce ce phénomène et conduit à une diminution des réserves d'éléments nutritifs disponibles pour les arbres. Par ailleurs, les changements climatiques et les événements extrêmes qui les accompagnent, soumettent les forêts à des stress de plus en plus réguliers.

Dans le Centre Ouest Bretagne, l'état général de multiples jeunes reboisements d'Epicéa de Sitka et de Douglas, installés après coupe rase de futaies résineuses sont des signaux qui alertent les professionnels et propriétaires sur l'avenir et la santé de leur forêt.

Nous nous sommes donc demandés de quelle manière restaurer la fertilité des sols forestiers bretons naturellement pauvres et/ou appauvris dans le but d'améliorer l'état sanitaire des peuplements et d'assurer une croissance optimale.

L'amendement et la fertilisation* sont conseillés en cas de déficience de la nutrition en forêt et de risques d'acidification avérés.

L'amendement a pour objectif premier une amélioration des propriétés physico-chimiques et biologiques du sol en vue de favoriser son fonctionnement, et par conséquent sa fertilité, par l'apport notamment de carbonate de calcium et/ou magnésium, complété si besoin d'un apport de phosphore et/ou de potassium afin d'éviter des déséquilibres nutritionnels. Cette pratique vise au maintien ou à la restauration de la fertilité minérale d'un écosystème forestier. On oppose généralement l'amendement à la fertilisation qui a pour seul objectif une augmentation de la production, sans amélioration qualitative du sol.

Nous avons utilisé différents outils de diagnostic, avec des complexités et précisions variables, pour estimer la potentialité d'une parcelle.

L'étude de terrain par l'observation générale du peuplement et la définition du type de station grâce au Guide du Centre Ouest Bretagne est la première méthode utilisée qui nous a permis de sélectionner les sept parcelles de l'étude. Les symptômes les plus courants pour détecter un mauvais état sanitaire d'un Epicéa de Sitka ou d'un Douglas sont une feuillaison diminuée, de faibles dimensions et jaunâtre, un dessèchement des pousses et une faible

croissance. Cependant, ces observations ne fournissent pas les causes du dépérissement (maladie, mauvaise nutrition, ...). Ainsi, de plus amples investigations ont été nécessaires.

Le diagnostic foliaire et le diagnostic des réserves disponibles dans les sols sont complémentaires mais peuvent être réalisés individuellement. Ils permettent de renseigner avec plus de précisions l'état de nutrition du peuplement.

L'analyse de la composition des aiguilles n'a pas pu être mise en œuvre au cours de l'étude (mars à août) car les prélèvements doivent se réaliser d'octobre à novembre.

Les diagnostics des réserves en éléments minéraux disponibles dans les sols nous ont permis de connaître les stocks de nutriments bio-disponibles pour les peuplements grâce aux prélèvements et analyses d'échantillons de sol. Ces stocks sont calculés et sont ensuite comparés à des normes, qui tiennent compte des cycles biogéochimiques des nutriments dans l'écosystème. Le logiciel REGESOL, développé à cet effet par l'INRA, permet de définir les préconisations d'amendement adaptées à chaque parcelle de forêt et à chaque type de sol.

Les résultats obtenus par les analyses de sol mettent en évidence des acidités prononcées et des carences extrêmes en particulier en Calcium, Magnésium et Phosphore et des insuffisances en Potassium.

Au vu des résultats, l'apport d'un amendement calco-magnésien en complément du phosphate naturel et potassium est nécessaire. Les choix des produits se sont dirigés vers un Physalg 15-10, produit apportant du P_2O_5 , K_2O et CaO , à faible solubilité et granulométrie importante. Cela rendra les éléments assimilables à long terme et permettra une restauration progressive des écosystèmes* ainsi qu'une croissance de l'arbre avec les nutriments essentiels durant plusieurs années. L'autre produit est Qualibreiz, un amendement calco-magnésien.

Les effets attendus de l'amendement sur les écosystèmes forestiers sont multiples : une légère diminution de l'acidité du sol accompagné d'une augmentation de son activité biologique, l'amélioration de la santé des arbres, le retour à une production normale et enfin une augmentation de la biodiversité botanique.

L'amendement doit être raisonné pour ne pas conduire à des carences secondaires en certains nutriments. L'ensemble des nutriments doit donc être pris en considération lors des diagnostics pour arriver à la plus juste adéquation entre les besoins des peuplements et les apports à réaliser, et ceci sur le long terme.

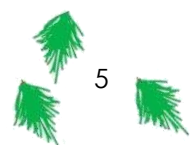
Dans le contexte actuel de sylviculture intensive et de demande de production accrue de bois, il est bon de préciser que l'amendement doit se faire parallèlement à des pratiques sylvicoles raisonnées (sur les rémanents, les itinéraires sylvicoles, l'exploitation, ...).

La possibilité d'amender ne doit donc pas pousser le gestionnaire à intensifier sa gestion forestière pour accroître la productivité en surexploitant la biomasse ou en augmentant le rythme d'accroissement mais doit l'inciter à repenser ses itinéraires sylvicoles et adopter un mode de gestion plus économe des réserves en éléments nutritifs des sols acides et pauvres.

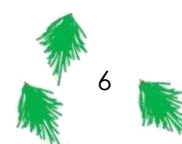
Mobiliser les gestionnaires et propriétaires forestiers sur ces problématiques actuelles devient donc primordial. Il faut bien garder en tête que le sol est une ressource difficilement renouvelable, il faut donc en prendre soin pour conserver l'ensemble des fonctions qui lui sont associées.

TABLE DES MATIERES

LA BRETAGNE ET SA FORÊT	9
1. L'histoire des forêts bretonnes.....	10
2. Son contexte socio-économique et politique	10
3. Le Centre National de la Propriété Forestière.....	12
3.1. Aperçu général.....	12
3.2. La délégation Bretagne	13
3.3. La forêt privée en Bretagne	13
3.4. Le COB – Centre Ouest Bretagne	15
3.5. Le CETEF des Côtes d'Armor	17
PRESENTATION DE L'ETUDE	18
1. Contexte de l'étude	19
2. Problématique	21
3. Objectifs	22
4. Méthodologie et planning.....	23
5. Moyens.....	24
DEVELOPPEMENT DE L'ETUDE	25
1. Les massifs étudiés	26
1.1. Le plan de situation	26
1.2. La gestion de ces massifs.....	27
1.3. Zoom sur l'Epicéa de Sitka.....	27
2. Le sol, source d'apport nutritif des plants.....	29
2.1. Sa structure physique	29
2.2. Son fonctionnement chimique	32
2.3. L'acidité des sols.....	34
2.4. Les facteurs jouant sur la nutrition des peuplements.....	36
3. Des engrais minéraux pour un sol bien nourri.....	37
3.1. Généralité.....	37
3.2. Rééquilibrer la nutrition minérale avant tout.....	38
3.3. Les produits sous toutes leurs formes.....	40
4. Déroulement de l'étude de terrain.....	41
4.1. Notre méthodologie.....	41



4.2.	L'analyse foliaire	41
4.3.	L'évaluation des potentialités forestières sur le terrain.....	42
4.4.	Elimination et sélection des stations	46
4.5.	Les prélèvements de sol	48
4.6.	L'interprétation des résultats et estimation des besoins	54
5.	La mise en place du dispositif de fertilisation	59
5.1.	A la recherche du produit et de son fournisseur.....	59
5.2.	Les modes d'apport : Quand, comment ?	62
5.3.	Les dispositifs que nous allons tester	64
6.	Les enseignements qui peuvent être tirés des essais	66
6.1.	Quels bénéfices attendons-nous de l'amendement ?.....	66
6.2.	Les effets secondaires de la fertilisation	68
7.	L'approche économique	70
8.	Les étapes à venir	71
9.	Ouverture sur de nouvelles pratiques sylvicoles	74
	CONCLUSIONS DE L'ETUDE.....	78
10.	Conclusion générale de l'étude	79
11.	Bilan personnel.....	80



LEXIQUE

Alluvion : Ensembles de dépôts laissés par un cours d'eau.

Amendement : Les amendements améliorent les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols. Les amendements minéraux basiques ont pour rôle principal de maintenir ou d'élever le pH du sol pour rétablir un milieu propice à la croissance des plantes.

Andain : Amas en alignements de rémanents d'exploitation, de défrichement et de débroussaillage sur le terrain (opération : mise en andain ou andainage).

Bilan hydrique : Comparaison entre les apports et les pertes en eau dans un lieu et une période donnée.

Biocénose : L'ensemble des êtres vivants (animaux, végétaux, champignons, bactéries, etc.) établi dans un même milieu.

Coupe rase : Opération marchande qui consiste à récolter l'ensemble des arbres dans une parcelle forestière.

Cycle Biogéochimique : Circulation permanente des éléments minéraux entre les compartiments de l'écosystème, les végétaux et les horizons du sol prospectés par les racines.

Ecosystème : Ensemble écologique composé d'un milieu naturel déterminé dans lequel vivent divers organismes qui interagissent entre eux et avec le milieu.

Engrais et Fertilisation : Les engrais sont des produits dont la fonction majeure est d'apporter aux plantes des éléments nutritifs. La fertilisation a pour rôle principal d'accroître la production.

Equienne : Peuplement forestier dont les arbres ont tous sensiblement le même âge.

Exportation : Eléments prélevés dans le sol et stockés dans le bois du tronc qui quittera la forêt au moment des exploitations.

Futaie : Peuplement forestier constitué d'arbres issus de graines. Les arbres présentent un tronc unique et ont vocation à produire principalement du bois d'œuvre.

Héliophile : Qui aime le soleil et recherche les lieux bien exposés.

Hyposoluble : Qui se dissout difficilement dans un milieu liquide.

Limon : Formation géologique meuble formée de particules minérales de taille intermédiaire entre les sables et les argiles, déposées essentiellement par le vent.

Litière : Ensemble des débris végétaux encore peu transformés recouvrant la surface du sol.

Meuble : Se dit d'un sol, d'une terre qui a peu de cohésion, qui est facile à travailler.

Mycorhization : Associations symbiotiques contractées par les racines des végétaux avec certains champignons du sol. Elles favorisent l'absorption par les racines des éléments minéraux de la rhizosphère et du sol et améliorent ainsi la nutrition de la plupart des espèces végétales.

Minéralisation : Transformation rapide de la matière organique en substances minérales ou gazeuses sous l'action des micro-organismes.

Niveau trophique : Définit un niveau de richesse en éléments minéraux.

Nodosité : Excroissance située sur les radicelles provoquée par la prolifération simultanée de bactéries. C'est au centre de la nodosité que les bactéroïdes vont fixer le diazote.

Polycyclisme : Allongement des pousses (pousse annuelle) discontinu et qui s'effectue en plusieurs cycles de croissance, correspondant à plusieurs unités de croissance (l'allongement des pousses qui se produit rapidement au printemps, en un seul cycle de croissance correspond à une pousse monocyclique soit une unité de croissance).

Prélèvement annuel : Éléments prélevés chaque année au sol par l'arbre pour assurer l'élaboration de sa masse vivante (bois, feuilles etc.) et dont une partie reviendra au sol par la litière* et l'autre quittera la forêt par l'exportation.

Rémanent : Résidus d'exploitation forestière constitués de branches et feuillages, en général non récoltés et restant sur le parterre de la coupe.

Solution du sol : Eau chargée d'ions qui circule dans les espaces libres ou pores du sol ; c'est le lieu des interactions de la terre et de la vie végétale.

Sous solage : Opération dont le but est de régénérer la structure des horizons de sol situés sous le fond de labour. Cette opération poursuit deux buts principaux : améliorer la croissance en profondeur des racines et favoriser le drainage de l'eau en excès.

Station forestière : Étendue de terrain boisé de superficie variable homogène dans ses conditions écologiques (climats, relief, substrat géologique, sol, végétation spontanée). Dès que l'un de ces facteurs varie, la station forestière change.

Substrat : Élément sur lequel repose une couche géologique. Littéralement, "strate d'en dessous". Nom donné à ce qui se trouve au-dessous de ce que l'on voit en surface.

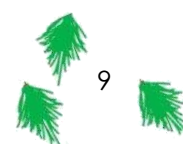


Figure 1 : Source CNPF de Bretagne

LA BRETAGNE ET SA FORÊT



*Le CRPF et le CETEF, des organismes au
service de la forêt privée*



1. L'histoire des forêts bretonnes

Il y a environ 10 000 ans, la péninsule armoricaine était couverte d'un manteau boisé composé de Chênes, Hêtre, Saule, Bouleau, Frêne, If, etc. (*SRGS de Bretagne*).

La forêt privée a connu par le passé une longue période de surexploitation et d'appauvrissement des peuplements. Ainsi, l'état actuel de la forêt bretonne résulte de l'action de l'homme qui l'a façonnée pendant des siècles pour satisfaire ses besoins (*SRGS de Bretagne*) :

- Défrichements et extension de l'agriculture à partir du Néolithique
- Développement économique et surexploitation de la forêt du XVII^{ème} au XIX^{ème} siècle

Depuis 150 ans, la forêt bretonne est rentrée dans un lent processus d'amélioration.

L'utilisation d'engrais et d'amendement* combinée à l'introduction du Pin Maritime au XVIII^{ème} siècle va permettre une régression des landes et une reconquête progressive de la forêt.

A partir de 1946, grâce aux aides du Fonds Forestiers National (FFN), des plantations massives de conifère sont apparues. En tout, 2,3 millions d'ha de nouvelles forêts ont été créés en France depuis l'instauration du FFN, dont les objectifs étaient d'accroître les ressources forestières, de faciliter l'écoulement des produits forestiers, de mieux satisfaire les besoins en bois de la population notamment celui de la reconstruction et de diminuer les importations de bois pour réduire le déficit commercial extérieur de la France (*Géo Confluences 2010*).

La forêt bretonne couvre maintenant environ 380 000 ha (*Inventaire forestier IGN, 2012*), soit près de 14 % du territoire régional. C'est une des régions de France qui a le plus faible taux de forêt (moyenne nationale 28,6%).

Le bocage, avec 182 500 km de haies (*Inventaire forestier national, 2010*) renforce l'impression d'un paysage breton marqué par la présence des arbres malgré un taux de boisement faible. Sur ce linéaire, 78% est encore plus ou moins arboré. On constate cependant que le bocage ne cesse de régresser, tant en quantité qu'au niveau de sa qualité (*Enquête Teruti 2008*).

2. Son contexte socio-économique et politique

La forêt bretonne n'échappe pas aux profondes modifications socio-économiques et aux multiples pressions que les forêts françaises rencontrent :

- Attentes de plus en plus fortes de la société en termes d'accueil du public, de paysage et de cadre de vie, de préservation de biodiversité, de protection des ressources naturelles ...
- Explosion des populations de grands herbivores
- Modifications climatiques, tempêtes et pollutions
- Pression des infrastructures de transport
- Débouchés des bois incertains (recul des recettes provenant de la vente des produits ligneux, concurrence des bois d'importation ainsi que des matériaux de substitution du bois)

Les forêts se doivent d'être multifonctionnelles : protection de l'environnement, lieu de loisirs, de production de bois et d'exercice de la chasse. Ces nouveaux facteurs doivent être intégrés dans la gestion sylvicole et c'est là tout l'enjeu de la gestion forestière dite « durable ».



En ce début de XXI^{ème} siècle, la répartition de la population est de plus en plus déséquilibrée au profit de l'agglomération rennaise et du tissu urbain littoral en pleine expansion démographique, alors que la Bretagne intérieure vieillit et continue de se dépeupler. Les secteurs d'extension forestière sont étroitement corrélés aux zones de dévitalisation rurale.

Cette situation bénéficie à la forêt, qui dispose d'espaces libres pour s'accroître en surface. Cependant, cette dispersion engendre des risques croissants de manque de main d'œuvre pour l'entretien et la gestion des espaces boisés.

L'accroissement des superficies boisées en Bretagne est jusqu'à présent très étroitement lié à la conjoncture agricole qui a libéré des terres. Cet accroissement se poursuivra et devrait profiter à la forêt dans les zones où la pression urbaine est faible (*SRGS de Bretagne*).



Par sa position péninsulaire, la Bretagne est une région qui a tendance à être géographiquement isolée, raison pour laquelle des efforts ont été entrepris de longue date pour son désenclavement, notamment routier.

L'essentiel des grands axes de communication (routiers, ferroviaires, portuaires) se concentre à proximité de la côte. L'intérieur de la Bretagne est moins bien desservi malgré de réels progrès en matière d'infrastructure routière.

Avec sa façade maritime et son réseau de voies de communication, la Bretagne est caractérisée par un important flux rentrant de bois destiné à alimenter les industries de la deuxième transformation.

De leur côté, les scieries bretonnes cherchent autant que possible un approvisionnement de proximité pour limiter les coûts de transport.

La compétitivité des bois d'industrie bretons est toutefois défavorisée par le coût de leur acheminement par voie terrestre vers les unités de transformation, situées à l'extérieur de la région (*SRGS de Bretagne*).



La production de bois et ses divers stades de transformation sont source d'activités très diversifiées. On estime que l'ensemble de la filière forêt - bois bretonne emploie actuellement environ 23 000 personnes, dont 90 % dans la seconde transformation du bois. La filière forêt - bois vient en cinquième position en matière d'emploi, au même niveau que la branche électronique-télécommunication, et juste avant le tourisme et l'automobile (*SRGS de Bretagne*).







3. Le Centre National de la Propriété Forestière

3.1. Aperçu général

Le Centre National de la Propriété Forestière (CNPF) est un établissement public national, sous tutelle de l'Etat, au service de la forêt privée depuis 1963.

Le CNPF est chargé, conformément aux législations en vigueur, d'orienter et de développer la gestion durable des forêts privées de la région. Il est administré par des propriétaires forestiers élus.


Les CRPF sont des délégations régionale du CNPF et sont présents dans toute la France et concernent tous les propriétaires, quelle que soit la surface de leur forêt. Leurs missions, définies dans l'article L 321-1 du code forestier sont les suivantes (*Site du CRPF de Bretagne*) :

-  Elaboration du Schéma Régional de Gestion Sylvicole (SRGS), document cadre de la gestion durable
-  Agrément des Plans Simples de Gestion (PSG), approbation des Règlement type de Gestion (RTG) et élaboration du Code des Bonnes Pratiques Sylvicoles (CBPS) en conformité avec le SRGS
-  Promotion des méthodes de sylviculture
 - réunions d'information
 - documents techniques
 - installation et suivi d'un réseau de parcelles d'expérimentation
 - visites individuelles et diagnostics techniques
-  Regroupement et coopération entre les producteurs de bois (mobilisation et travaux forestiers)
-  Aide à la bonne valorisation économique des produits de la forêt
-  Prise en compte des demandes environnementales et sociales

Tous les six ans, les propriétaires forestiers de plus de quatre hectares élisent le conseil de centre de chaque CRPF. Celui-ci fixe les grandes lignes de l'activité du centre dans le souci de faciliter la gestion des forêts privées. La Loi Forestière de 1963 a instauré pour la forêt privée un principe partiel d'autogestion puisqu'elle confie aux élus du CRPF l'élaboration de documents encadrant la gestion durable et l'agrément des plans simples de gestion.

Les conseillers du collège départemental sont membres de la Chambre d'Agriculture. Ils participent également à différentes commissions départementales placées sous l'autorité du Préfet (réglementation de la chasse et de la faune sauvage, les sites classés, l'orientation de l'agriculture,...)

Les moyens financiers des CRPF proviennent de trois sources :

-  Une contribution perçue sur les impôts fonciers des parcelles en nature de bois (la moitié des fonds collectés sont reversés aux CRPF)

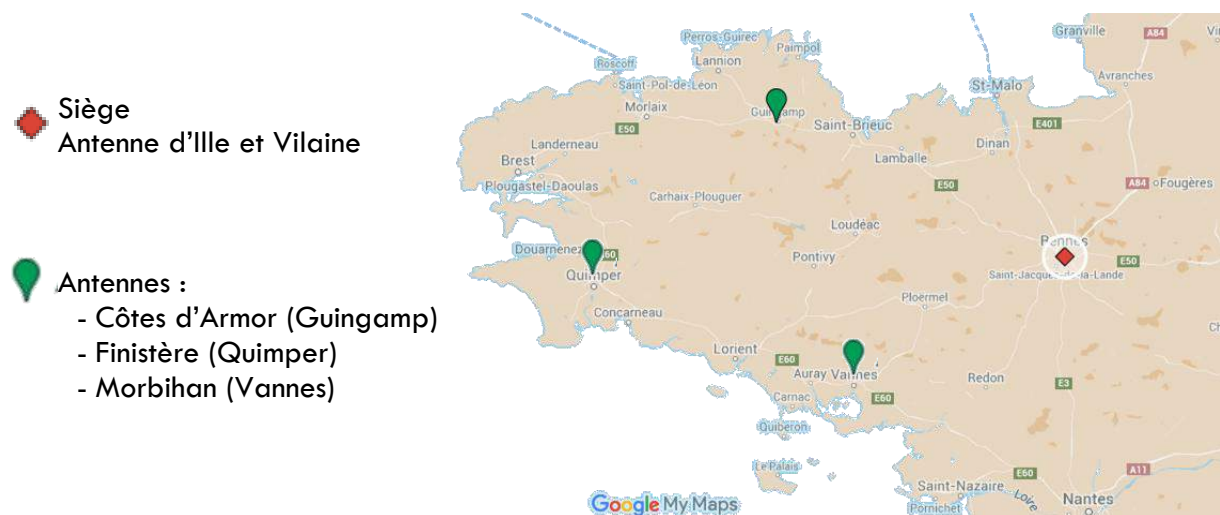
- 🌳 Un complément issu du budget de l'Etat (Ministère de l'Agriculture)
- 🌳 De conventions pour des actions particulières passées avec les collectivités territoriales, notamment le Conseil Régional et Départemental et des projets Européens

3.2. La délégation Bretagne

Le CNPF Bretagne est constitué d'une équipe de 17 personnes comprenant 1 directeur, 4 ingénieurs, 9 techniciens et 3 employés administratives.

Le territoire d'intervention du CNPF Bretagne est de l'ordre de la région. Il possède une antenne dans chacun des quatre départements et son siège est à Rennes. Mon projet de fin d'étude se déroule à l'antenne des Côtes d'Armor, à Guingamp, Figure 2.

Figure 2 : Localisation du siège et des Antennes du CRPF de Bretagne



3.3. La forêt privée en Bretagne

La forêt bretonne est très diversifiée avec toutefois une prédominance des feuillus qui occupent environ 70 % de la surface, Figure 3. La part de la forêt privée est prépondérante puisqu'elle représente 90 % de la superficie boisée, soit environ 340 000 hectares partagés entre 114 570 propriétaires, Figure 4.

La forêt privée a plus que doublé en surface en un siècle et demi, elle s'accroît au rythme de 3000 ha par an.

Figure 3 : Surface couverte par essence de la forêt privée bretonne, source CRPF de Bretagne

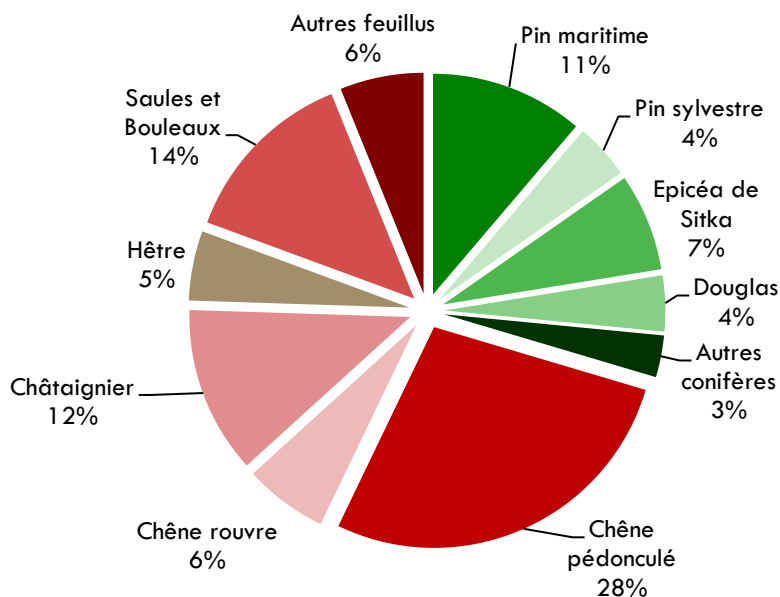
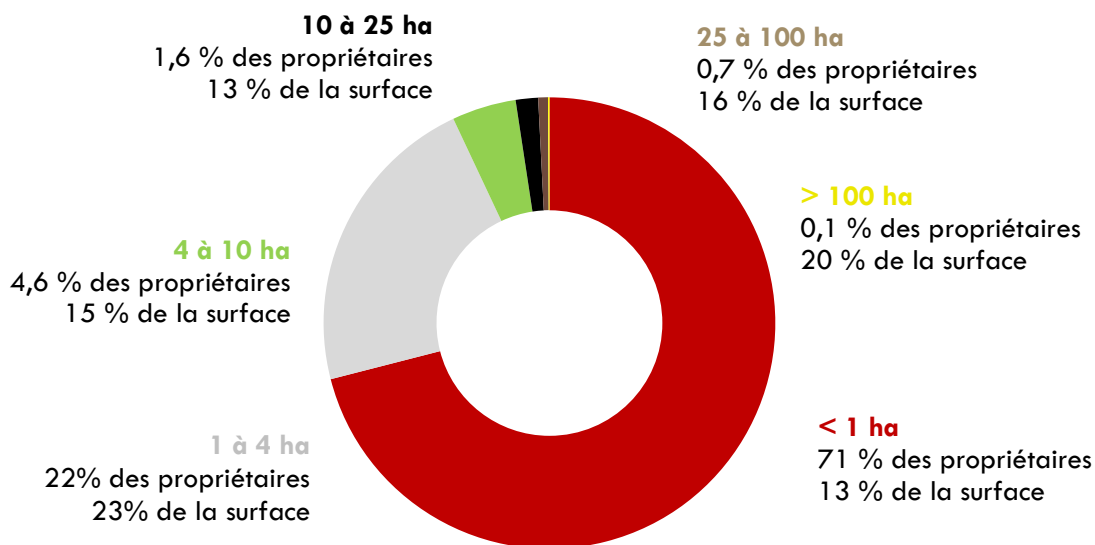


Figure 4 : La forêt privée bretonne par taille de propriétés, source CRPF Bretagne



C'est une forêt engagée dans la gestion durable car fin 2014, ce sont 845 forêts, représentant 81 020 hectares, qui sont dotées d'un Plan Simple de Gestion (PSG) agréé par le CNPF Bretagne (soit 92 % des propriétés supérieures à 25 hectares) et 1 609 propriétés boisées qui ont adhéré au CBPS (Code des Bonnes Pratiques Sylvicoles) pour une surface boisée cumulée de 10 868 hectares.

3.4. Le COB – Centre Ouest Bretagne

Mon étude s’est déroulée dans la région forestière du COB, représentée sur la Figure 5. Elle a une superficie de 640 000 ha et s’étend sur trois départements : Finistère, Côtes d’Armor et Morbihan.

Les boisements de résineux à croissance rapide (Epicéa de Sitka, Douglas, etc.) ont été implantés depuis les années 1960. Le secteur comporte également des vastes superficies de lande atlantique avec des enjeux biologiques et paysagers fort.

Figure 5 : Zone du Centre Ouest Bretagne (COB), source Guide COB



Relief et réseau Hydrographique

L’altitude du COB varie entre 5 mètres et 385 mètres (Monts d’Arrée). Les variations d’altitude rencontrées au sein du COB induisent des nuances climatiques susceptibles d’influer sur la croissance des arbres. Le réseau hydrographique est dense, en relation avec les précipitations élevées se déversant sur le secteur (*Guide COB*).

Climat

Le COB se caractérise par un climat océanique, frais et bien arrosé. Les précipitations sont importantes et réparties sur un nombre élevé de jours, l’hygrométrie de l’air est forte, l’ensoleillement faible et les saisons peu contrastées (écarts de températures entre été et hiver faibles : 5 ° C - 16,5 ° C).

La température moyenne annuelle est comprise entre 10 ° C et 11 ° C. Les chaleurs estivales sont limitées et de courte durée (température moyenne maximale du mois le plus chaud entre 20 et 22 ° C).

La pluviométrie annuelle moyenne oscille entre 1 200 et 1 500 mm sur les reliefs du Finistère tandis que les précipitations décroissent vers l’est pour atteindre 1 050 mm/an dans les collines du Mené et seulement 850-900 mm entre Loudéac et Merdrignac. Le nombre annuel moyen de jours avec précipitations est compris entre 175 et 220.

Le Centre Ouest Bretagne est directement soumis aux perturbations atlantiques. Les vents humides soufflent régulièrement avec force et constituent une contrainte pour de nombreuses essences dans les secteurs les plus exposés. Ils commettent des dégâts souvent sérieux aux arbres forestiers (*Guide COB*).

Substrats* Géologiques

Le Centre Ouest Bretagne repose sur des substrats variés. Il s'agit, pour l'essentiel, de roches très anciennes (Précambrien ou ère primaire). Elles présentent un caractère acide plus ou moins prononcé. Les roches du COB ont été classées en six familles (*Guide COB*) :

- **Les formations schisto-gréseuses du Briovérien** (schistes avec des couches de grès) : Les sols formés sont modérément acides et généralement profonds car la roche est fortement altérée. Ils sont riches en limon* et assez bien pourvus en argile, ce qui les rend parfois imperméables en profondeur. Dotés d'une bonne fertilité générale, ils font souvent l'objet d'une mise en valeur agricole intensive. Ce sont de bons sols forestiers quand ils ne sont pas humides.

- **Les granites et roches apparentées** (cristaux de quartz, de feldspath et de micas) : Les sols formés sur granite ont une épaisseur très variable. D'acidité moyenne à élevée, ils sont généralement légers et bien drainés car riches en sable.

- **Les schistes de l'ère primaire** : Ce sont des roches feuilletées de couleur dominante gris foncé, de dureté très variable selon leur teneur en argile et en silice. Ce sont des sols d'acidité variable, riche en limons et argiles.

- **Les grès - quartzites** : Ce sont des roches gris clair, formées de petits cristaux de quartz soudés par un ciment siliceux. Extrêmement durs et très pauvres en minéraux altérables, ils donnent des sols particulièrement acides et souvent très caillouteux, propices au développement de la lande. La formation géologique du Grès Armoricaïn est la plus développée et la plus représentative.

- **Les roches volcaniques** (principalement dolérite) : Elles sont globalement pauvres en silice et riches en calcium, magnésium et fer. Les sols qui en résultent sont peu acides, bien drainés, riches en éléments nutritifs, mais souvent caillouteux car il s'agit de roches dures, difficilement altérables.

- **Les formations superficielles** (alluvions* fluviales, colluvions et formations tourbeuses) : Ce sont les dépôts récents qui recouvrent des substrats géologiques plus anciens. Leur épaisseur est suffisante pour qu'on les considère comme des roches-mères à part entière.

Formations boisées

Les formations boisées du COB couvrent à peu près 130 000 hectares, Figure 6. Le taux de boisement atteint 20 % et la forêt privée représente 93 % des espaces boisés. Elle se caractérise par la coexistence de grands massifs et d'une multitude de bois et bosquets, appartenant à quelques 28 000 propriétaires.

On recense environ 250 forêts gérées conformément à un Plan Simple de Gestion pour une surface de 26 000 hectares.

Les forêts domaniales totalisent 5 600 hectares tandis que les forêts départementales et communales couvrent 3 100 hectares (*Guide COB*).

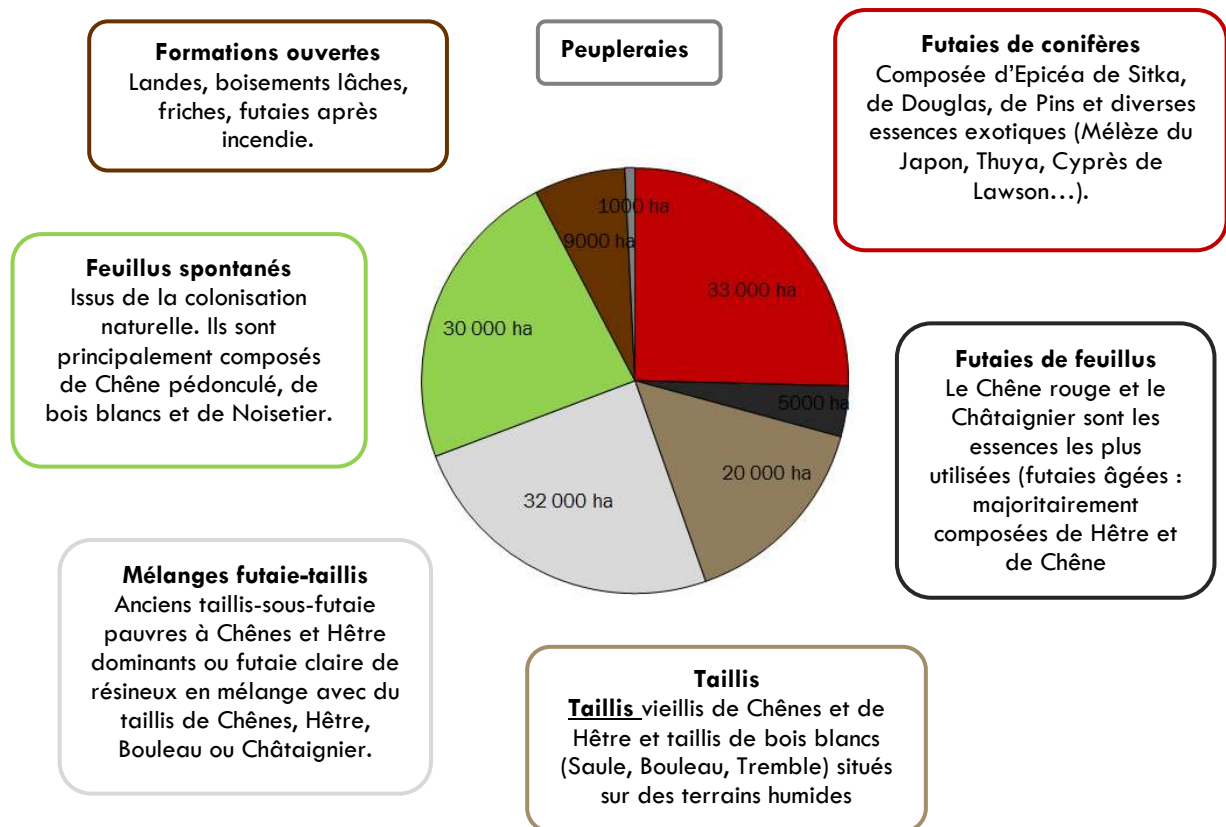


Figure 6 : Types de peuplements régionaux, source Guide des stations du COB, 2010

3.5. Le CETEF des Côtes d'Armor

Les Centres d'Etudes Techniques et d'Expérimentations Forestières ont pour missions de mettre en place des essais répondant aux préoccupations des propriétaires forestiers. Chaque CETEF a ses propres thématiques en fonction des spécificités forestières du département.

On recense soixante-cinq CETEF et groupes de développement forestier à l'échelle nationale. Ils coopèrent localement sur le déroulement des activités de vulgarisation et de développement mis en œuvre par le CRPF, les coopératives forestières et les Chambres d'Agriculture.

Depuis janvier 2016, les Centres d'Etudes Technique et d'Expérimentations Forestières des quatre départements bretons ont pour objectifs de mutualiser leurs actions, de les rendre plus visibles et d'établir un programme commun.

Ils participent à l'actualisation des données du Référentiel Forestier Régionale, financé par l'Etat et le Conseil Régional, qui compte près de 140 placettes expérimentales.

Le CETEF 22 s'oriente vers deux axes d'études principales : la sylviculture en peuplement mélangé et la restauration de la fertilité minérale des sols. Ainsi, c'est avec ce dernier axe que mon Projet de Fin d'Etudes a vu le jour.



Figure 7 : Reboisement analysé en forêt de Cassebreuil

PRESENTATION DE L'ETUDE

‘
*Le bon fonctionnement d'un plant est conditionné par
une nutrition minérale adéquate...*

1. Contexte de l'étude

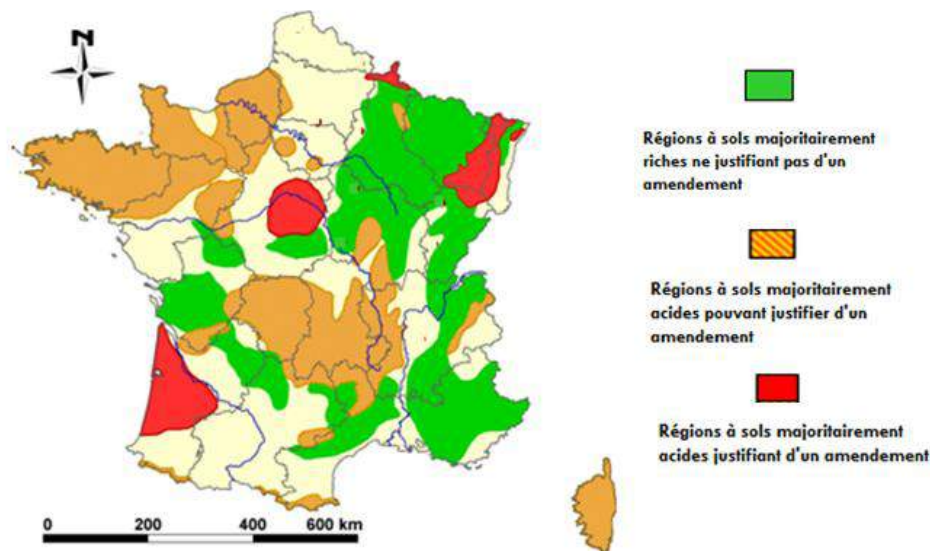
La santé des forêts est souvent regardée du point de vue des relations entre les arbres et leurs ennemis biologiques. Parmi les facteurs physiques, les conditions climatiques (notamment succession d'épisodes de sécheresse) et les apports atmosphériques ont aussi été mis en cause dans le dépérissement des forêts.

En revanche, les facteurs nutritionnels sont souvent oubliés et moins bien connus ; les symptômes extérieurs étant la plupart du temps peu visibles. Or, l'état nutritionnel résulte de l'interaction de nombreux facteurs liés au sol, à la plante et à l'alimentation hydrique, etc.

Les plantations massives mises en place en Bretagne, grâce aux aides du Fonds Forestiers National, ont créé les conditions d'une gestion forestière intensive fortement exportatrice en éléments minéraux.

Ces exportations* intensives ont conduit à une acidification et un appauvrissement des sols. De plus, la sensibilité naturelle à l'acidification de la majorité des sols forestiers bretons, notamment ceux situés sur roche granitique ou grès armoricain, mérite que l'on suive attentivement l'évolution du phénomène, Figure 8.

Figure 8 : Carte des grandes régions potentiellement amendables



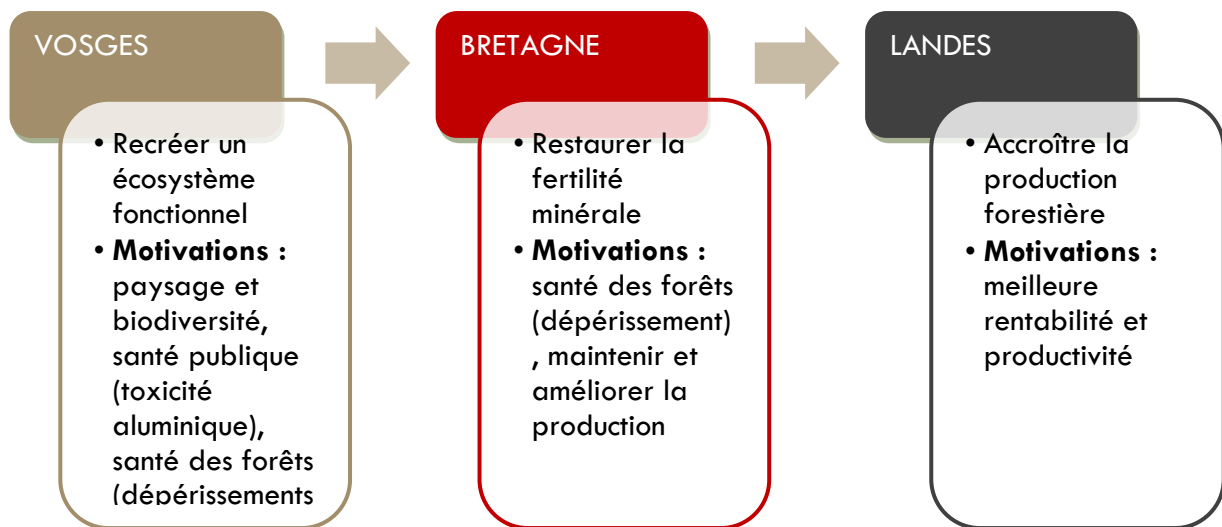
Source : A. Brêthes, C. Nys, René Collet

Depuis quelque temps, les forestiers ont fortement pris conscience que des insuffisances d'alimentation minérale ou une acidité excessive du sol conduisaient à une altération de la santé des peuplements et les rendaient plus sensibles à des agressions externes, extrêmes climatiques ou pollution, c'est ce qu'on a appelé « dépérissement » (Bonneau, *Fertilisation des forêts dans les pays tempérés*, 1995).

Dans le Centre Ouest Bretagne, les déficits foliaires, le jaunissement des aiguilles et la faible croissance de multiples reboisements d’Épicéa de Sitka et de Douglas, installés depuis 2010 après coupe rase* de futaies* résineuses sur des stations forestières ne devant pas poser problème, interpellent les sylviculteurs sur le devenir de leur forêt.

Ainsi, il peut être opportun de compenser ces exportations en apportant au sol certains éléments minéraux qui y sont présents en quantité insuffisante, afin d’améliorer les propriétés physico-chimiques du sol et d’accroître sa productivité. Ces apports peuvent être réalisés par le biais de l’amendement et de la fertilisation.

Les motivations qui président à l’emploi d’engrais ou d’amendement en forêt varient au cours du temps et suivant les régions :



L’étude établie en Bretagne se situe entre le cas du massif vosgien et le massif landais. Avec l’amendement, il s’agit de restaurer le fonctionnement nutritionnel des sols et d’améliorer l’écosystème dans sa globalité par un apport équilibré d’un ensemble d’éléments minéraux. Cela pour maintenir une production dynamique de bois sur des sols naturellement très pauvres.

2. Problématique

L'ensemble des signaux observés par les sylviculteurs et l'inquiétude pour les productions futures ont amené le CNPF Bretagne et le CETEF 22 à étudier la restauration des sols forestiers afin de limiter leur acidification, de redynamiser leur fonctionnement biogéochimique pour, in fine, améliorer l'état sanitaire et la croissance des peuplements.

Ainsi, notre étude se place dans une problématique plus globale :

COMMENT RESTAURER DE MANIÈRE REFLECHIE LA FERTILITE DES SOLS FORESTIERS BRETONS NATURELLEMENT PAUVRES OU APPAUVRIS PAR UNE SYLVICULTURE INTENSIVE ?


- ***Dans le but d'améliorer l'état sanitaire des arbres et d'augmenter leur croissance pour la production de bois d'œuvre ?***

Plusieurs itinéraires techniques permettant d'améliorer la fertilité des sols peuvent être proposés, notamment par des apports de minéraux en forêt.

Cette problématique est l'un des éléments-clés de la gestion forestière durable, soucieuse du maintien de la fertilité des sols au fil du temps.

3. Objectifs

Mon projet de fin d'études s'est décliné en plusieurs objectifs. Ces différents objectifs ont fait appel aux compétences, communes et spécifiques au cycle d'approfondissement, acquises durant ma formation suivant les axes : Economique, Scientifique et Technique, Organisationnel.

 **Identifier les reboisements afin d'y installer des essais de fertilisation et amendement**
Pour cadrer le sujet, trois massifs de production ont été fixés dans le Centre Ouest Bretagne : La forêt de Malaunay, le Bois de Conveau et la Forêt de Cassebreuil.

Les reboisements concernés sont ceux qui végètent et dont on a émis l'hypothèse de départ que c'était un problème de nutrition minérale. L'identification des reboisements s'est faite, d'une part, grâce à la base de données de M. Le Mercier, Expert forestier et Co-président du CETEF et d'autre part, grâce aux diagnostics des parcelles réalisés sur le terrain et aux prélèvements de sols.

 **Trouver un ou plusieurs produits minéraux, naturels ou de synthèse, capables d'améliorer la fertilité des sols à long terme**

Pour réaliser un amendement raisonné et rigoureux, il est nécessaire de se renseigner sur tous les produits disponibles et utilisés en France mais aussi à l'étranger (Allemagne, Ecosse etc.). Ainsi, nous avons répertorié et contacté différents fournisseurs et distributeurs d'engrais susceptibles de répondre à notre demande.

 **Elaborer des dispositifs d'amendement sur des reboisements après coupe rase**

Avant de réaliser les essais, nous devons réfléchir à différentes modalités comme le nombre de traitement, de placeaux, la date de l'installation, la technique d'épandage etc. Cela permet d'établir les opérations qui devront être effectuées, les principes fondamentaux à respecter pour réaliser l'expérience, etc. Ces dispositifs s'appuient sur l'expérience et les compétences des professionnels, prennent en compte les pratiques existantes, ainsi que les contraintes de nos parcelles et nos résultats d'analyse de sol.

 **Etablir des indicateurs pour les propriétaires afin d'estimer les stations à risques**

Cet outil sera une aide à la décision auprès des gestionnaires et propriétaires forestiers. Il a pour but de faciliter leur travail en leur permettant de répondre à certaines interrogations qu'ils peuvent se poser lors d'un reboisement : *Devrais-je apporter un amendement ?* Ces indicateurs seront construits grâce au travail bibliographique réalisé au cours du stage, aux diagnostics des stations réalisés sur le terrain et aux analyses de sol.

 **Etablir une approche économique**

L'amendement engendre des coûts plus ou moins importants suivant les travaux de recherche en amont, la méthode et les produits utilisés. Il est donc nécessaire d'intégrer une approche économique afin d'informer les propriétaires sur les coûts à envisager et les gains possibles. Ces coûts tiennent compte des analyses de sols, des produits, de l'épandage, etc.

 **Mettre en place les parcelles expérimentales**

Les objectifs du stage stipulaient que nous mettrions en place des essais sous réserve du temps disponible. Comme nous nous en doutions, nous n'avons pas pu réaliser l'installation par manque de temps. Toutefois, l'ensemble des travaux réalisés lors de cette étude vont permettre de mettre en place les essais d'amendement et fertilisation très prochainement.

4. Méthodologie et planning

Mon projet de fin d'études s'est dessiné en cinq étapes principales. Ces étapes sont décrites ci-dessous. La dénomination de chacune des étapes fait référence à ce qui doit être obtenu à l'issue de celle-ci.

1

Acquisition des bases forestières et bilan des essais de fertilisation en Bretagne

- Travaux avant reboisement, reboisement, entretien
- Types de stations forestières (relevé pédologique et floristique)
- Amendement, fertilisation, bilan d'anciens essais

2

Choix des parcelles expérimentales à l'aide du Guide des stations du COB

- Réaliser une fiche terrain
- Diagnostiquer les types de stations (végétation, sol, état sanitaire, etc.)
- Classer et sélectionner les parcelles intéressantes suivant le type de station, l'historique de reboisement et l'environnement actuel
- Faire les prélèvements de sols pour évaluer sa fertilité et ses carences

3

Etude des amendements (engrais) disponibles et des fournisseurs

- Répertorier et contacter les assembleurs
- Se renseigner sur les produits existants, le dosage, l'épandage, le prix etc.

4

Elaboration des protocoles d'essais d'amendement pour l'installation de reboisement après coupe rase

- Contacter Claude Nys et Arnaud Legout (scientifique à l'INRA)
- Créer une grille d'aide à la décision pour les propriétaires et les gestionnaires

5

Mise en place des essais

- Matérialisation des placeaux
- Planning des suivis et entretiens
- Mesures dendrométriques
- Fiches synthèses

Différents outils seront utilisés simultanément ou séparément durant toute la durée du projet. Ils sont identifiés avec plus de précision au Point 5 p.24.

Un planning avec les grandes étapes du projet vous est présenté en Annexe 1.

5. Moyens

Mon projet a fait appel à plusieurs outils mis à ma disposition par le CNPF Bretagne ou par des organismes extérieurs. Il a fait aussi appel à des compétences internes et externes, mobilisées tout au long du stage.



Articles scientifiques : La lecture d'article et autres documents a occupé une partie importante de mon projet. Cela m'a permis d'alimenter ma bibliographie et d'enrichir mes connaissances sur la forêt bretonne, l'amendement, les pratiques sylvicoles etc.



Techniciens, Ingénieurs et équipements de terrain du CNPF Bretagne : Durant tout mon stage j'ai bénéficié de l'appui humain et matériel du CNPF (diagnostics et mesures sur le terrain, analyses, suivi etc.).



Guide COB : C'est un ouvrage du CNPF Bretagne destiné à aider le sylviculteur à identifier les types de stations composant ses forêts et à disposer de conseils de gestion adaptés en termes de choix d'essences et d'orientations sylvicoles. C'est en partie grâce à ce guide et sa clef de détermination que j'ai identifié et sélectionné les parcelles de l'étude.



MapInfo : Ce Logiciel de SIG m'a permis de cartographier et d'analyser les nombreuses données récoltées sur le terrain.



Site du BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières) : Ce site m'a permis de visualiser des données géoscientifiques afin de connaître les différents types de substrat sur lesquelles les parcelles se trouvaient.



INRA : Equipe Biogéochimie des Ecosystèmes Forestiers (BEF) avec Claude Nys ainsi que le Laboratoire d'Analyses des Sols d'Arras : Ces personnes m'ont été d'une aide précieuse pour me renseigner sur les modalités des prélèvements du sol, l'analyse des échantillons, l'interprétation des résultats et le suivi du stage.



REGESOL : C'est un logiciel élaboré par l'INRA qui permet d'évaluer les stocks des nutriments (Potassium, Calcium, Magnésium et Phosphore) dans les sols et les prélèvements pour élaborer la biomasse du peuplement. Par comparaison à des normes de nutrition établies par la recherche, il calcule les besoins afin d'assurer le bon fonctionnement du cycle des nutriments dans l'écosystème forestier.



Fournisseurs et Assembleurs de produits fertilisants : J'ai contacté différents distributeurs d'engrais et amendements afin de me renseigner sur les produits disponibles sur le marché et de trouver les produits répondant au mieux à nos attentes.



Sylva Expertise et les propriétaires forestiers : Les propriétaires forestiers, par leur motivation et leur soutien financier, nous ont permis d'effectuer les analyses de leurs parcelles et d'installer des expérimentations sur leurs parcelles. Le cabinet Sylva Expertise, gérant ces massifs, m'a permis d'obtenir les renseignements nécessaires à la construction de mon étude.



Figure 9 : Sondage de sol forestier en forêt de Malaunay

DEVELOPPEMENT DE L'ETUDE

‘
*Nourrir le sol pour nourrir l'arbre :
De la théorie à la pratique*

1. Les massifs étudiés

1.1. Le plan de situation

Lors de cette étude, nous avons travaillé sur trois massifs distincts du Centre Ouest Bretagne appartenant à des Groupements Forestiers (GF), Figure 10 :

- **La Forêt de Malaunay**
GF de Malaunay
Gérant : M. Gabriel Bonnin et M. Rémi Déramé
Surface : 666,2006 ha
- **La Forêt de Cassebreuil**
GF Croissance Verte
Gérant : M. Bertrand Lessard
Surface : 277,0663 ha
- **Le Bois de Conveau**
GF de Conveau
Gérant : Mme Christine Debue-Barazer
Surface : 699,4893 ha

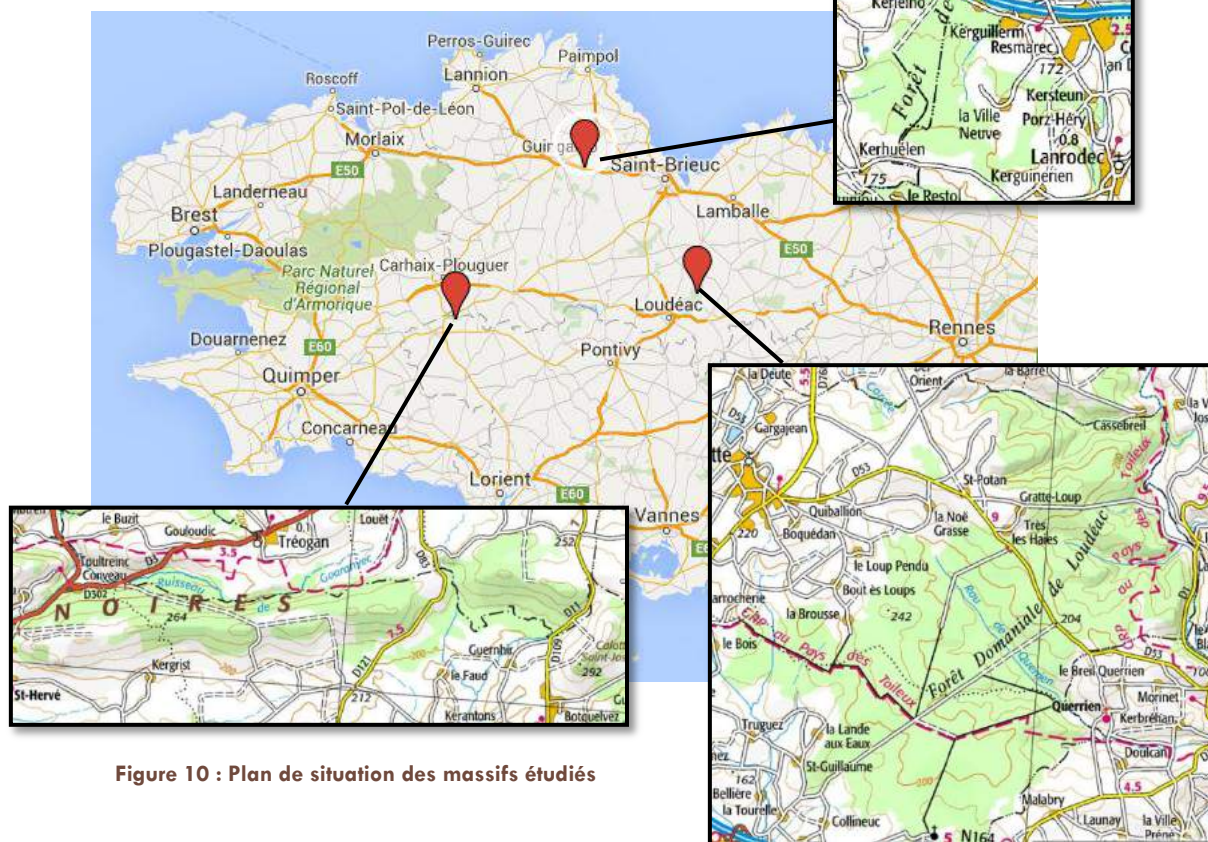


Figure 10 : Plan de situation des massifs étudiés

1.2. La gestion de ces massifs

Nous sommes en présence de massifs de production où les résineux à croissance rapide tels que l’Epicéa de Sitka et le Douglas ont été introduits à grande échelle.

Ces forêts sont suivies et gérées par M. Laurent Le Mercier (Co-président du CETEF 22 et Expert forestier chez Sylva Expertise). De manière générale, Laurent Le Mercier pratique les mêmes types de travaux de reboisement sur les parcelles d’Epicéa de Sitka et Douglas pour chacun des massifs :

- Préparation du sol : dessouchage / sous solage*
- Traitement des rémanents* d’exploitation : andainage* tous les 18 m environ
- Plantation : environ 5 lignes entre 2 andains
- Dégagements : 3 entretiens au gyrobroyeur entre les lignes de plantation et dégagements manuels sur la ligne de plantation

1.3. Zoom sur l’Epicéa de Sitka

La majorité des reboisements sur lesquels j’ai travaillé sont composés d’Epicéa de Sitka avec quelques fois un mélange d’Epicéa de Sitka et de Douglas.

Originaire de la côte ouest de l’Amérique du Nord, les sylviculteurs bretons s’appuient sur l’Epicéa de Sitka, essence à croissance rapide, pour mettre en valeur les terrains ingrats du Centre Ouest Bretagne. Avec une couverture de 15 680 ha, c’est la seconde essence résineuse (*Inventaire IGN, mars 2016*) de Bretagne. L’inventaire de mars 2016 de l’IGN a estimé, sur l’ensemble de la Bretagne, à environ 3 901 000 m³ le volume d’Epicéa de Sitka, ce qui le place en 3^{ème} position des essences résineuses après le Pin Maritime et le Douglas.

Ainsi, la filière économique bretonne s’est constituée autour de cette essence qui répond bien aux besoins des industriels. Leur approvisionnement provient à la fois des éclaircies et des coupes rases des peuplements (*Fiche technique : L’épicéa de Sitka, CRPF de Bretagne*).

La vente groupée de printemps 2016 des experts forestiers de Bretagne a montré que la proportion d’Epicéa de Sitka reste très significative, par rapport à l’automne 2015, pour près de 2/3 des volumes mis en marché. La dernière mise à jour sur les cours des bois sur pied est détaillée dans le Tableau 1 ci-dessous.

Tableau 1: Prix de l’Epicéa de Sitka à la vente de printemps 2016, Sylva Expertise

Essence	Volume moyen (m ³)	Automne 2015		Printemps 2016		Variation en % par rapport à l’automne 2015
		Prix moyen (€)	Prix maxi (€)	Prix moyen (€)	Prix maxi (€)	
Sitka	de 0,4 à 0,8 m ³	37,44	40,59	37,6	40,63	0,43
	de 0,8 à 1 m ³	38,91	40,3	37,97	42,57	-2,42
	plus de 1 m ³	40,79	46,52	39,87	44,09	-2,26





Exigences écologiques

Il apprécie les terrains acides et se développe mal sur les terrains à faible réserve hydrique.

C'est une essence océanique aux besoins en eau importants (moyenne de précipitations dépassant 850 mm/an sans déficit estival et humidité élevée).



Sylviculture

Sa densité de plantation est généralement comprise entre 1100 et 1666 plants par hectare (andains exclus) à l'espacement de 3 m x 2 m à 3 m x 3 m.

La protection des plants contre les cervidés n'est pas nécessaire sauf là où la pression du chevreuil est très forte.

Trois éclaircies sont souhaitables pour finir à une densité de 300-370 tiges/ha. Elles visent à produire des bois à croissance régulière de 40 à 50 cm de diamètre, récoltés par coupe rase vers 40 ans. Le volume de bois d'œuvre récoltable se situe dans la fourchette de 350 à 550 m³/ha.

Le reboisement artificiel avec mise en andain et dessouchage type « dent Becker » est l'itinéraire le plus courant.



Ennemis et adversités

Les deux champignons, le Fomès et la Phéole, provoquent chez l'Epicéa de Sitka des pourritures de cœur dévalorisantes. Le

Puceron vert, quant à lui, cause des défeuillaisons spectaculaires. Dans les reboisements après coupe rase de résineux, l'Hylobe provoque des mortalités importantes en consommant l'écorce des jeunes plants.

Le Dendroctone est un insecte qui cause de la mortalité dans les futaies adultes.



Qualité et usage

L'Epicéa de Sitka offre du bois blanc et homogène, sans cœur distinct. Il est relativement tendre et a un aspect pelucheux. Il a une résistance mécanique satisfaisante grâce à la régularité des cernes de croissance.

L'Epicéa de Sitka s'emploie principalement dans la filière du panneau et papier, du bois énergie, de la palette, coffrage, caisserie et charpente.

2. Le sol, source d'apport nutritif des plants

Le sol est le substrat nourricier des végétaux. Ils doivent y satisfaire leurs besoins nutritifs en éléments minéraux et en eau. De plus, il intervient dans la fourniture d'oxygène aux racines et assure l'ancrage et l'enracinement des arbres. C'est la faculté du sol à remplir ces fonctions qui détermine sa fertilité.

Qu'elle soit biologique, chimique ou physique, la bonne fertilité d'un sol passe par l'obtention d'un pH proche de la neutralité (aux environs de 6), d'une structure aérée et d'un bon équilibre entre les minéraux. Or, les sols bretons présentent, la plupart du temps, une acidité générale élevée (pH entre 4 et 5,5) et une fertilité minérale réduite (pauvres en bases et souvent carencés en acide phosphorique ainsi qu'en certains oligo-éléments).

Ainsi, il me paraissait important, avant toute chose, de bien comprendre le fonctionnement d'un sol et sa structure, d'autant plus que nous en aurons besoins pour comprendre la suite de l'étude.

2.1. Sa structure physique

De nombreuses variations de sols existent : sols bruns, sols nettement podzolisés, sols superficiels, sols engorgés ou encore sols alluviaux. Ces variations proviennent en général des facteurs présentés ci-dessous.



Composition du matériau parental

Le sol se forme à partir d'un matériau parental, le plus souvent une roche (roche-mère). Sous l'effet de différents facteurs physiques, chimiques et biologiques, la roche s'altère, se désagrège et forme la fraction minérale du sol avec une granulométrie variée. Le sol se développe également à partir de matériaux apportés par le vent (limons éoliens), l'eau (alluvions) ou la gravité (colluvions).

Deux grands ensembles de matériaux sont à distinguer :

- Les matériaux pauvres en éléments nutritifs et en minéraux altérables (grès, certains granites et gneiss, schistes et limons, alluvions anciennes, formations à silex, ...). Sur ces matériaux, les sols sont souvent de type sol brun acide et sol cryptopodzolique, sol lessivé acide, sol podzolisé à humus de forme moder, dysmoder ou mor.

- Les matériaux riches (marnes, calcaires, roches volcaniques récentes, granites calco-alcalins, ...)

En Bretagne, les différentes roches sont à base de silice donnant des sols d'acidité élevée. La plupart du temps, un placage de limons éoliens recouvre ces roches. Les roches calcaires sont quasi-absentes dans la région. Les principaux types de roches présents sont décrits à la page 16.

Le profil du sol et humus

Le sol est constitué d'une succession verticale de couches aux caractères bien différenciés, appelées horizons, Figure 11.

L'ensemble des horizons constitue le profil du sol. Il est composé de couches superficielles riches en matières organiques appelées humus surmontant des horizons minéraux.

En forêt, la forme de l'humus, Figure 12, peut-être un bon indicateur sur l'acidité du sol et donc les conditions de décomposition de la matière organique (activité biologique).

Plus la litière forestière est mince, plus l'activité biologique est forte et plus la disponibilité du sol en éléments nutritifs est élevée.

Un sol ayant une acidité prononcée (pH inférieur à 5) possède une microfaune et une microflore pauvres, la minéralisation* est donc difficile et l'humus est épais et noir (moder, dysmoder, mor).

Si le facteur limitant l'activité biologique est l'acidité, il existe des possibilités de toxicité aluminique et des blocages du phosphore.

Figure 11 : Profil d'un sol, Sols-eaux

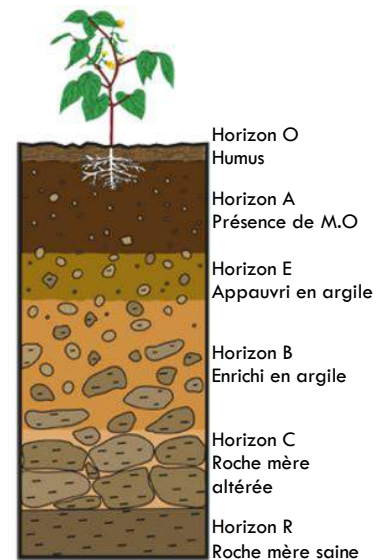
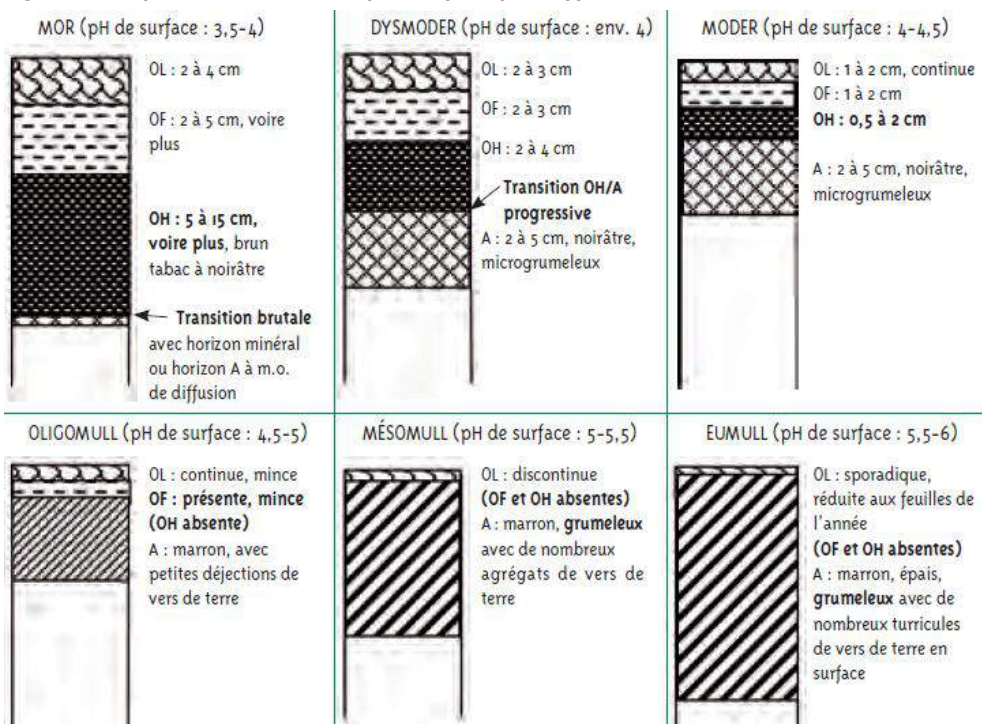


Figure 12 : Représentation schématique des principaux types d'humus, source Guide des stations du COB, CRPF Bretagne



L'estimation de la profondeur prospectable

Ce paramètre correspond à l'épaisseur de sol meuble* disponible pour le système racinaire des arbres. Il permet ainsi d'avoir une bonne idée de la réserve en eau du sol, qui est l'un des critères essentiels de fertilité d'une station. Plus le sol est profond, plus il est capable de mettre en réserve une quantité d'eau élevée qui sera redistribuée aux arbres en

période sèche. L'estimation de la profondeur prospectable se fait avec la longueur de la tarière pédologique (1,20 m) et doit être réalisée à plusieurs endroits (cailloux isolés).

Granulométrie et texture

La texture est la proportion de sable, limon et argile d'un horizon donné. Ce facteur s'apprécie au toucher. Suivant la texture, la réserve utile en eau est différente.

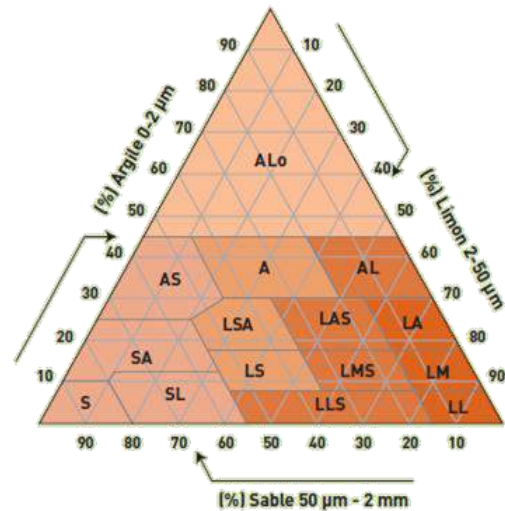
Les sols riches en sable sont filtrants, bien aérés, faciles à travailler mais présentent une faible aptitude à retenir l'eau et les éléments nutritifs.

Les sols limoneux à faible teneur en argile sont déstructurés, très sensibles au tassement en période humide.

Les sols argileux sont lourds, peu perméables, difficilement pénétrables par les racines mais présentent une bonne capacité de rétention en eau et en éléments nutritifs.

Une texture équilibrée (20-30 % d'argile, 40-50 % de limon, 30-40 % de sable) cumule la plupart des qualités des trois textures précédentes sans en avoir les défauts, Figure 13.

Figure 13 : Triangle des textures, source Guide des stations du COB, CRPF de Bretagne



Le drainage

Lorsque le drainage est déficient (sol peu perméable), l'eau a du mal à s'écouler et s'accumule sous forme de nappe d'eau stagnante (engorgement). La présence de ce phénomène, à faible profondeur, est une contrainte forte pour les arbres. Les échanges gazeux sont limités, les racines sont privées d'oxygène et sont asphyxiées. La contrainte est considérée comme :

- très forte, si l'engorgement débute entre 0 et 20 cm
- moyenne, si l'engorgement débute entre 40 et 60 cm
- faible à nulle, si l'engorgement débute au-delà de 80 cm

Un horizon soumis à un excès d'eau temporaire ou permanent, appelé horizon hydromorphe, présente une morphologie particulière :

- L'engorgement temporaire : aspect bariolé ou ponctué de taches ocre-rouille et grises. Dans les milieux acides à très acides, des plages décolorées beige pâle voire une teinte uniforme blanchâtre se forment.
- L'engorgement permanent : teinte dominante gris-verdâtre à gris-bleuté liée à la présence du fer à l'état réduit.
- Horizon bien drainé : couleur uniforme, sans taches d'oxydo-réduction, marron à jaune-ocre plus ou moins vif en fonction de sa teneur en fer et en matière organique. Cette coloration dominante est liée à la présence de fer à l'état oxydé.

2.2. Son fonctionnement chimique

La fonction essentielle du sol, outre son rôle de support, consiste à fournir à la plante les éléments nutritifs qui lui sont nécessaires. Ces éléments nutritifs peuvent provenir de la réserve minéralogique, du stock ionique fixé par le complexe adsorbant, de forme organique ou de la solution du sol* (*La chimie du sol, Chapitre V, 2013*).

Les principaux éléments qu'on y trouve

On peut distinguer les nutriments de base, absorbés en grande quantité par les plantes : azote, phosphore, soufre, calcium, magnésium, potassium et les oligo-éléments. Et ceux absorbés à faible dose : fer, manganèse, cuivre, etc.

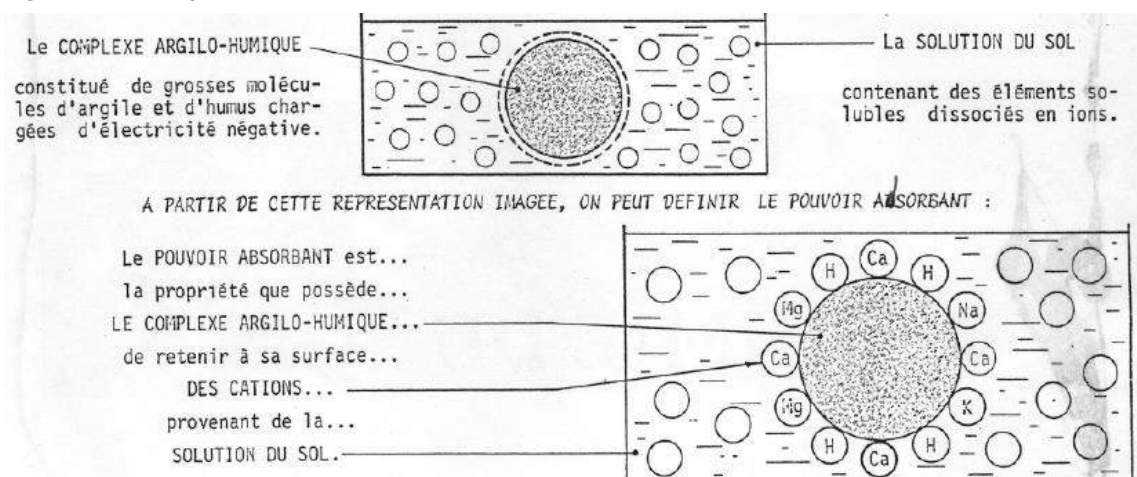
Il ne faut pas oublier de citer, en opposition avec les éléments indispensables à la vie de la plante, les éléments ayant une action négative, voire toxique : aluminium, plomb, mercure, etc.

Le « garde manger », c'est le complexe adsorbant

Le sol possède la propriété de retenir diverses substances. En effet, les cations et les anions peuvent être retenus, sous forme échangeable, par le complexe adsorbant du sol. En d'autres termes, si on traite un sol par une solution contenant des ions différents de ceux retenus par le sol, il y aura un échange entre les ions du complexe adsorbant et ceux de la solution.

Les ions échangeables du complexe adsorbant sont en équilibre avec la solution du sol : toute modification de la composition de la solution du sol provoque un changement de cet équilibre par échange (*La chimie du sol, chapitre V, 2013*). La Figure 14 ci-dessous permet d'illustrer le pouvoir adsorbant :

Figure 14 : Le complexe adsorbant du sol, tiré de Soltner, 1992



Les cations habituellement fixés sur le complexe sont les ions H^+ et les cations Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ . L'intensité avec laquelle ces ions sont retenus est en général la suivante : $Li < Na < Mg < Ca < Ba < Al < H$. Un cation est donc déplaçable par tous ceux qui sont situés à sa droite (*La chimie du sol, chapitre V, 2013*).

Le mécanisme de l'échange des cations

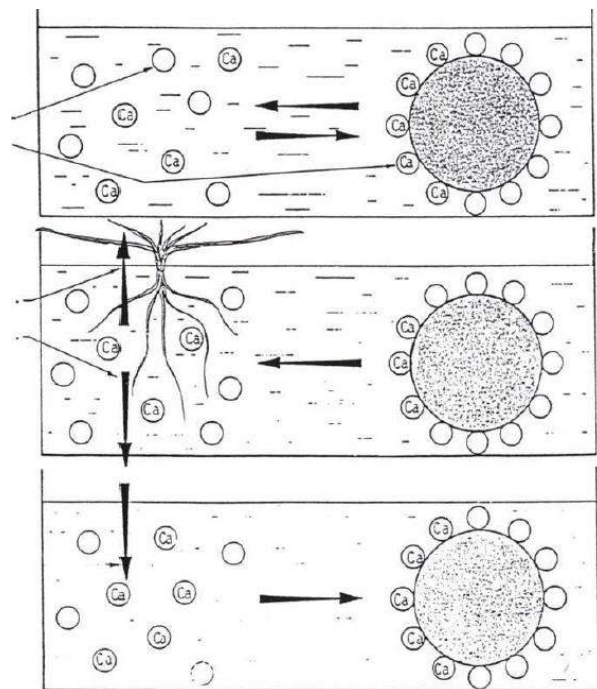
Dans un sol, il y a toujours équilibre entre les cations libres dans la solution et ceux qui sont fixés sur le complexe, Figure 15 (Chapitre V : chimie du sol, 2013).

Cet équilibre peut être déplacé dans deux sens :

Toute absorption d'ions par les racines ou tout entrainement d'ions par lessivage obligent le complexe à restaurer des ions à la solution du sol.

Au contraire, tout apport d'ions à la solution du sol par les engrais et amendements permet au complexe de s'enrichir en ions provenant de la solution.

Figure 15 : Processus d'échange des cations



Les valeurs caractéristiques du complexe adsorbant

- **CEC : Capacité d'échange (ou T) :** c'est la quantité maximale de cations qu'un sol peut absorber. Autrement dit, cela représente le total des charges négatives du sol disponibles pour la fixation des ions H^+ et Al^{+++} et des cations (bases échangeables) : Ca^{++} , Na^+ , K^+ , Mg^{++} . La CEC dépend de la nature du sol (notamment du taux d'argile et de matière organique) et de son pH.
- **Somme des bases échangeable (S) :** Il s'agit de la somme des quantités de cations basiques échangeables, fixés sur le complexe à un moment donné.

La différence $T-S$ représente donc la quantité d'ions H^+ et Al^{+++} fixés (sol désaturé).

$$T = S + Al^{+++} + H^+$$

- **Taux de saturation (V% ou S/T) :** Ce taux est variable d'un sol à l'autre, et, pour un même sol d'une année à l'autre. Tout ce qui peut apporter ou enlever des bases échangeables au complexe le fait varier (richesse chimique de la roche mère, fréquence et importance des apports de cations (amendement calcaire), importance du lessivage, climat, perméabilité du sol). C'est un précieux indicateur pédologique et agronomique quant à la richesse chimique du sol.

Ainsi, le complexe adsorbant met en réserve les éléments nutritifs qui, sans lui, seraient perdus par lessivage, en les échangeant principalement contre des ions Ca^{++} , libère des éléments pour les racines, en les échangeant notamment contre les ion H^+ formés continuellement par l'activité biologique, régularise la composition de la solution du sol, milieu de vie des racines et des microbes.

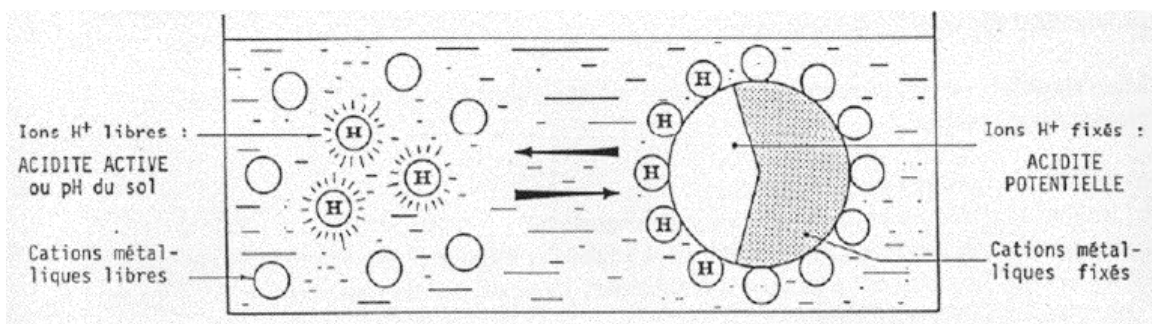
2.3. L'acidité des sols

Les sols sur schiste, grès ou granite ainsi que les sols développés sur limons éoliens décarbonatés, présents en Bretagne, sont naturellement acides (*Amender les sols pour mieux nourrir les plantes – Ferti-pratiques, Fiche n°6, UNIFA*).

Le pH d'un sol exprime son acidité et est défini par la concentration en ions H^+ (un pH acide inférieur à 7, 0 correspond à une concentration élevée en H^+). D'une manière générale, on peut affirmer que la grande majorité des ions H^+ du sol proviennent des activités biologiques (*Chapitre V : Chimie du sol, 2013*). Les ions H^+ se répartissent en deux catégories, Figure 16 :

- H^+ libres présents dans la solution du sol qui représentent l'acidité actuelle
- H^+ fixés sur le complexe adsorbant à l'état échangeable qui représentent l'acidité potentielle

Figure 16 : Les différents types d'acidité



Les ions H^+ fixés sont en équilibre avec les ions H^+ libres dans la solution. Le pH d'un sol est la mesure de la quantité d'ions H^+ libres dans sa solution. Du fait de cet équilibre, on peut dire que le pH renseigne approximativement sur l'acidité potentielle du sol (*Chapitre V : Chimie du sol, 2013*).

L'excès d'acidité se manifeste par des signes de dégradations de la structure des sols et la décomposition plus lente des résidus de récoltes. La modification de la composition floristique, l'apparition de symptômes de toxicité aluminique et certaines attaques parasitaires sont d'autres signes graves d'acidification (*Chapitre V : Chimie du sol, 2013*).

L'acidification : processus naturel

L'acidification des sols forestiers est un processus naturel qui entraîne une baisse de richesse minérale (*Amender les sols pour mieux nourrir les plantes – Ferti-pratiques, Fiche n°6, UNIFA*). Cette acidification s'accélère en sol filtrant et sous climat pluvieux (minéralisation des matières organiques, perte de cations par lessivage ou avec les récoltes, lessivage du nitrate).

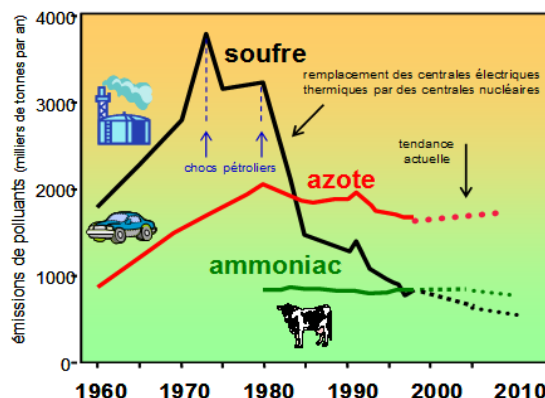
Les sols naturellement acides, comme en Bretagne, sont les plus sensibles à ces formes d'acidification, souvent d'origine humaine, Figure 17 :

- Les dépôts atmosphériques acides résultant de la combustion d'énergies fossiles (pétrole, charbon) et du trafic automobile

- L'ammoniac émis dans l'air lors de l'épandage de lisier et d'engrais, qui se transforme en acide nitrique dans les sols

- L'exportation des minéraux par une sylviculture intensive

Figure 17 : Sources d'acidification, source Claude Nys et Arnaud Legout, 2012

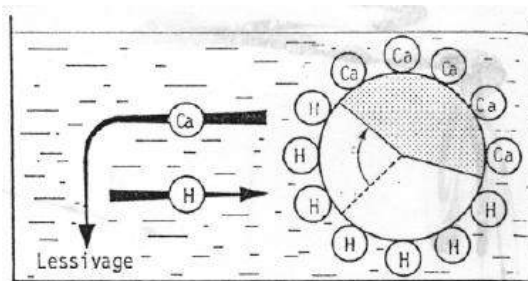


Tout sol perd lentement son calcium, et la décalcification de sa solution et de son complexe adsorbant est d'autant plus forte que la sylviculture est intensive.

Le calcium perdu est le plus souvent remplacé sur le complexe par des ions H^+ . C'est ce qu'on appelle l'acidification, Figure 18.

Ainsi, l'acidité potentielle augmente, l'acidité de la solution augmente parallèlement et le pH et le taux de saturation diminuent (Chapitre V : Chimie du sol, 2013).

Figure 18 : Principe de l'acidification, source Chapitre V : chimie du sol, 2013

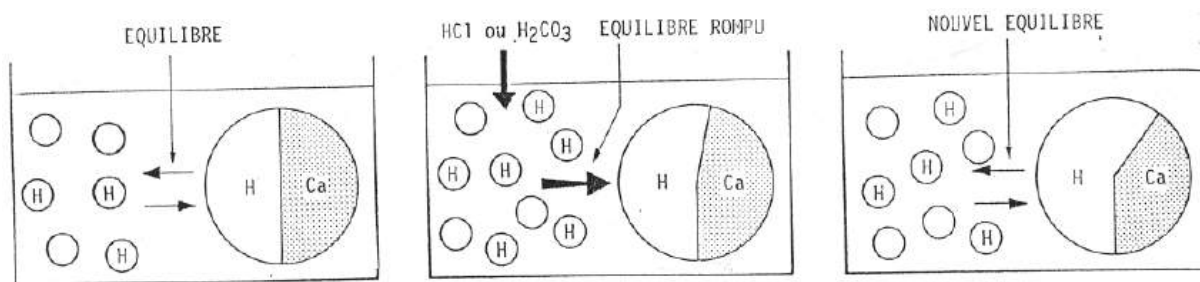


Le pouvoir tampon : aptitude des sols à s'opposer aux variations de pH

La résistance d'un sol à l'acidification dépend de sa capacité à neutraliser les acides ou à compenser les exportations. Cette capacité est directement liée à la composition du matériau parental et à la nature du sol (A. Brêthes, C. Nys et R. Collet, 2009).

Dans un sol, un équilibre s'est établi entre les ions H^+ libres et les ions H^+ fixés, Figure 19. Si l'on introduit des ions H^+ dans la solution, l'acidité active commence par s'élever rapidement, le pH de la solution s'abaisse. Mais des ions H^+ en solutions viennent se fixer sur le complexe : l'acidité de réserve augmente et le pH de la solution remonte (Chapitre V : Chimie du sol, 2013) :

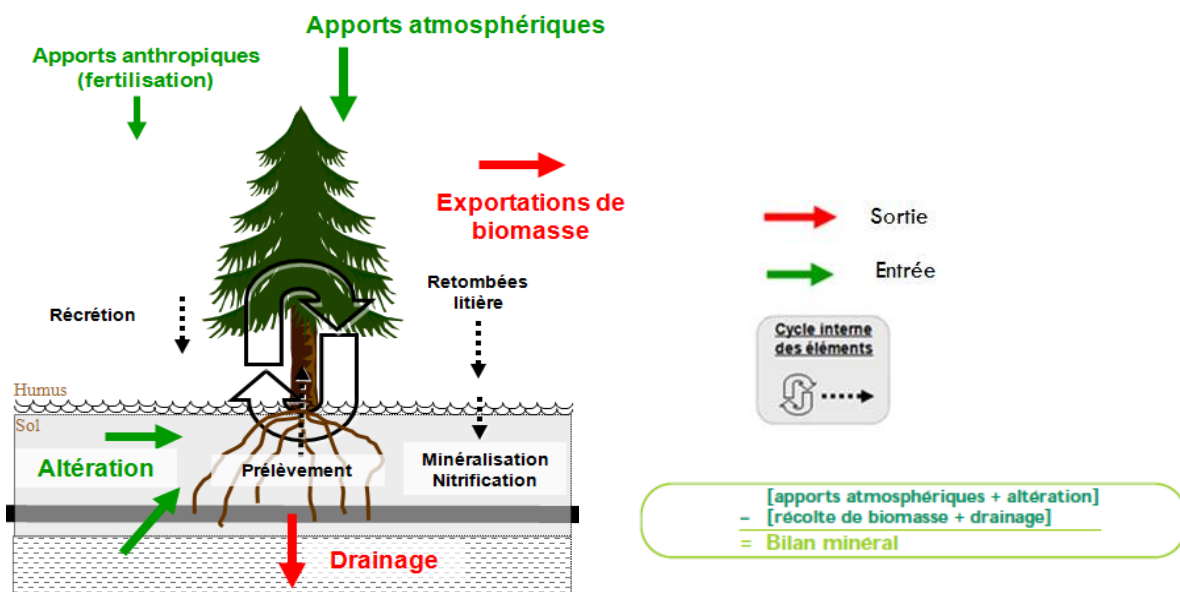
Figure 19 : Le pouvoir tampon, source Chapitre V : chimie du sol, 2013



2.4. Les facteurs jouant sur la nutrition des peuplements

Nous avons pu le voir précédemment, de nombreux facteurs sont à l'origine des variations d'acidité et de nutrition des sols forestiers. La Figure 20 ci-dessous permet d'avoir une vision imagée du cycle biogéochimique* jouant sur la fertilité minérale du sol.

Figure 20 : Cycle biogéochimique des éléments nutritifs, Claude Nys et Arnaud Legout, 2012



Le bilan minéral, établi sur la durée d'un cycle sylvicole, doit être nul pour chaque élément minéral dans le cas d'une stabilité du système. Si ce bilan est déséquilibré (exportations > apports), c'est la croissance du peuplement et donc la production qui en pâtiront.

Sur sol moyennement ou très sensible, la récolte des rémanents peut provoquer un tel déséquilibre, du fait de leur forte concentration en éléments minéraux.

Il faudra donc apporter une fertilisation, quantifiée pour chaque élément, pour rééquilibrer le bilan minéral et éviter les conséquences négatives sur la croissance du peuplement.

Toutes ces explications sur le fonctionnement du sol vont nous servir à mieux comprendre la partie suivante, à savoir comment nous avons ciblé puis diagnostiqué les sols à risque sur l'ensemble des parcelles de l'étude.

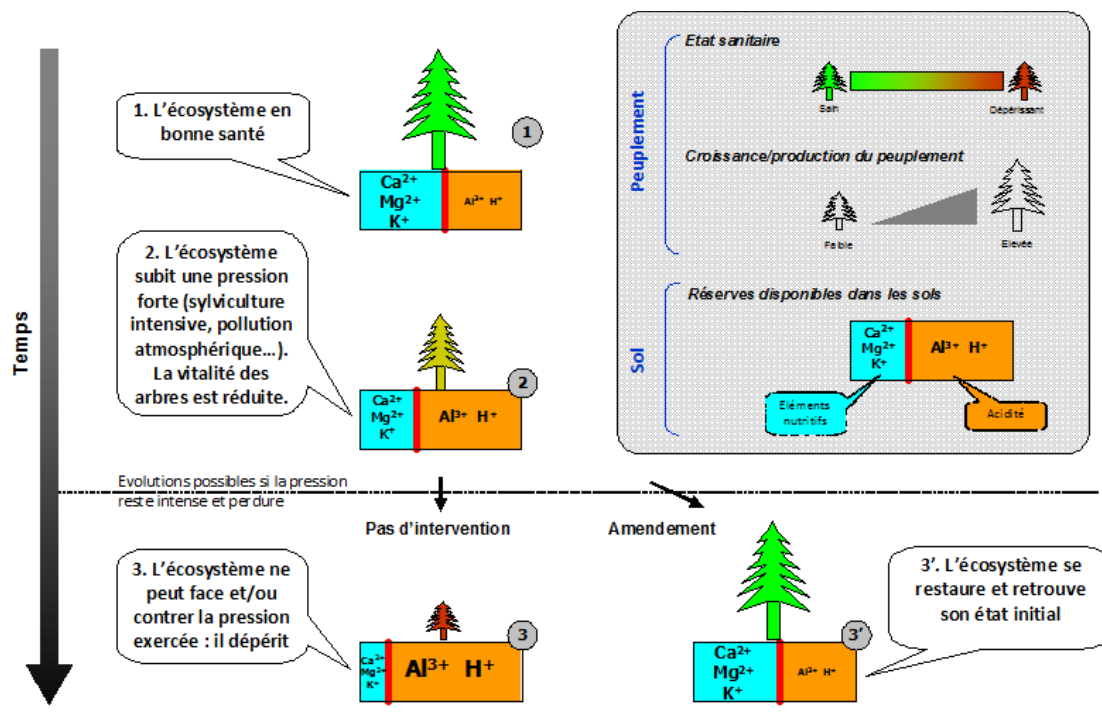
Elles vont nous permettre également d'appréhender plus facilement la notion d'amendement et fertilisation et comprendre le choix des produits.

3. Des engrais minéraux pour un sol bien nourri

3.1. Généralité

La faible fertilité des sols bretons, l'intensification des exportations d'éléments minéraux lors de l'exploitation, ajoutées aux pertes par drainage, ne compensent pas toujours les « flux entrants » qui proviennent des dépôts atmosphériques et de l'altération des minéraux du sol. Il est alors nécessaire de compenser ces pertes par des apports d'amendement et de fertilisants, si l'on veut conserver la richesse minérale des sols, Figure 21.

Figure 21 : Evolution de l'écosystème dans le temps, source Claude Nys et Arnaud Legout, 2012



Les travaux d'amendement en forêt ont débuté avec Maurice Bonneau dans les années 1960 avec pour objectif d'augmenter la production forestière. C'est dans les années 1980 qu'un signal d'alarme est lancé sur la santé de la forêt en vue du mauvais état sanitaire principalement sur des sapins et des épicéas : déficit foliaire et décoloration du feuillage.

Ce sont l'ensemble de ces observations qui ont amené la recherche à étudier la restauration des sols forestiers par des apports calco-magnésiens afin de limiter leur acidification et de redynamiser leur fonctionnement biogéochimique (*Les amendements calco-magnésiens en forêt vosgienne - Les résultats obtenus suite aux travaux de l'INRA Nancy, 2013*). De manière générale, les résultats d'amendements ont eu un effet spectaculaire sur les arbres.

De 1990 à 2007, l'Allemagne a traité plus de 2,5 millions d'hectares alors qu'en France, dans la même période, nous n'avons traité que 1000 ha (*René Collet, 2008*).

Pourtant, nous savons qu'une bonne alimentation est le résultat d'un équilibre entre tous les éléments nutritifs nécessaires à la croissance et la santé des peuplements (*Raisonnement PK, un investissement rentable, Fiche n°7, UNIFA*).

Toutefois, il est important que l'apport d'amendement en forêt soit parfaitement raisonné. Raisonnable par rapport au milieu lui-même (tous les sols acides ne sont pas à traiter de la même manière) et par rapport à la richesse minérale initiale des sols (écarter les sols à bonne fertilité minérale).

3.2. Rééquilibrer la nutrition minérale avant tout

Cette démarche d'amendement et fertilisation passe par la restauration du fonctionnement nutritionnel des sols grâce à un apport équilibré d'un ensemble d'éléments minéraux permettant de relever le stock du sol à un niveau suffisant pour que le prélèvement annuel* du peuplement, nécessaire à sa croissance, s'effectue sans difficulté.

La fertilisation forestière diffère des techniques agricoles, son originalité tenant à la nature du végétal (épaisseur de sol utilisée de 1 m environ, durée de prospection, mycorhization* forte) et tenant au mode d'exploitation des forêts (faible valeur des exportations par rapport aux prélèvements).

Les plants utilisent l'azote (N), le phosphore (P) et le potassium (K) en quantité importante, donc les besoins en éléments nutritifs des arbres doivent être respectés pendant tout le cycle de production afin d'obtenir de bons taux de croissance et des arbres sains. Ainsi, les réserves du sol en ces éléments doivent être périodiquement réapprovisionnées. Des engrais naturels ou synthétiques ont été développés pour fournir ces éléments majeurs, combinés ou séparément (*Les engrais minéraux : Caractéristiques et utilisations, PNTTA, 2000*).

L'apport de nutriments peut se faire de deux façons différentes : la fertilisation et l'amendement, qu'il est important de ne pas confondre, Figure 22.

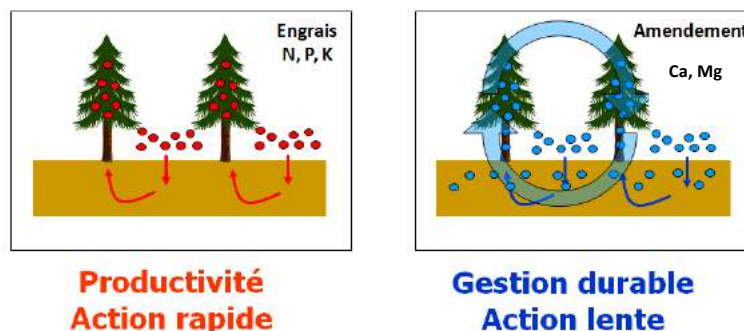


Figure 22 : Différence entre Fertilisation et Amendement, source Claude Nys et Arnaud Legout, 2012



La fertilisation

La fertilisation est une action rapide mettant en jeu l'absorption directe des éléments apportés aux racines. Il existe plusieurs types de fertilisation :

- La fertilisation initiale : apportée au peuplement juste avant, ou juste après plantation, avant que les plants n'aient passé leur première saison de végétation
- Fertilisation de correction : mise en œuvre environ 2 à 5 ans après plantation qui vise à corriger une erreur à la plantation (éléments complémentaires ou carence manifeste)
- Tonification ou « regonflage » : apportée sur des plantations de plus de 5 ans et sur des peuplements plus âgés (première éclaircie)

L'amendement

L'amendement a une action lente visant à corriger un appauvrissement des sols, à améliorer l'activité biologique de ces sols et rétablir le cycle biogéochimique.

Sa pratique consiste en un apport à la surface du sol de carbonate de calcium et/ou magnésium, complétée si besoin d'un apport de phosphore et/ou de potassium afin d'éviter des déséquilibres nutritionnels, Figure 23.

La pratique de l'amendement n'a pas pour enjeu premier d'augmenter la production des forêts (même si les gains de productivité sont souvent significatifs) ni d'améliorer la qualité des bois produits.

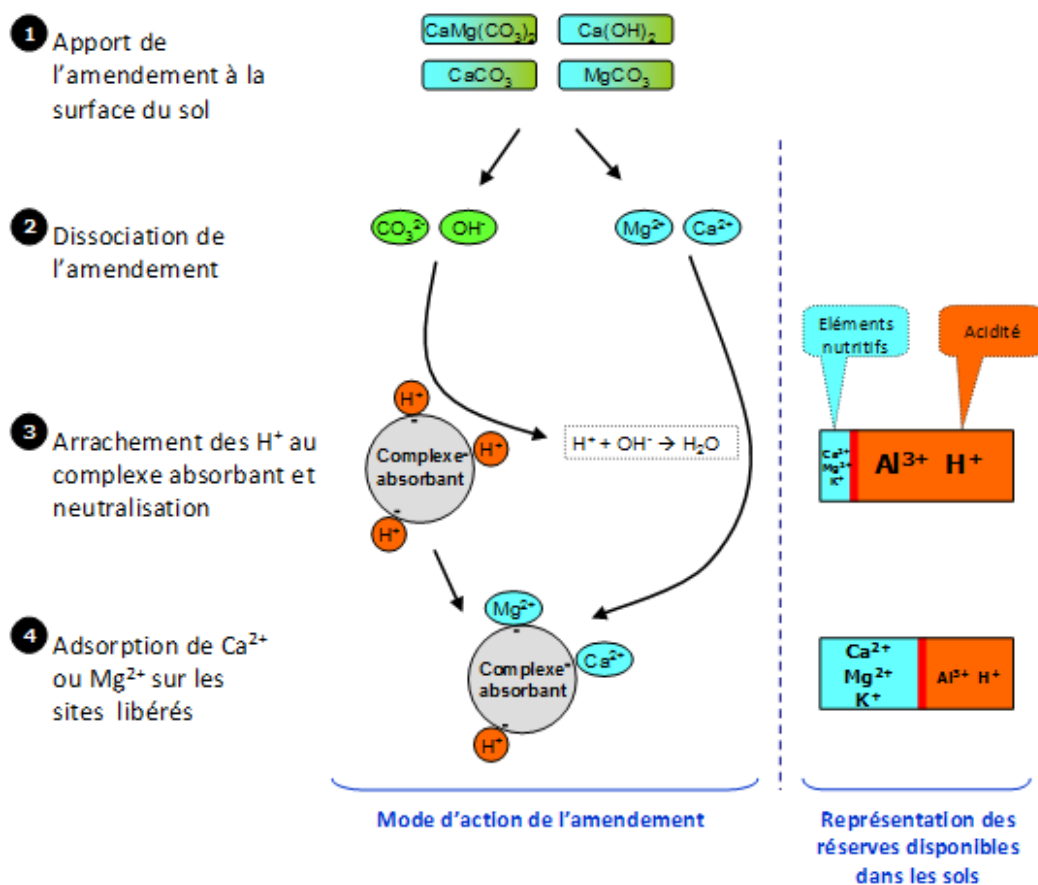


Figure 23 : Principe d'action de l'amendement, source Claude Nys et Arnaud Legout, 2012

Cette méthode doit rester une action corrective qui ne modifie pas radicalement la station. En effet, l'objectif n'est pas de transformer des sols forestiers pauvres en sols riches, mais il s'agit bien de restaurer la fertilité minérale d'un écosystème forestier dans la durée (Claude Nys, 2012). Il est recherché tout d'abord pour une amélioration de l'état sanitaire des peuplements, de leur capacité à surmonter les stress liés en particulier aux aléas climatiques et, par le biais d'une dynamisation de l'activité biologique, favoriser une meilleure installation des régénérations.

L'amendement n'est cependant pas une solution pour tous les problèmes de pauvreté chimique des sols et doit être parfaitement raisonné.



Apporter des éléments nutritifs raisonnablement

Dans tous les cas, le choix d'un engrais ne doit pas être déterminé uniquement par son prix. Il doit se faire suivant plusieurs critères : la forme, la solubilité, l'adaptation au type de sol, la granulométrie, la technique d'épandage, le niveau de fertilité de la parcelle, les besoins en éléments fertilisants. Tous ces éléments additionnés conditionnent le choix d'une formule d'engrais pour la station forestière*.

Il s'agit d'une démarche qui doit être parfaitement raisonnée. En effet, il ne s'agit en aucune manière d'intervenir sur tous les sols pauvres, car certaines stations, acides en particulier, correspondent souvent à des habitats rares et protégés, menacés ou vulnérables à conserver en tant que tels (A. Brêthes, C.Nys et R. Collet, 2009).

L'apport d'un élément nutritif doit prendre en compte plusieurs indicateurs :

- L'analyse de sols
- Le passé de fertilisation
- L'exigence de la culture
- La sylviculture

3.3. Les produits sous toutes leurs formes

Suivant les critères vus dans le paragraphe précédent, plusieurs formes d'engrais existent : engrais organiques, organo-minéraux et minéraux. Etant donné que l'on a assez de matière organique en forêt, dans notre cas, nous n'avons besoins que d'engrais minéraux.

Les engrais minéraux se différencient entre eux par l'aspect physique et par leur composition chimique :

- Eléments majeurs (N, P₂O₅, K₂O), secondaires (S, Ca, Mg ...), Oligo-éléments
- Simple (apport d'un élément) ou composé (apport de plusieurs éléments)
- Hyposoluble*, soluble, insoluble
- Brute, granulés, pellets, cristaux ou poudres fines ou grossièrement compactées

La granulométrie joue un rôle important. Les matériaux très fins ont une action « flash » immédiate, les matériaux plus grossiers ont une action à long terme. La forme granulée facilite l'épandage.

4. Déroulement de l'étude de terrain

4.1. Notre méthodologie

Pour pouvoir évaluer l'état sanitaire de nos forêts et effectuer un apport d'amendement parfaitement raisonné, nous avons élaboré une méthodologie spécifique dont les différentes phases sont développées dans les paragraphes suivants.

- 1) **Définir la potentialité des stations sur le terrain**
- 2) **Sélectionner des parcelles adéquates pour l'étude**
- 3) **Effectuer une étude précise sur les parcelles sélectionnées (description de sol, état sanitaire, accroissement, prélèvements de sol)**
- 4) **Interpréter les résultats de l'évaluation des stocks d'éléments disponibles dans le sol**
- 5) **Rechercher et proposer des éléments nutritifs à apporter** (*Partie suivante*)
- 6) **Déterminer les dispositifs expérimentaux** (*Partie suivante*)

Pour ce faire, une liste de tous les reboisements après coupe rase de futaies résineuses, effectués sur les trois massifs entre 2010 et 2015, nous a été transmise par M. Le Mercier. Le but est d'identifier les reboisements sur lesquels il serait intéressant de mettre en place des essais d'amendement pour l'étude.

L'évaluation de la fertilité des stations peut se faire par différents moyens allant d'une simple observation à une analyse scientifique (prélèvement de sol et analyses foliaire). Ces diagnostics permettent d'estimer la richesse « naturelle » du sol et ses besoins en amendement.

Les trois méthodes, qui permettent et/ou qui nous ont permis de diagnostiquer des carences nutritives et de définir des dispositifs d'amendement sont développées ci-dessous.

4.2. L'analyse foliaire

La composition d'un végétal peut renseigner sur l'état de sa nutrition. Ainsi, l'analyse foliaire nous permet de savoir si la teneur en éléments est optimale, critique ou atteint un seuil de carence.

Le prélèvement foliaire pour les résineux consiste à prélever des rameaux de l'année sur une trentaine d'arbres verts et bien venants et autant de rameaux d'arbres malvenants. Les teneurs des différents éléments nutritifs sont analysés pour chacun des deux lots de rameaux. Les prélèvements doivent se faire entre le 15 octobre et 15 janvier pour les résineux, toutefois, il est préférable de les faire en automne car les teneurs peuvent varier beaucoup au cours de l'année, mais sont plus stable à cette époque.

Bonneau (1995) indique les niveaux suivants de composition foliaires pour des Douglas et Epicéa de 1 à 15 ans, Tableau 2 :

Tableau 2 : Normes de composition foliaire, Bonneau 1995

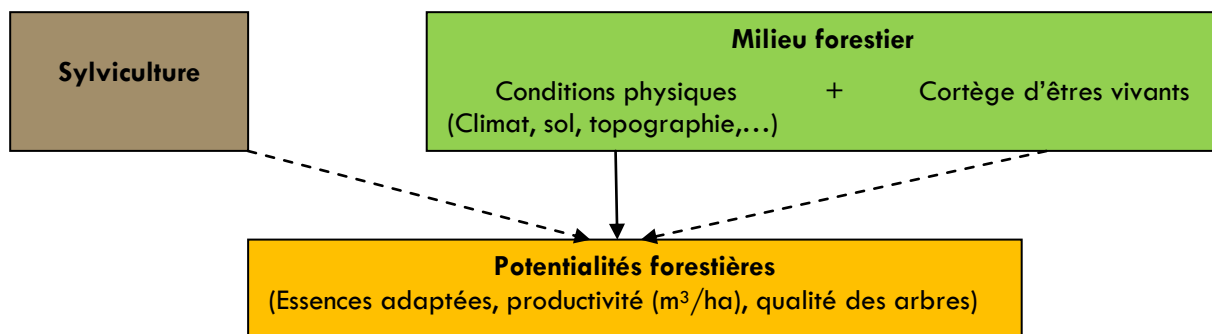
	Azote (N) %	Phosphore (P) %	Potassium (K) %
Seuil de carence	1 à 1,3	0,1 à 0,15	0,3 à 0,4
Seuil optimale	1,5 à 1,9	0,18 à 0,21	0,6 à 0,8

Etant donné que mon projet s'est déroulé de mars à août, nous n'avons pas pu pratiquer la méthode de l'analyse foliaire étant en dehors de la période des prélèvements. Seuls l'évaluation des potentialités forestière et les prélèvements de sol ont été appliqués.

4.3. L'évaluation des potentialités forestières sur le terrain

Il est important de rappeler que la forêt est un milieu vivant. Elle se compose d'un support physique (sol, climat, topographie, etc.), d'un ensemble d'êtres vivants (micro-organismes, champignons, faune, flore, etc.) et d'une population d'arbres.

Les potentialités forestières correspondent à la capacité de production théorique du milieu, sans tenir compte du peuplement qu'il porte. Elles dépendent principalement des conditions physiques du milieu mais la faune et la flore ont une incidence qu'il ne faut pas sous-estimer. Les interventions sylvicoles peuvent également avoir un impact sur les potentialités forestières (*Formation FOGFOR 2016*).



L'évaluation des potentialités forestières est une démarche indispensable pour le choix des essences et des techniques sylvicoles. Elle s'effectue sur des portions de forêts homogènes appelées stations forestières.

La fertilité d'une station dépend essentiellement de trois critères :

- Les conditions de drainage : présence d'engorgement
- La réserve en eau du sol : épaisseur et texture dominante
- La richesse minérale : examen de l'humus, cortège de plantes indicatrices

Dans le cadre de notre étude, pour estimer la potentialité des stations sur le terrain, nous avons décidé de mettre de côté les parcelles portant des reboisements entre 0 et 2 ans. En effet, ces peuplements, étant encore dans une phase d'installation, sont trop jeunes pour que l'on puisse diagnostiquer un éventuel problème de croissance et une carence minérale. De plus, il s'avère difficile d'identifier le type de station sur ces parcelles car nous sommes en présence de stations très artificialisées car, lors des travaux de reboisement, les sols ont été perturbés et retournés, il y a eu donc une modification du milieu. De ce fait, la description des horizons et de la végétation est quasiment impossible.

Pour les autres parcelles (entre 2 et 5 ans), notre mission a donc été de faire un premier diagnostic de leur fertilité. Autrement dit, d'évaluer leur potentialité en définissant le type de station forestière de la parcelle.

Pour cela, nous sommes allés sur le terrain munis du Guide COB, de la tarière pédologique et d'une fiche de terrain que j'ai élaborée afin d'obtenir une analyse des stations précise et efficace, un exemplaire se trouve en Annexe 2.

Sur le terrain, nous avons observé un certain nombre de critères, présentés ci-dessous, qui nous ont permis de répondre aux questions de la clef de détermination du type de station du Guide COB, Annexe 3, tout en prenant en compte d'autres éléments extérieurs.

Ainsi, neuf parcelles dans la forêt de Malaunay, six dans la forêt de Cassebreuil et sept dans le bois de Conveau ont été visitées.

Voici les critères analysés sur le terrain qui nous ont permis de définir la potentialisé des stations :

1) Observation de l'état général et sanitaire des peuplements

Pour commencer, nous avons observé l'état général des peuplements. Ce critère nous donne une première indication sur d'éventuels problèmes sanitaires et de croissance.

En effet, sur un type de station forestière similaire, des peuplements peuvent montrer des signes de dépérissement sur une parcelle et non sur l'autre. Cette différence peut venir d'une carence en éléments nutritifs mais peut avoir d'autres multiples causes (tassement du sol, plantation mal réalisée, ...). Par contre, il ne peut s'agir d'un mauvais choix d'essence puisque les stations étudiées étaient jusqu'à présent réputées convenir aux essences plantées.

Cependant, il est possible – et même probable, c'est l'hypothèse de l'étude - que la sylviculture intensive dont a fait l'objet le peuplement résineux précédent ait réduit suffisamment le stock d'éléments minéraux pour que la station soit désormais « limite » au plan nutritionnel pour ces essences.

Les facteurs observés et qui nous ont permis de caractériser l'état général et sanitaire des peuplements sont : la masse foliaire, la couleur des aiguilles, la taille moyenne et l'accroissement de l'année des plants, le taux de reprise ou encore la circonférence.

En fin de deuxième année, si les plants n'ont pas démarré (pousse de l'année entre 10 et 25 cm), si les aiguilles sont courtes, plus ou moins jaunâtres et ont une durée de vie guère supérieure à une année, cela montre que nous avons tout intérêt à intervenir rapidement.

Toutefois, ces symptômes peuvent avoir une autre origine (station inadaptée, concurrence des adventices), il est donc important de vérifier cela par des analyses complémentaires (sol).

2) Observation de la sylviculture réalisée

Pour évaluer la fertilité des stations nous avons dû prendre en compte l'historique de la parcelle, (l'impact des peuplements précédents), l'environnement actuel (boisements alentours) et les itinéraires techniques de reboisement utilisé. L'ensemble des travaux de reboisement réalisés sur les parcelles d'étude et leur antécédent cultural sont indiqués dans leur fiche identité en Annexe 14, 15, 16, 17, 18, 19 et 20.

Mais, pourquoi devons-nous prendre en compte ce critère ? En réalité, l'exploitation intensive des peuplements engendre une forte exportation d'éléments minéraux et accentue la pauvreté naturelle en nutriments des sols forestiers bretons. Il s'ensuit généralement une acidification et un ralentissement de l'activité biologique des sols préjudiciable au bon fonctionnement de l'écosystème.

De plus, les cycles successifs d'essences à croissance rapide mis en œuvre actuellement dans nos massifs bretons tendent à amplifier le phénomène d'épuisement des sols.

Les travaux de reboisement que l'on effectue sur nos massifs ont des conséquences importantes sur les propriétés physiques et chimiques du sol. En effet, les deux tiers des éléments minéraux que l'arbre a prélevés dans le sol pour sa croissance sont concentrés dans les fines branches, les feuilles, les racines et les écorces (*Que faire des rémanents ? CRPF PACA, 2013*). Ainsi, le traitement des rémanents par andainage et la préparation du sol par

dessouchage effectué aujourd’hui sur les parcelles étudiées conduit donc à des exportations nettement plus fortes que l’exploitation des troncs seuls.

Le logiciel REGESOL élaboré par l’INRA peut simuler différents types de sylviculture allant de la moins intensive à la plus intensive :

- « Restauration ou Remédiation » : vue écologique, pour un bon fonctionnement de l’écosystème mais avec des exportations de bois relativement faibles
- « Dynamique » : exportant environ 50% de rémanents aux éclaircies
- « Bois énergie » : sylviculture dynamique avec une exportation totale de rémanents

On peut voir grâce à la Figure 24, que quelque soit le degré d’intensification de la sylviculture les apports par la pluie et les humus sont stables alors que les retours par les rémanents sont fortement réduits. De plus, nous pouvons remarquer qu’un andainage « correct » provoque de 5 à 15% de perte de nutriments pour l’écosystème alors qu’un andainage « décapant » provoque une perte de 20 à 50% de nutriments, Figure 25 (*Réunion Sitka, Le Faou, le 14 septembre 2012, Claude Nys*).

Figure 24 : Conséquence de l’intensification de la sylviculture sur les retours dans l’écosystème

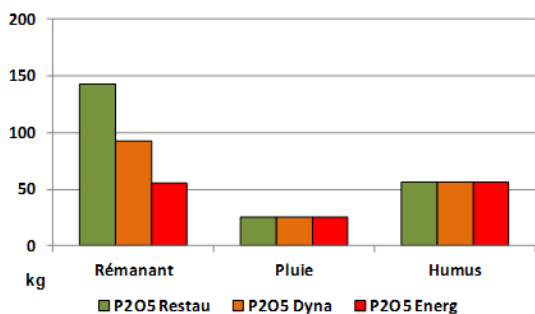
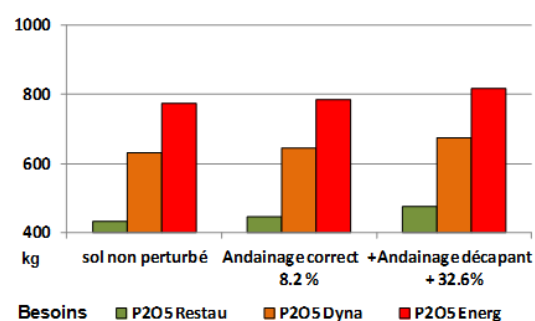


Figure 25 : Conséquence de l’andainage sur les exportations hors écosystème



Ainsi, il est important de prendre en compte la sylviculture réalisée, qui, selon son intensité, joue sur l’acidification et l’appauvrissement de nos sols.

3) Détermination du type de station (Guide COB)

L’identification des stations s’est donc faite grâce à une clef de détermination, Annexe 3.

Seize types de stations sont distingués dans ce guide et font l’objet d’une fiche descriptive comprenant des caractéristiques écologiques, l’évaluation des potentialités sylvicoles et environnementales, des choix d’essences et recommandations sylvicoles.

Chaque type de station peut se placer dans un diagramme humidité/richeesse nutritive reprenant les critères de fertilité, Figure 26.

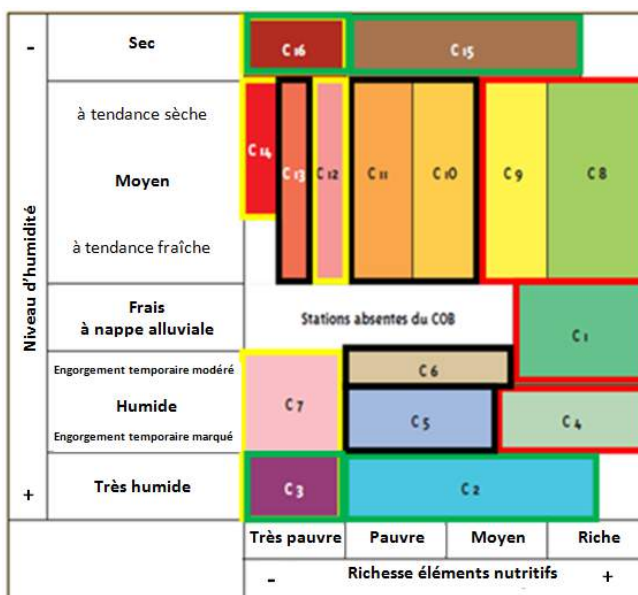


Figure 26 : Diagramme Humidité/Richesse nutritive, Guide COB



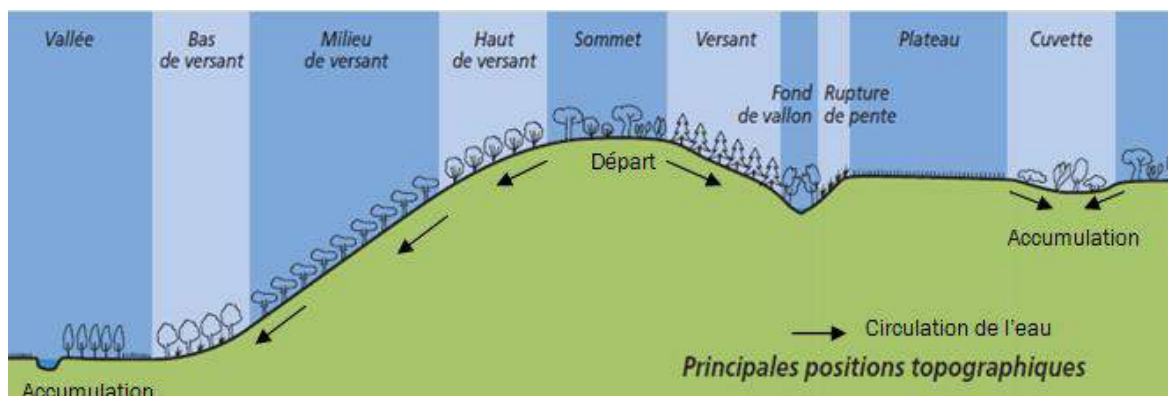
C'est l'ensemble des observations de terrain présentés ci-dessous qui nous ont permis de suivre la clef de détermination et d'identifier le type de station sur lequel on se trouvait.

Analyse des conditions topographiques

La condition topographique est un critère permettant d'estimer la potentialité des parcelles et de comprendre l'état sanitaire des peuplements. En effet, le relief agit sur la circulation de l'eau et des éléments minéraux (drainage) ainsi que sur l'érosion.

Comme la Figure 27 le montre, il peut y avoir des accumulations d'éléments fins, des enrichissements des bas de pente et une érosion des versants pentus ce qui peut jouer sur la croissance des peuplements. Le relief peut également agir sur le micro climat de la station (vent, altitude, couple pente/exposition).

Figure 27 : Principales positions topographiques, source CNPF Guide de Moyenne Vilaine, 2008



Description du sol

Le sol étant l'élément déterminant de la potentialité de la station et un critère majeur pour définir la station, il s'avère important d'en faire une description détaillée.

Sur chaque parcelle, nous avons réalisé un examen du sol à l'aide d'une carotte faite à la tarière pédologique et du Guide COB. Nous avons effectué plusieurs points d'observations du sol afin de s'assurer que celui-ci est bien représentatif de la station et déceler d'éventuelles variations locales.

Du fait des nombreuses variations du sol qui existent, il nous a fallu reprendre en détail les facteurs ci-dessous, détaillé à partir de la p.29 :

- La composition du matériau parental (Site du BRGM)
- Son profil et son humus
- L'estimation de la profondeur prospectable
- Sa granulométrie et sa texture
- Le drainage

Observation de la végétation spontanée et des plantes indicatrices

La composition floristique spontanée d'une parcelle est un excellent indicateur du niveau de fertilité du sol. Elle reflète les conditions écologiques du milieu et permet de préciser certaines caractéristiques stationnelles (pH, profondeur du sol, type, etc.). En effet, les plantes ont des exigences propres en matière d'alimentation en eau, richesse en éléments nutritifs, lumière, etc.

Elles se répartissent en fonction des conditions de vie que leur offre le milieu naturel (*Guide du sylviculteur du COB, CRPF, 2010*). Les espèces végétales possédant des exigences écologiques voisines se trouvent donc logiquement associées dans les mêmes stations. Des groupes de plantes indicatrices appelés groupes phyto-écologiques (GPE) ont été définis dans le Guide COB, Annexe 4.

Ainsi, nous avons parcouru l'ensemble des parcelles pour observer leur composition floristique et noter les GPE présents. Il faut noter qu'un GPE est considéré comme présent lorsque l'on détecte la présence d'au moins trois espèces du groupe.

Toutefois, nous avons été confrontés à une problématique qui est la perturbation du milieu suite à la coupe rase et le reboisement qui ont modifié les cortèges floristiques (développement des espèces héliophiles* et pionnières)

4.4. Elimination et sélection des stations

Toutes les parcelles et tous les types de stations ne pouvaient pas entrer dans le cadre de l'étude. En effet, nous avons éliminé les stations à bon potentiel nutritif (corrélé avec un bon état sanitaire des arbres) et les stations ne convenant pas à une production résineuse intensive ; et nous avons sélectionné, sur les stations adéquates, les parcelles dont les arbres sont dans un état sanitaire peu à moyennement satisfaisant.

Ces choix vous sont expliqués ci-dessous :

Les stations hors cadre de l'étude

Il est important de noter que toutes les parcelles ne peuvent pas faire l'objet d'amendement. En effet, les stations que nous avons écartées de l'étude sont celles qui relèvent d'un habitat particulier (patrimonial) ou remarquable, ou bien à richesse minérale moyenne ou élevée (matériaux à bonne fertilité minérale). Ces sols ont actuellement des stocks suffisants en éléments nutritifs par rapport aux seuils normaux de fertilité minérale. Un apport complémentaire serait inutile au regard de l'objectif poursuivi.

Enfin, nous avons écarté les stations qui ne sont pas aptes à une production intensive de résineux et les sols pour lesquels le ralentissement de l'activité biologique, et donc l'acidification, ne sont pas liés principalement à la faible fertilité minérale du sol mais à des contraintes particulières. Il s'agit tout particulièrement des sols ou stations :

- à engorgement temporaire ou permanent (pseudogley, gley) où la contrainte première est liée à l'excès d'eau en période pluvieuse et à forte sécheresse estivale ou sur une grande partie de l'année
- superficiels, sableux, à très faible réserve en eau dont la principale contrainte pour les arbres n'est pas d'ordre nutritif mais hydrique
- podzoliques

Les cadres de couleur ci-dessous, représentent les types de stations que l'on écarte de l'étude :

Les stations C7, C12, C14 ne sont pas des stations à végétation forestière mais à végétation de landes. Sur ce type de stations, l'Epicéa de Sitka n'est pas parfaitement adapté car une fertilisation phosphatée est indispensable à la plantation.

Les stations C1, C4, C8 et C9 sont des stations assez riches et fertiles qui ne justifient aucun amendement.

Les stations C2 et C3 se trouvent dans un milieu asphyxiant en quasi permanence, pour laquelle il est déconseillé de pratiquer une sylviculture intensive sur ce type de station. Les types C15 et C16 au contraire sont très sèches. Ayant une faible potentialité, une sylviculture intensive et l'Epicéa de Sitka n'est pas adapté.

Les stations entrant dans cadre de l'étude

Notre étude sur l'amendement était réservée aux parcelles forestières les plus acidiphiles et/ou dégradés ayant un potentiel de relance de l'activité biologique.

Les parcelles retenues montrent une végétation dominante à base de leucobryum, callune, fougère, ronce, molinie, ajonc d'Europe ou bien sont exemptes de végétation avec un humus de type Mor ou dysmoder.

Le cadre noir représente les types de stations sur lesquels nous avons travaillé :

Les stations C5, C6, C10, C11 et C13 sont des stations à végétation forestière ayant une acidité marquée et une richesse minérale faible à très faible, mais suffisante pour l'Epicéa de Sitka.

Ainsi, après avoir défini le type de station sur l'ensemble des reboisements visités, nous avons écarté :

- les parcelles dont le type n'entrait pas dans le cadre de l'étude (encadrés jaune, rouge et vert ci-dessus),
- celles montrant de très grandes variations stationnelles (pas d'homogénéité suffisante),
- celles où l'essence et/ou la technique de reboisement n'étaient manifestement pas adaptées
- celles montrant un peuplement en bon état sanitaire

Une fois ce pré-diagnostic sur le terrain réalisé, sept parcelles au total ont été retenues pour la suite de l'étude. Nous sommes principalement en présence de stations de type C10 et C11 à Callune, Molinie, Genêt et fougère ayant un humus Dysmoder voire Mor et une texture limono-sableuse.

Les tableaux en Annexe 5 résument le choix des parcelles.

- Malaunay : PF 7,02 – PF 10,01-10,04 – PF 17,02
- Cassebreuil : PF 11 – PF 5p
- Conveau : PF 9c – PF 7a

A la demande du gestionnaire, nous avons gardé à l'étude la PF 7,02 bien que ce soit une station de type C7. L'autre exception est la PF 7a en raison de son âge (1 an). Nous avons décidé de la garder car il nous paraît intéressant de suivre son évolution étant donné qu'elle a subi une évacuation totale des souches et des rémanents pour le bois énergie.

4.5. Les prélèvements de sol

Comme dit précédemment, à la suite du premier diagnostic terrain, nous comptons sept parcelles sur lesquelles nous avons travaillé. La prochaine étape a consisté à évaluer la fertilité de ces parcelles de manière scientifique en effectuant des analyses d'échantillons de sol.

L'analyse de sol est le préalable à tout raisonnement d'utilisation d'engrais. Elle permet de déceler des déficiences qui peuvent facilement passer inaperçues comme pour le phosphore et le potassium dont les symptômes sont peu caractéristiques, visibles à des stades précoces mais qui disparaissent ensuite (*Raisonner PK, un investissement rentable, Fiche n°7, INIFA*).

Le prélèvement de sol est destiné à définir, par rapport à des seuils critiques, le niveau de fertilité initial des parcelles forestières. Il va ainsi nous permettre de décider de l'opportunité ou non d'amender ou de fertiliser les parcelles de l'étude et de définir également les produits et leur quantité.

Cependant, la fertilité chimique d'un sol, dans une même station, est différente selon les horizons du sol et fluctuante d'un point à l'autre ; une station homogène n'étant finalement qu'un ensemble défini de microsites dont l'hétérogénéité reste à l'intérieur de certaines limites (*Bonneau, Fertilisation des forêts dans les pays tempérés, 1995*).

C'est pour cela que, pour effectuer les prélèvements de nos échantillons de sol, nous avons suivi un protocole précis afin de tenir compte des différents facteurs de variation.

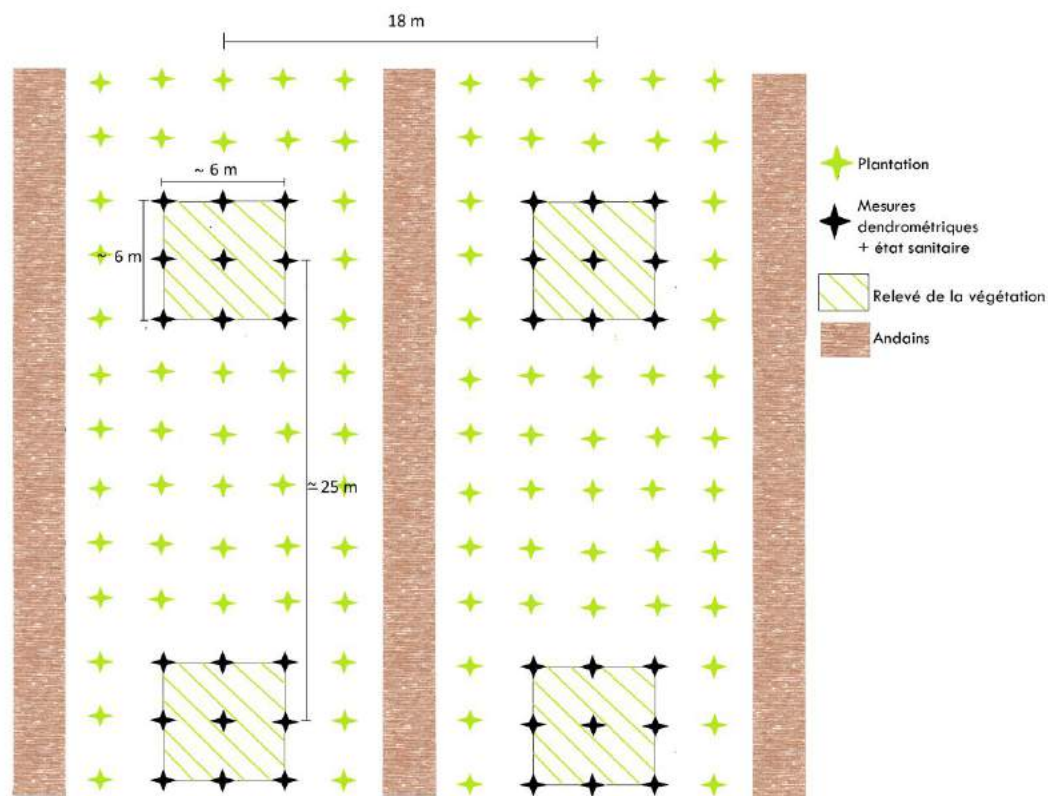
Pour réaliser ces prélèvements, nous avons travaillé en étroite collaboration avec Claude Nys (*Scientifique à l'INRA de Nancy aujourd'hui à la retraite*). Nous avons utilisé son protocole de prélèvement de sol ainsi que nos connaissances du terrain afin d'établir un protocole adapté à notre étude. Le processus de prélèvement de sol s'est déroulé en trois principales étapes. Le protocole scientifique complet se trouve en Annexe 6.

1) Définir l'homogénéité stationnelle

Afin de définir l'homogénéité de chaque parcelle, nous les avons parcourues entièrement et avons fait des points d'arrêt sur une maille d'environ de 25*18 m.

Sur chacun des points d'arrêt, nous avons mesuré l'accroissement en hauteur de l'année N-1 sur neuf plants, défini leur état sanitaire et avons identifié la végétation dominante au sol. La Figure 28 vous montre de façon schématique comment nous avons procédé sur le terrain.

Figure 28 : Protocole de mesure et analyse



Groupes floristiques dominants :

Afin de définir la végétation au sol, nous avons créé des groupes de végétation et les avons codifiés, Figure 29.

Les différents groupes de plantes indiquent un certain niveau trophique* et peuvent indiquer un caractère spécifique du milieu (tassement dans le cas de la laîche à pilules).

Sur le terrain, la dominance floristique a été évaluée par les indicateurs suivant :

- i : Plante isolée
- 1 : < 5 %
- 2 : 5 < x < 25 %
- 3 : 25 < x < 50 %
- 4 : 50 < x < 75 %
- 5 : > 75 %

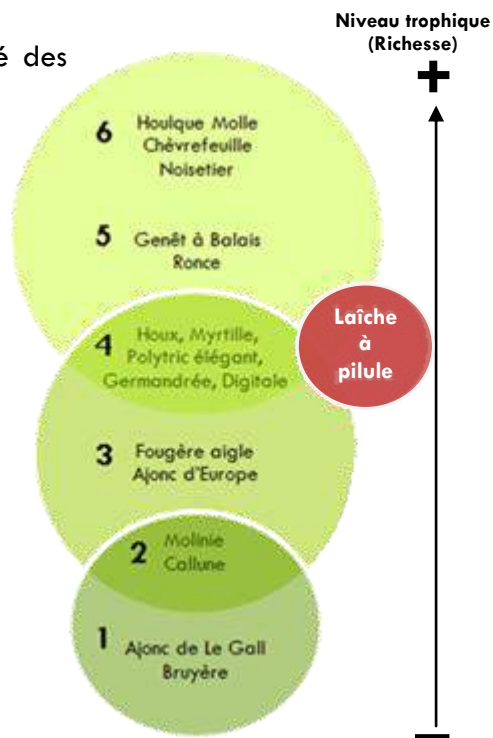


Figure 29 : Groupes de végétation

Hauteur et accroissement N-1 :

Ces mesures nous ont permis d'apprécier la hauteur des plants, d'observer l'homogénéité de l'accroissement sur les parcelles et de remarquer, éventuellement, un ralentissement de croissance et un lien entre le cortège floristique et la hauteur des plants.

Etat sanitaire

Ce facteur a été codifié suivant la couleur des aiguilles, la vigueur du plant ou l'observation d'autres problèmes comme les pucerons verts. Relever l'état sanitaire des peuplements nous a permis d'observer un éventuel mauvais état du peuplement en lien avec des carences nutritives et d'analyser s'il y avait un lien avec ce dernier et le cortège floristique.

Sur le terrain, nous avons adopté une appréciation de l'état sanitaire selon six notes :

- 0 : Impossible de juger l'état sanitaire (attaque de puceron vert, abrouiti, frottis, tête sèche, etc.)
- 1 : Vert – Bonne vigueur
- 2 : Vert clair – moyennement vigoureux
- 3 : Jaunâtre – maigre
- 4 : Dépérissant – défolié
- 5 : Mort
- PV : Attaque de puceron vert (en totalisant tous les états sanitaires confondus)

Toutes les données récoltées sur le terrain, nous ont permis d'établir des cartographies sur le logiciel MapInfo. Trois cartes par parcelle ont été élaborées. Toutes les cartographies se trouvent en Annexe 7, 8, 9, 10, 11.





- 1) Une cartographie des groupes de végétations dominantes
- 2) Une cartographie des parcelles en lien avec les accroissements moyens
- 3) Une cartographie sur l'état sanitaire des peuplements afin d'estimer le pourcentage de plants « dépérissants ». En parallèle, cela nous a permis de sortir des chiffres sur les attaques parasitaires des pucerons verts.

Au vu de son jeune âge, nous n'avons pas cartographié la parcelle 7a du Bois de Conveau ; les travaux de reboisement et la plantation étant récents, l'accroissement n'est pas mesurable et la végétation adventice n'est pas encore très présente et représentative de la station.

Quant à la parcelle 5p de la Forêt de Cassebreuil, par manque de temps et à la demande de M. Le Mercier, nous n'avons pas fait les relevés terrain. De plus, elle est relativement uniforme sur toute sa surface et similaire à la parcelle 9c du Bois de Conveau.

Le Tableau 3 ci-dessous résume les données récoltées sur le terrain :

Tableau 3 : Résumé des relevés de terrain (végétation, accroissement et état sanitaire)

	 Age (ans)	 Végétation dominante	 Accroissement (cm)	 Etat sanitaire (%)	
Malaunay 7,02	5	Callune Molinie	15-30	0 : 16 1 : 38 2 : 32 3 : 0	4 : 4 5 : 1 Abs : 7 PV : 41
Malaunay 10,01	5	Callune-Moline	0-20	0 : 6 1 : 38 2 : 49 3 : 2	4 : 1 5 : 1 Abs : 4 PV : 27
		C-M+Genêt-Ronce	20-40		
		C-M+Fougère Ajonc	20-40		
Malaunay 17,02	4	Genêt Ronce	25-50	0 : 1 1 : 18 2 : 54 3 : 15	4 : 4 5 : 1 Abs : 6 PV : 4
Cassebreuil 11	4	Callune Molinie	25-50	0 : 18 1 : 6 2 : 47 3 : 23	4 : 2 5 : 2 Abs : 1 PV : 31
Conveau 9c	2	Callune Molinie	0-30	0 : 9 1 : 12 2 : 44 3 : 26	4 : 3 5 : 1 Abs : 6 PV : 16

0 : Ne peut pas juger, 1 : Vert et vigoureux, 2 : Vert clair et moyennement vigoureux, 3 : Jaunâtre et peu vigoureux, 4 : Dépérissant, 5 : Mort, Abs : Absent, PV : attaque puceron vert sur l'ensemble des plants

Nous pouvons remarquer que seulement 22% des plants analysés sont vigoureux et sont bien verts. Tandis que 45 % des plants analysés sont d'un vert plus pâle et moyennement vigoureux, 13 % sont jaunâtres et 25 % des plants sont attaqués par des pucerons verts.

Pour la plupart des parcelles, nous sommes sur des sols à végétation de fond à base de Callune et Molinie. Ainsi, mises à part quelques poches, l'accroissement moyen N-1 et l'état sanitaire sont plus ou moins homogènes sur les parcelles dans leur intégralité.

Toutefois, nous avons pu remarquer un lien entre l'accroissement N-1 des plants, l'état sanitaire et la végétation spontanée sur les parcelles où la végétation variait de façon plus importante d'un point à un autre.

Ce phénomène est visible sur les parcelles 11 de Cassebreuil et 10,01-10,04 de Malaunay. Il est illustré sur les Figure 30 et 31 ci-dessous.



Accroissement plus important



Plants plus verts et vigoureux



Sur les zones où les groupes de végétation 3, 5 et 6 dominant

Figure 30 : Cartographies des accroissements N-1, de l'état sanitaire et de la végétation dominante (PF 10,01-10,04)

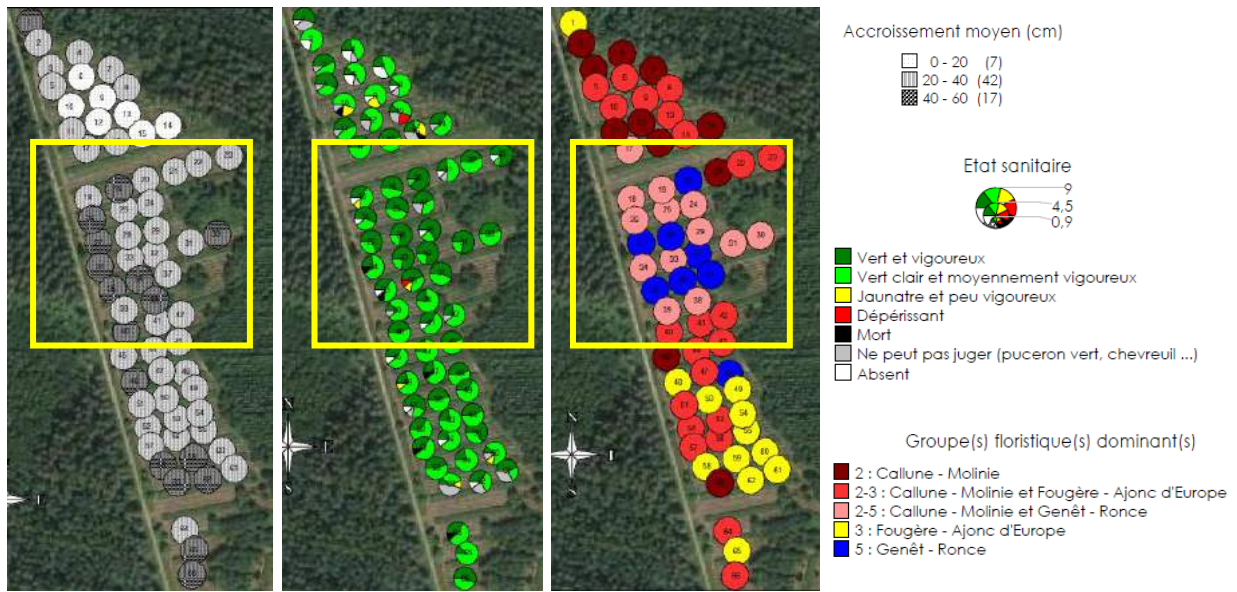
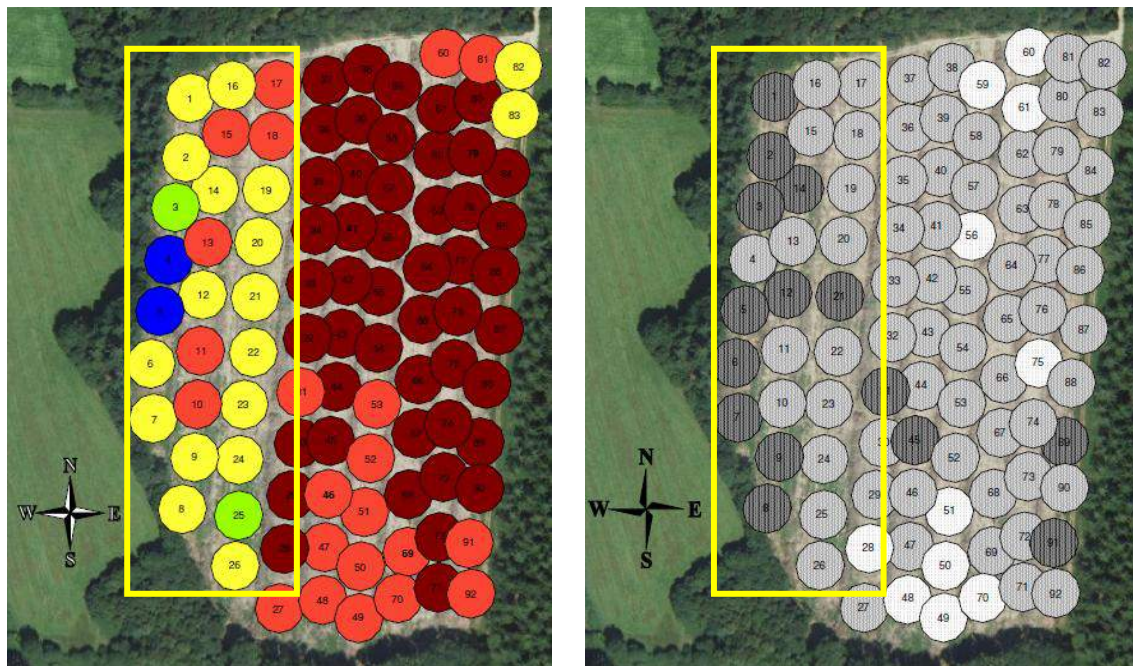


Figure 31 : Cartographies des groupes floristiques dominants et de l'accroissement moyen (PF 11)



2) Prélever les échantillons de sol

Les prélèvements de sols doivent se faire sur des stations relativement homogènes. Ainsi, nous avons subdivisé certaines parcelles en sous-parcelles suivant les groupes de végétation dominants au sol, Figure 32. En effet, ce facteur est le plus parlant en termes d'indication du niveau de fertilité du sol et c'est celui qui permet de ressortir de réelles zones distinctes sur le terrain.

Une fois toutes les zones homogènes délimitées sur les cartes, nous avons procédé aux prélèvements de sol.

Au total, neuf échantillons de sol ont été prélevés :

- Malaunay : 1 sur la PF 7,02, 3 sur la PF 10,01-10,04 et 1 sur la PF 17,02
- Cassebreuil : 1 sur la PF 11 et 1 sur la PF 5p
- Conveau : 1 sur la PF 9c et 1 sur la 7a

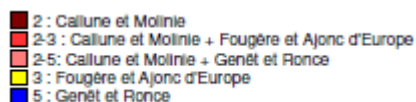
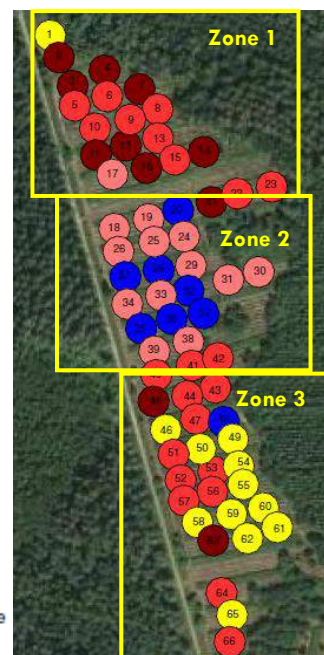


Figure 32 : Zone de variation de la végétation (PF 10,01-10,04)



Afin de maintenir sa représentativité lors des différentes étapes analytiques, nous avons réparti uniformément 5 points de prélèvements par zone homogène. Les prélèvements ont été réalisés à la tarière pédologie sur une couche de 15 cm (en enlevant la matière organique superficielle).

Grâce à des modèles mathématiques d'extrapolation mis au point par l'INRA à la suite de nombreuses réalisations d'analyses de sol, les 15 premiers centimètres de sol suffisent pour l'analyse et pour estimer les stocks sur 70 cm.

Nous avons mis les 5 prélèvements faits sur chaque zone homogène dans un récipient commun et les avons homogénéisés.

Le laboratoire demande de constituer un échantillon moyen de 0,5 à 1 kg de sol frais. Ainsi, dans une enveloppe hermétique et bien identifiée, nous avons prélevé entre 500 à 750 g de sol par échantillon et les avons envoyés au Laboratoire d'Analyses des Sols d'Arras. Par mesure de sécurité, nous avons aussi gardé un échantillon de chaque prélèvement de sol.

3) Analyser au laboratoire d'Arras avec REGESOL

Les analyses suivantes ont été demandées au laboratoire (code analytique et libellé) :

- 🔍 SOL-0101 : Prise en charge de l'échantillon
- 🔍 SOL-0103 : Préparation des sols
- 🔍 SOL-0201 : Teneur en eau résiduelle à 105°C
- 🔍 SOL-0301 : Eléments grossiers (terre fine < 2mm, graviers 0.2-2cm ; cailloux 2-20cm)
- 🔍 SOL-0302 : Granulométrie 5 fractions sans décarbonatation
- 🔍 SOL-0406 : Carbonate (C) total et azote (N) total

- 🔍 SOL-0501 : pH eau
- 🔍 SOL-0503 : pH KCl N
- 🔍 SOL-0603 : Phosphore (P₂O₅) – méthode Duchaufour (s’applique aux sols forestiers)
- 🔍 SOL-0709 : Extraction au chlorure de cobaltihexammine
- 🔍 SOL-0710 : Capacité d’échange cationique cobaltihexammine (spectrocolorimétrie)
- 🔍 SOL-0717 : Protons (H⁺) échangeables à la cobaltihexammine (titrimétrie)
- 🔍 SOL-0719 : Ca, Mg, Na, Fe, Mn, Al échangeables à la cobaltihexammine

Suivant les éléments qui ressortent des analyses, L’INRA a élaboré un logiciel, REGESOL, permettant de calculer les capacités nutritionnelles grâce aux résultats des analyses de sols et différents paramètres (essences, humus, type de sol etc.).

4.6. L’interprétation des résultats et estimation des besoins

🌳 Des résultats grâce au logiciel REGESOL

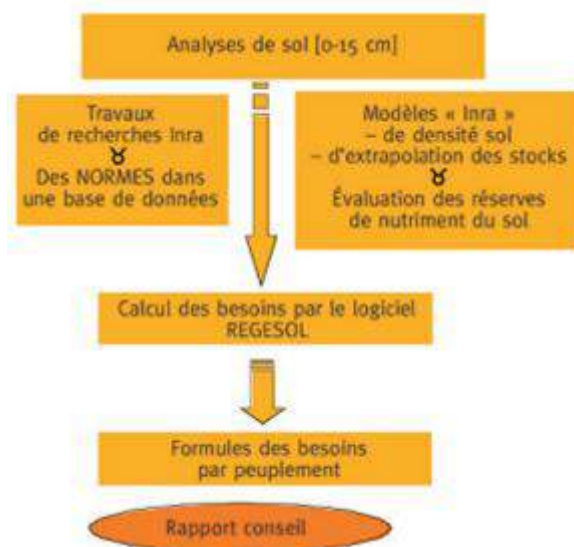
A partir des résultats des analyses des échantillons de sol, REGESOL est capable de calculer les besoins en amendement (quantité par élément minéral) d’un sol en vue de restaurer son fonctionnement, Figure 33.

La modélisation à la base de ce logiciel utilise les données de plus de 700 profils de sol des réseaux forestiers : RENECOFOR, réseau européen, INRA, etc.

Elle tient compte des entrées (pluies et dépôts atmosphériques, retours par la décomposition des rémanents) et des départs (immobilisation dans le bois, exportations, drainage en profondeur).

REGESOL fournit en sortie les stocks de nutriments existant dans le niveau 0-70 cm et en déduit les besoins en amendement selon le type et l’âge du peuplement envisagé. Cette méthode d’estimation et de calcul des apports a été mise en œuvre dans plusieurs forêts (A. Brêthes, C. Nys, R. Collet, 2009).

Figure 33 : Calculs basés sur le concept de cycles des nutriments, Alain Collet, INRA



M. Bonneau, dans son livre *Fertilisation des forêts dans les pays tempérés, 1995*, a établi des normes afin d’estimer la fertilité chimique des sols par interprétation des analyses de prélèvement de sol, Tableau 4.

Les apports envisagés devront permettre d’atteindre le seuil de la norme de base, c’est-à-dire d’obtenir des sols à fertilité moyenne. Ce tableau nous a donc servi d’appui afin d’analyser nos résultats.

Tableau 4 : Valeurs repères pour l'appréciation de la fertilité du sol en cation échangeables, en phosphore assimilable, et pour la CEC, Bonneau 1995

	Potassium	Magnésium	Calcium	Phosphore	CEC
	K m.eq (c.mol.+ /kg)	Mg m.eq (c.mol.+ /kg)	Ca m.eq (c.mol.+ /kg)	Méthode Duchaufour (g/kg)	cmol+ /kg
Horizons minéraux					
Pauvres	<0,12	<0,15	<0,3	<0,07	<10
Bien pourvus	>0,20	>0,25	>1	>0,14	>25

 **L'extrême pauvreté de nos résultats**

Les résultats de nos analyses de sol reçus par le laboratoire sont similaires voire inférieurs aux analyses de sols qui ont été réalisées en 2011-2012 par M. Nys sur huit sites du Finistère dans le cadre d'une étude commandée par le CETEF29. Nous avons comparé les résultats bruts, reçus par le laboratoire, avec les seuils du Tableau 4.

Ces comparaisons mettent en évidence des carences extrêmes en particulier en Calcium, Magnésium et Phosphore et des insuffisances en Potassium.

Le Tableau 5 ci-dessous nous indique la moyenne des quantités de différents éléments nutritifs que l'on a trouvés sur l'ensemble des échantillons de sols, analysés dans les Côtes d'Armor et le Finistère, en comparaison aux seuils présentés au-dessus. Vous pourrez apprécier les résultats bruts des neuf échantillons analysés en laboratoire en Annexes 12.

Tableau 5 : Comparaison par rapport aux seuils de la quantité moyenne de K, P2O5, Mg et Ca dans les échantillons des Côtes d'Armor, 2016, et du Finistère, 2011

	K ⁺ cmol+ /kg	Seuils	P ₂ O ₅ g/kg	Seuils	Mg ⁺⁺ cmol+ /kg	Seuils	Ca ⁺⁺ cmol+ /kg	Seuils	CEC
Côtes d'Armor 2016	0,114	Pauvre <0,12	0,045	Pauvre <0,07	0,204	Pauvre <0,03	0,280	Pauvre <0,08	5,27
Finistère 2011	0,141	Bien pourvu >0,20	0,137	Bien pourvu >0,14	0,268	Bien pourvu >0,05	0,277	Bien pourvu >0,28	7,69

 Pauvre  Moyennement pourvu  Bien pourvu

Les résultats montrent que nous sommes bien en présence de sols extrêmement acides, le pH moyen de nos échantillons étant de 4,35, pour des valeurs allant de 3,97 à 4,68.

Toutefois, ces résultats et ces seuils sont des valeurs « brutes » ne tenant pas compte du type de sylviculture. Il s'agit de chiffres pour des sylvicultures traditionnelles, c'est à dire extensives avec de faibles exportations.

Tableau 6 : Valeur de la CEC et de l'Aluminium

Un autre critère montrant qu'il s'agit de sols pauvres est la CEC. Concernant des sols limoneux, très faiblement pourvus d'argile, nos résultats montrent une CEC (Capacité d'Echange Cationique) très basse et inférieure au Finistère : 5,27 cmol⁺/kg.

Or, celle-ci représente la taille du réservoir permettant de stocker les cations fertilisants (potassium, magnésium, calcium).

De plus, nous remarquons dans le Tableau 6 que la CEC est composée de 70 à 90 % d'Aluminium.

Sur nos sols très acides, l'aluminium se trouve sous formes d'hydroxydes d'alumine, très toxique pour les arbres. L'effet toxique de l'aluminium intervient au niveau des racines. Il agit en bloquant le phosphore qui s'insolubilise à l'état de phosphate d'aluminium et en limitant l'absorption de Ca et Mg. L'excès d'aluminium entraîne un ralentissement de la croissance de la plupart des arbres dont les racines s'atrophient, s'épaississent et s'enroule sur elles-mêmes.

PF	CEC (cmol ⁺ /kg)	Al (cmol ⁺ /kg)	% de Al dans CEC
7,02	4,99	3,75	75%
10,01	4,4	3,77	86%
10,01	4,33	2,88	67%
10,01	5,3	3,98	75%
17,02	6,47	5,69	88%
11	4,31	3,72	86%
5p	4,21	3,36	80%
9c	6,71	5,36	80%
7a	6,75	4,5	67%

Aussi, nous avons remarqué, comme nous nous en doutions, une différence dans les résultats suivant la végétation dominante au sol au sein d'une même parcelle.

En effet, comme nous l'avons indiqué sur la Figure 32 p.53, la parcelle forestière 10,01-10,04 se découpe en trois zones distinctes : Zone 1 – Callune/Molinie, Zone 2 : Callune/Molinie et Genêt/Ronce et Zone 3 : Callune/Molinie et Fougère/Ajonc d'Europe.

Les résultats montrent des quantités d'éléments nutritifs bien inférieurs sur la partie où la Molinie et la Callune dominant ; les zones 2 et 3 atteignant jusqu'à 3 fois le taux en éléments nutritifs de la zone 1, Tableau 7.

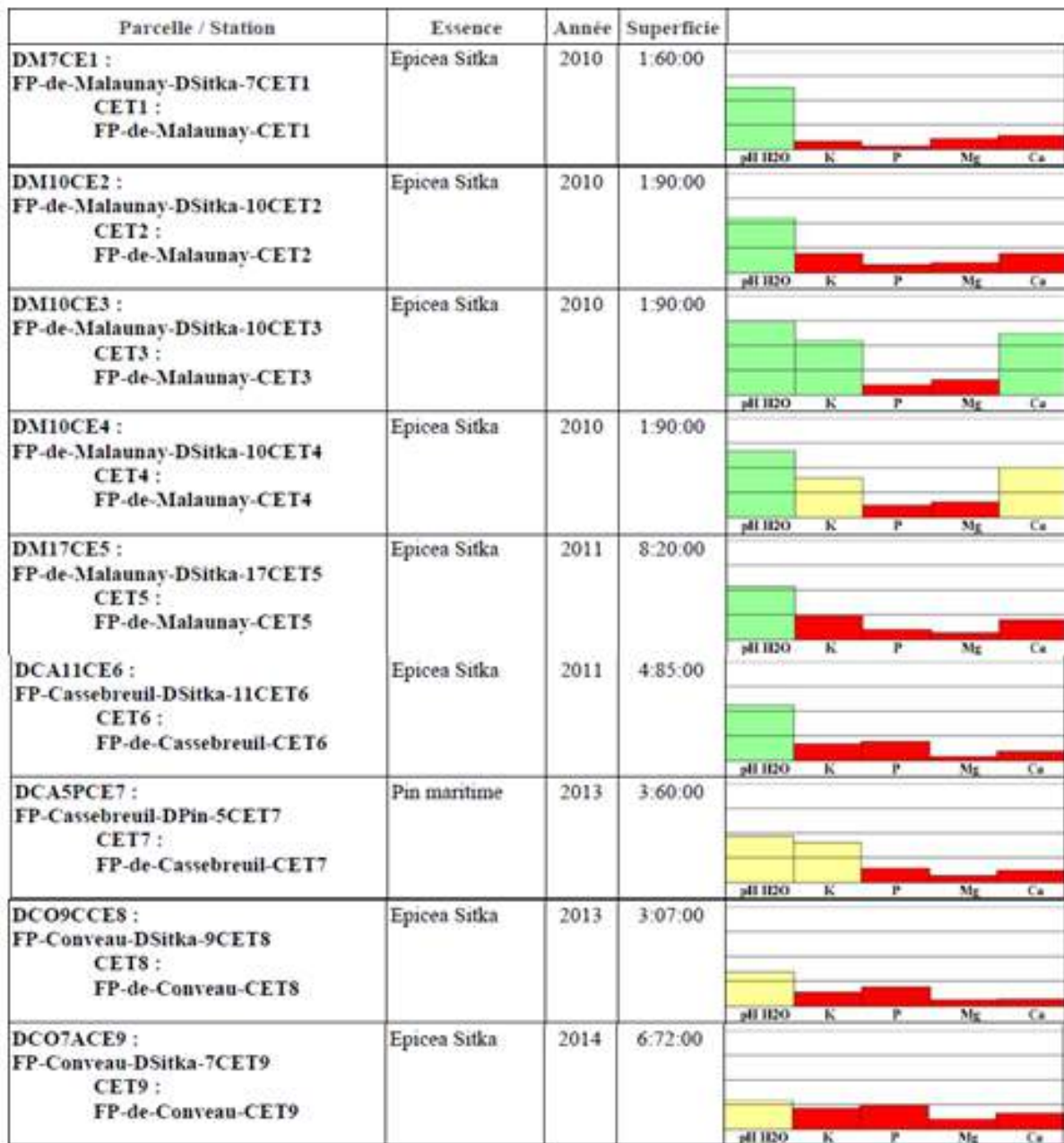
Tableau 7 : Comparaison au sein d'une même parcelle (PF 10,01-10,04) de la quantité des éléments nutritifs suivant la végétation dominante

10,01-10,04	pH eau	pH KCl	N g/kg	P ₂ O ₅ g/kg	K ⁺ cmol ⁺ /kg	Ca ⁺⁺ cmol ⁺ /kg	Mg ⁺⁺ cmol ⁺ /kg
Zone 1	4,39	3,73	1,01	0,02	0,08	0,181	0,18
Zone 2	4,68	3,91	1,27	0,04	0,17	0,657	0,24
Zone 3	4,57	3,78	1,15	0,04	0,12	0,459	0,26

Nos besoins à la vue des calculs réalisés par REGESOL

L'encodage de nombreux fichiers dans le logiciel REGESOL a permis de sortir une interprétation graphiquement de la richesse de nos sols (Figure 34) ainsi qu'une estimation des besoins en produits suivant le type de sylviculture que nous exerçons. L'ensemble des résultats se trouvent dans le dossier de l'Annexe 13.

Figure 34 : Interprétation graphique de la richesse du sol de nos sols en prenant en compte l'andainage et les essences



TRES DEFICIENT

DEFICIENT

SUFFISANT

Ces graphiques montrent que les sols sont quasiment systématiquement déficients en Calcium, Magnésium, Potassium et Phosphore.

Les formules de nos besoins, soit, la quantité et la composition de l'amendement ont été évaluées par REGESOL pour chacun des sites à partir :

- Des analyses du sol
- Du calcul de la fertilité de la station
- Du peuplement (essence, âge etc.)
- Du type de sylviculture
- Des éléments immobilisés dans la Biomasse

- Des retours par humus, rémanents, pluies
- Du drainage

Etant en présence de plantations de 2^{ème} génération de futaies résineuses à croissance rapide ayant subi des andainages « décapants », nous sommes dans un modèle de sylviculture « dynamique » ; c'est-à-dire qui exportent environ 50% de rémanents aux éclaircies. Les estimations de nos besoins en éléments nutritifs par parcelle, calculées par REGESOL, sont détaillées dans le Tableau 8 ci-dessous.

Des valeurs butoirs sont introduites dans le logiciel REGESOL pour le CaO, le K₂O et le P₂O₅ afin de limiter les apports même si les résultats indiquent des besoins plus élevés.

Pourquoi ces valeurs butoirs ? Qu'est-ce qui se passerait si on apportait entièrement les besoins calculés ? La réponse est que nous pourrions avoir un effet sel, une acidification et autres phénomènes qui feront probablement des dégâts dans la plantation sauf si nous apportons un peu de phosphore chaque année comme en agriculture. Pour le Potassium, le sol se comporterait comme une passoire et nous perdriions ce dernier vers les nappes car c'est un élément très mobile, de plus cela provoquerait probablement des échanges cationiques et évacuerait le Magnésium et un peu de Calcium, ce qui n'arrangerait pas la fertilité...

Tableau 8 : Besoin par parcelle en oxyde (Kg/ha) pour une plantation avec décapage de l'humus

	CaO		K ₂ O		MgO	P ₂ O ₅	
	Valeur Calculée	Valeur butoir	Valeur Calculée	Valeur butoir	Valeur Calculée	Valeur Calculée	Valeur butoir
PF 7,02 CETEF 01	1419,03	2000	1191,01	100	393,3	768,07	100
PF 10,01 CETEF 02	1070,48		671,33		230,51	631,68	
PF 10,01 CETEF 03	568,24		465,22		188,98	609,25	
PF 10,01 CETEF 04	793,33		571,56		189,03	590,62	
PF 17,02 CETEF 05	1050,06		565,12		238,55	575,68	
PF 11 CETEF 06	1253,72		879,36		311,64	625,85	
PF 5p CETEF 07	1022,89		503,36		232,42	543	
PF 9c CETEF 08	1230,15		782,43		276,51	558,58	
PF 7a CETEF 09	1182,36		843,41		272,52	575,11	
Moyenne	1066	2000	719	100	259	609	100

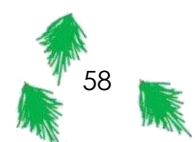
Ainsi, comme le montre le tableau, toutes nos parcelles atteignent la valeur butoir de 100 kg/ha pour le P₂O₅ et K₂O. Seules les quantités de MgO et de CaO à apporter varient.

Nos expérimentations concernent des reboisements installés depuis 1 à 5 ans, sans fertilisation de départ, nous sommes donc dans le modèle d'une « fertilisation de correction » qui vise à corriger une carence manifeste.

Les apports envisagés devront permettre d'atteindre le seuil de la norme de base, c'est-à-dire obtenir des sols à fertilité moyenne, il n'est pas question de transformer des sols acides en sols riches et de proposer des apports massifs ne prenant en compte ni le sol ni les peuplements.

Afin de restaurer la fertilité minérale des sols de manière durable et assurer la croissance de l'arbre avec les nutriments essentiels durant plusieurs années, il est indispensable d'apporter des éléments qui resteront disponibles à long terme dans le sol.

C'est pour cela que notre choix devra se porter sur des matériaux naturels à faible solubilité et de préférence à granulométrie importante.



5. La mise en place du dispositif de fertilisation

La mise en œuvre de la fertilisation dépend à la fois des conditions sylvicoles, des moyens dont on dispose et des caractéristiques de la station. Le type d'engrais à employer et la technique d'épandage seront différents suivant qu'il s'agit d'une plantation ou d'un peuplement adulte, suivant qu'on prévoit ou non un travail généralisé du sol, qu'on est capable ou non de maîtriser la croissance de la végétation concurrente (Bonneau, 1995).

Dans tous les cas, les objectifs à atteindre sont :

- Appliquer des doses optimales afin de restaurer une alimentation minérale équilibrée
- Appliquer ces doses sous des formes qui puissent être prélevées suffisamment rapidement et/ou améliorer à long terme le fonctionnement de l'écosystème
- Réaliser une fertilisation à moindre coût

5.1. A la recherche du produit et de son fournisseur

Au vu des multiples formes et compositions de produits fertilisants, il existe diverses entreprises qui proposent ou fabriquent des engrais et des amendements.

Afin d'avoir une première réponse sur les matériaux utilisés en forêt et étant, en France, en retard sur ces problématiques là, j'ai sollicité des organismes, des scientifiques et des entreprises à l'étrangers (Irlande, USA, Nouvelle Zélande, Allemagne, Maroc etc.). Parmi les réponses reçues, il en est ressorti que :



L'Irlande utilise principalement le phosphate naturel « Rock Phosphate »



Les USA travaillent avec du DAP (phosphate de diammonium), du MAP (Phosphate de monoammonium) et du phosphate naturel



La Nouvelle Zélande utilise du DAP, du superphosphate, du triple superphosphate et du phosphate naturel

Nous savons depuis longtemps que les sols de l'Ouest de la France sont nettement plus pauvres que ceux de la partie Est et que, comme en Irlande, le phosphore est généralement l'élément nutritif limitant dans les plantations et semis (Bonneau, 1995, 2005).

Grâce aux études antérieures, nous avons une connaissance approximative de nos besoins. Ainsi, avant même d'avoir reçu les résultats de nos analyses, j'ai sollicité de nombreux fabricants et vendeurs de fertilisant et d'amendement, en France, intéressés et susceptibles de répondre favorablement à nos attentes et notamment Timac Agro.

Timac Agro est un fabricant et commerçant de fertilisants et spécialités nutritionnelles pour les cultures et animaux, implanté aujourd'hui dans plus de 42 pays.

En effet, tenant compte des éléments qui sont ressortis des analyses, des préconisations formulées par REGESOL et de sa gamme de produit, l'entreprise Timac Agro a été capable de répondre à nos besoins. Nous avons donc travaillé en collaboration avec M. Tourlière, Chef Produits Production Végétale à Timac Agro, pour échanger sur les produits correspondants au mieux à nos attentes, sur leurs dosages et sur les différentes modalités qui en découlent.

Au vu des résultats, il est nécessaire d'apporter du Phosphore, Potassium, Calcium et Magnésium dans nos sols. Les produits retenus répondant au mieux à nos besoins sont :

 **Le PHYSALG 15-10**

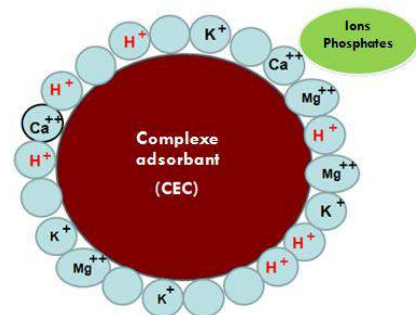
Les Physalg 15-10 est un engrais PK contenant du Calcimer à base de phosphate naturel tendre et de Potassium. Il est composé de 15 % de P₂O₅ et 10 % de K₂O et environs 30% de CaO. Il accélère la minéralisation des matières organiques du sol par une stimulation nutritionnelle de l'activité bactérienne et intensifie le développement racinaire. Sa forme granulée permet une diffusion des éléments plus lente.

- **Calcimer** : c'est un amendement minéral basique naturel (calcaire marin).

Ce produit a quatre actions principales : l'entretien du pH du sol, la biodisponibilité des éléments fertilisants, la minéralisation soutenue pour libérer le potentiel de fertilité des sols et l'amélioration de la qualité minérale des parcelles.

Les ions calcium jouent un rôle essentiel dans la saturation du complexe adsorbant, le maintien de l'activité biologique et servent de « pont » pour fixer le phosphore sur le complexe adsorbant, Figure 35.

Figure 35 : Pont calcique



Petite notion de chimie pour mieux comprendre, Figure 36:

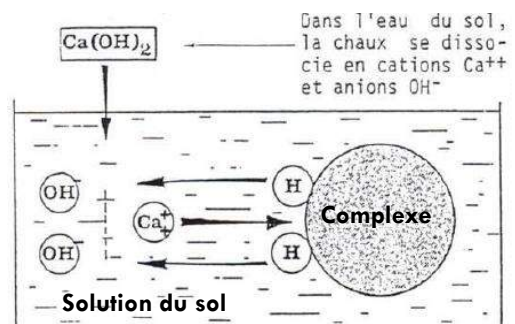
Lorsque l'on introduit un amendement calcique dans le sol, ses molécules se dissocient :



La concentration en Ca⁺⁺ augmente dans la solution du sol et cette concentration se communique au complexe. Un Ca⁺⁺ prend la place de deux ions H⁺ sur le complexe. Ces dernier, dans la solution se combinent aux anions OH⁻ apportés par l'amendement pour former de l'eau, voir le schéma ci-dessous.

Cette neutralisation d'ion H⁺, par un amendement calcaire, fait donc baisser l'acidité du sol (*La chimie du sol, chapitre V, 2013*). Dans un sol équilibré, le calcium occupe 60% du complexe adsorbant.

Figure 36 : Echange d'ions entre le complexe et la solution du sol, *Chimie du sol, 2013*



- **Le potassium** : il permet le développement rapide de la surface foliaire. Il favorise la circulation de la sève et régule la transpiration de l'eau. Le potassium améliore ainsi la résistance des plantes aux stress (*L'équilibre de la nutrition, UNIFA*). Le symptôme typique de la déficience en potassium qui est le jaunissement partiel voire complet des aiguilles a bel et bien été remarqué sur nos parcelles (*Nutrient requirements in forestry, teagasc, 2015*).

- **Le phosphore** : il entre dans la composition de nombreuses molécules essentielles à la multiplication des cellules, la respiration et la photosynthèse. Il favorise la vigueur au démarrage et la croissance du jeune système racinaire, or, nos sols en sont insuffisamment pourvus (*Phosphore, élément nutritif indispensable, n°25 UNIFA*).

A l'exception des scories Thomas issus de la sidérurgie des minerais de fer phosphoreux, les engrais phosphatés sont tous issus de la transformation de phosphates naturels.

La racine prélève le phosphore sous forme d'ions ($H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-}) dissous dans la solution du sol. Cependant, ces ions sont peu mobiles (leur diffusion dans le sol est très faible : 1 à 2 mm autour des racines) et sont présents à très faible concentration dans la solution du sol. Ainsi, les racines doivent se ramifier et s'allonger continuellement pour rechercher du phosphore (Pierre-Yves Tourlière, Timac Agro).

De plus, les engrais phosphatés qui sont incorporés au sol, même s'ils sont solubles, s'immobilisent en général rapidement. Dans nos sols acides ($pH < 5$), les ions phosphore précipitent en phosphates d'aluminium insolubles. Le phosphore libéré par le complexe sera donc plus ou moins utilisable selon les conditions de pH (Chapitre V, La chimie du sol, 2013).

Les principaux types d'engrais phosphatés sont résumés dans le Tableau 9 :

Tableau 9 : Types d'engrais phosphatés

Solubilité	Nom de l'engrais	Action	A utiliser en sol ...
Insolubles	Phosphates naturels	Lente ¹	Acide voire neutre
Hyposolubles	Scories Phospal Phosphate bicalcique	Libération ralentie et progressive	Acide à neutre Neutre à basique Tous types de sols
Solubles	Phosphate d'ammoniaque Superphosphates	Rapide ²	Tous types de sols

¹Signifie que l'engrais ne peut être dissous par l'eau donc a besoin d'être dissous d'une autre façon (micro organisme ou acidité du sol)

²Signifie qu'il est soluble dans l'eau. C'est le plus facilement disponible pour les plantes

Le QUALIBREIZ

Le Qualibreiz proposé par Timac Agro est un amendement calcaire (CALCIMER) magnésien mixte en poudre. Il contient 45 % de CaO et 13% de MgO.

Il permet de compléter l'apport de CaO du produit Physalg afin d'atteindre les quantités préconisées par REGESOL et d'apporter le magnésium nécessaire.

Le Magnésium a un rôle fondamental comme constituant de la chlorophylle. Il est fixé en petite quantité sur le complexe, dans un sol équilibré, Mg représente 5 à 10 % de la CEC.

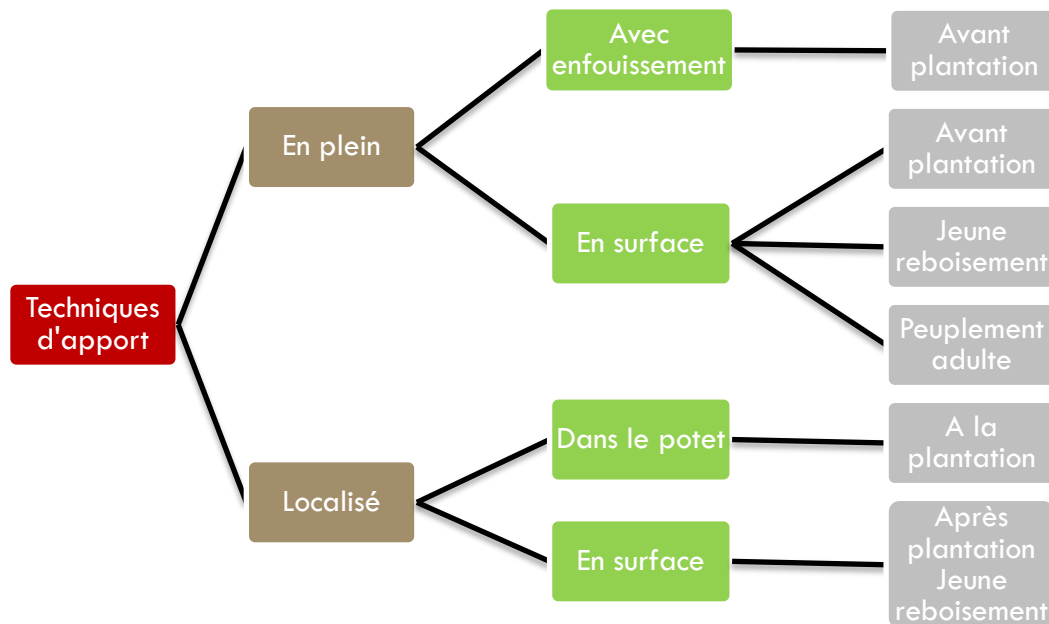
Le Calcium et le Magnésium participent grandement à l'amélioration du fonctionnement nutritionnel des sols. Ils agissent en abaissant l'acidité de surface et en améliorant la minéralisation de la matière organique.

Le Physalg 15-10 est un engrais (PK) comportant un amendement Calcaire. Son double rôle lui permet de posséder tous les avantages qui vont avec. Ce produit, complété par du QUALIBREIZ, serait donc très efficace sur nos sols pour apporter les éléments nutritifs indispensables, permettre une meilleure minéralisation de nos humus de type Dysmoder/Mor, neutraliser les ions H^+ , insolubiliser les ions Al et favoriser la fixation du Phosphore, facilitant ainsi son absorption par les végétaux.

5.2. Les modes d'apport : Quand, comment ?

Les techniques applicables diffèrent suivant qu'on envisage une fertilisation localisée au pied des plants ou en plein, avant ou après plantation et suivant la granulométrie des produits. Les différents cas de figures sont expliqués ci-dessous.

Ci-dessous, nous pouvons observer différentes modalités d'épandage :



Il est évident que c'est une fertilisation en plein, enfouie par un travail du sol, qui mettra le plus facilement à la disposition des racines les éléments nutritifs. Toutefois, il est préférable d'enfouir les éléments minéraux à 30 ou 40 cm de profondeur afin d'éviter de favoriser la végétation concurrente. Ce mode de fertilisation n'est recommandé et rentable que si les entretiens sont mécanisés (Bonneau, 1966).

Pour épandre les engrais et amendements, trois techniques peuvent être employées allant d'un apport manuel à un apport aérien.

Épandage au sol

- **Manuel** : C'est en général le plus coûteux mais le seul possible pour la fertilisation appliquée au pied des plants. Il peut être aussi employé pour un épandage en plein, mais cette méthode est à réserver pour des petites surfaces comme des parcelles expérimentales car cela représente un travail contraignant et coûteux. Un ouvrier épand environ 50 à 70 kg/heure suivant la facilité du terrain (Bonneau, 1995). Il est préférable d'utiliser des granulés, qui sont plus maniables et faciles à jeter de façon homogène.

- **Tracteur agricole (semoir rotatif ou alternatif)** : Cette méthode convient pour de petites surfaces, à faible pente et sans obstacle, Figure 37. Il est préférable d'utiliser cette méthode à condition que dans un peuplement adulte, la densité soit faible et que les arbres

soient suffisamment élagués pour permettre un passage facile et dans une plantation, que les arbres soient suffisamment petits pour que l'épandeur soit au-dessus d'eux (Bonneau, 1995).

Cet apport nécessite de parcourir la totalité de la surface de la parcelle d'où des contraintes liées au peuplement en place et au risque de tassement du sol (A. Brêthes et al., 2009). Toutefois, c'est une méthode qui est peu coûteuse.



Figure 37: Epandage avec tracteur équipé d'un semoir rotatif, photo de l'ONF

▪ **Machine soufflante :** Cette méthode est réalisée par un flux d'air qui souffle le matériau, Figure 38. La projection peut se faire sur une distance de 25 mètres à 30 mètres pour maintenir un apport homogène (A. Brêthes et al., 2009). Ce mode d'épandage permet de rester sur les cloisonnements d'exploitation.



Figure 38 : Epandage avec tracteur équipé d'une turbine, Photo Université catholique de Louvain

La soufflerie s'utilise sur une parcelle accessible à « sol nu », sur de jeunes plantations qui ne dépassent pas une hauteur de 80 cm et dans les peuplements adultes à densité moyenne ou faible pente (Bonneau, 1995).

Les contraintes essentielles de ces deux derniers modes d'apport sont liées au peuplement (impossible pour des peuplements denses), à la topographie (circulation du tracteur) et au temps (éviter les périodes de grand vent).

Epandage aérien

▪ **Avion et l'hélicoptère :** Cette technique est utilisée dans des forêts peu parcourable au sol, Figure 39. L'USA, la Pologne, la Tchéquie disposent du matériel adapté à ce mode d'épandage. (*Technique d'apports d'amendements en milieu forestier, INRA*).



Figure 39 : Epandage par hélicoptère, source ONF

L'hélicoptère joue le rôle de porteur du semoir qui possède une trappe qui peut s'ouvrir automatiquement. L'ensemble est conçu pour que l'hélicoptère puisse rapidement, sans atterrir, poser une trémie vide et prendre en charge une trémie pleine. On ne peut envisager l'épandage que d'engrais granulé « robuste ».

Dans un chantier bien organisé, une rotation dure 2 à 3 minutes. Lors de cette rotation, un hélicoptère peut enlever une trémie allant de 400 à 700 kg.

La principale contrainte est économique. La rentabilité de cette opération dépend de l'organisation du chantier de chargement, du bon repérage de la zone d'épandage, de l'habilité du pilote et de la surface à traiter (Bonneau, 1995). Le rapport économique de ce procédé commence à partir d'une surface à traiter de 200-300 hectares et plus de 400 tonnes de produit avec une zone de stockage localisée à moins de 500 m (*Technique d'apports d'amendements en milieu forestier, INRA ; A. Brêthes et al., 2009*).

🌳 Quelle est la bonne période pour épandre ?

La question de la date d'apport ne se pose que si celui-ci a lieu après plantation, et il semble bien que le plus tôt soit le mieux, dans un sol encore meuble (*résultats de l'étude racinaire, Le Douglas, AFOCEL*).

Donc pour un apport de correction (2 à 5 ans après plantation), l'AFOCEL, dans son livre, nous indique qu'il est préférable de faire l'apport au printemps (avril/mai) peu avant le débourrement ou alors en automne, période optimum pour éviter à la fois les brûlures sur les jeunes feuillages, le contact avec les insectes émergents au printemps et pour bénéficier des eaux de pluies assurant les déplacements des produits dans le sol.

Au vu de la taille de nos parcelles, de nos besoins en produit et des moyens techniques et financiers que nous avons, les méthodes d'apport aériennes seront mises de côté. Pour cette étude, nous allons utiliser des produits en poudre et granulé. Ainsi, notre choix va se porter sur un épandage manuel et/ou un tracteur agricole. Idéalement, l'épandage sera effectué à l'automne ou printemps prochain.

5.3. Les dispositifs que nous allons tester

🌳 Les différentes combinaisons

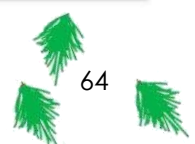
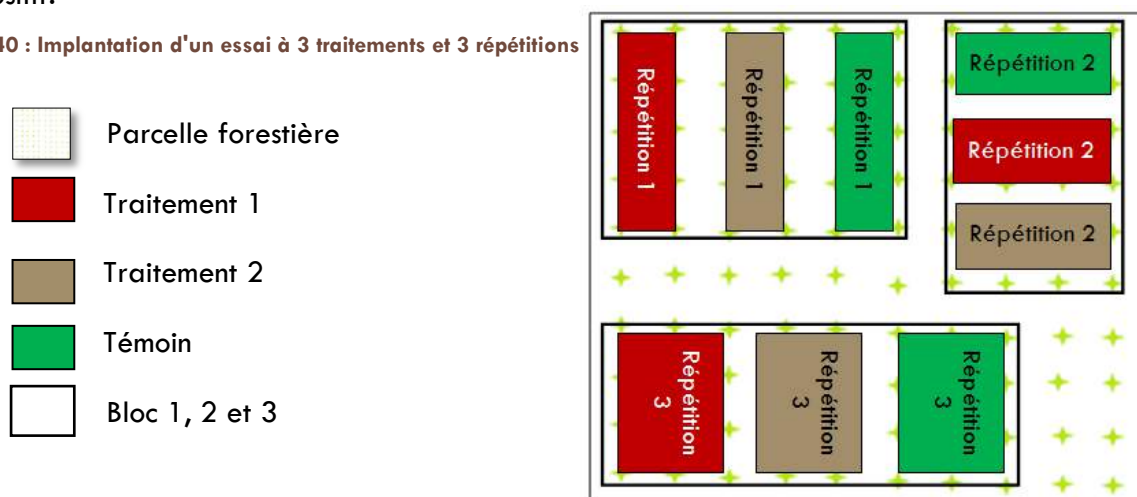
Une fois que l'on a déterminé les éléments nutritifs dont l'apport est nécessaire, les doses et les formes d'engrais les plus appropriés pour nos sols, nous avons réfléchi sur les différents dispositifs et traitements que nous allons mettre en place au sein d'une même parcelle.

On appelle traitement l'apport d'un ou plusieurs éléments, défini par un type d'engrais, une quantité appliquée, une méthode. L'absence d'apport (témoin) constitue aussi un traitement.

Chaque traitement va être appliqué de manière identique sur plusieurs placeaux au sein d'une même parcelle. La répétition du traitement va nous permettre de s'affranchir du manque éventuel d'homogénéité de la surface expérimentale et d'apporter plus de crédit aux résultats de nos essais.

Dans notre étude, trois traitements seront comparés et feront l'objet de deux ou trois répétitions. Cela fait donc un total de six à neuf placeaux sur une parcelle. Les conditions écologiques doivent être le plus homogènes possible à l'intérieur d'un même bloc (un bloc est composé d'une répétition de chaque traitement). La Figure 40 ci-dessous schématise le dispositif.

Figure 40 : Implantation d'un essai à 3 traitements et 3 répétitions

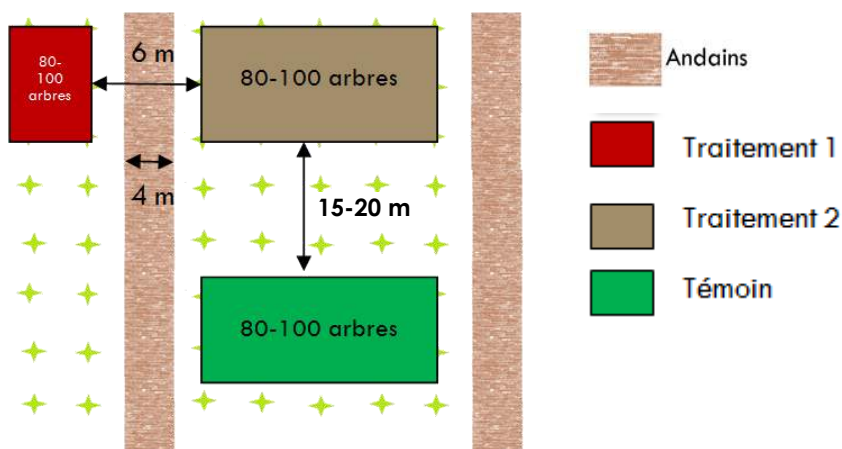


Dans chaque placeau, 80 à 100 arbres doivent être mesurés. Nos reboisements étant plantés sur cinq lignes entre deux andains cela correspond à un nombre de 16 à 20 plants par ligne. Nos plantations étant faites à un écartement de 3 m x 2 m, cela correspond à une surface de 360 à 456 m² pour la zone mesurée.

Il faut prévoir également une zone d'isolement autour des arbres mesurés, faisant la limite de la parcelle ou la modalité voisine.

Cette zone d'isolement sera formée par un andain entre les lignes soit une largeur totale d'environ 6 m (4 m d'andain + 1 m de chaque côté jusqu'à la première ligne de plantation) et d'environ 15-20 m entre les rangées, Figure 41.

Figure 41 : Zones d'isolement



Les trois traitements que nous allons appliquer sur chaque parcelle seront :

- 1) T : Témoin (absence d'apport)
- 2) PK CaMg : Physalg 15-10 et Qualibreiz 45-13
C'est un dispositif de fertilisation et d'amendement qui permet d'apporter les éléments et quantités recommandées par REGESOL
- 3) PK (+Ca) : Physalg 15-10
C'est un dispositif de fertilisation qui permet d'amener avec un seul produit du Calcium, du Phosphore et du Potassium

Au vu des valeurs butoirs, la quantité de Physalg 15-10 sera la même sur toutes les parcelles, c'est-à-dire 666 kg/ha. En ce qui concerne le traitement PK CaMg, seule la quantité du Qualibreiz va varier. Le traitement total à appliquer variera de 1,5 à 3,5 t/ha suivant les parcelles. L'ensemble des dispositifs sont représentés sur les fiches identités des parcelles en Annexe 14, 15, 16, 17, 18, 19 et 20.

Ainsi, deux produits (Physalg 15-10 et Qualibreiz) ont été retenus et trois traitements seront mis en place sur chaque parcelle. Le choix des produits et des dispositifs se sont fait de manière raisonnée pour permettre de combler l'ensemble des besoins estimés, tout en ayant à l'esprit que notre but est de restaurer la fertilité de nos sols à long terme et permettre aux cycles biogéochimiques des nutriments de la forêt de s'effectuer « normalement ». De nombreux dispositifs expérimentaux mis en place il y a parfois plus de 30 ans permettent de présenter des effets observés sur les écosystèmes forestiers amendés de façon raisonnée, en comparaison de témoins.

6. Les enseignements qui peuvent être tirés des essais

6.1. Quels bénéfices attendons-nous de l'amendement ?

Les carences et l'acidité des sols étant en général la cause principale du dépérissement des arbres en Bretagne ; leur correction procurera de multiples bénéfices pour le peuplement forestier et pour l'environnement.

Par son apport en éléments nutritifs (phosphore, potassium, magnésium et calcium) l'amendement Ca Mg et la fertilisation Pk que l'on apportera pourra avoir des effets sur :

La fertilité des sols

- Evolution de l'humus (mor/dysmoder → mull) : réduction de l'épaisseur des litières
- Amélioration légère des valeurs du pH (acidité)
- Amélioration de l'activité biologique
- Amélioration des valeurs du S/T (nutrition des sols)
- Disparition de la toxicité aluminique
- Maintien du phosphate sous forme plus facilement assimilable

La strate herbacée

- Amélioration de la biodiversité

Le peuplement

- Amélioration de la coloration et masse foliaire, Figure 42
- Augmentation de la masse de racine fine
- Meilleure résistance aux aléas et aux stress (gel, attaques parasitaires, sécheresse ou coups de chaleur)
- Favorisation de la régénération (effet à long terme non recherché immédiatement)
- Maintien / Augmentation de la production



Figure 42 : Amélioration de la masse foliaire après un essai réalisé dans les Côtes d'Armor

La productivité d'un peuplement dépend essentiellement de la fertilité du sol et du climat. En Bretagne des tables de production pour l'Epicéa de Sitka ont été éditées par le CRPF. Elles comportent sept classes de productivité (30, 27, 24, 21, 18, 15, 12) qui correspondent à l'accroissement moyen annuel en volume en m³/ha/an (obtenu entre 43 et 64 ans selon la classe de fertilité).

L'objectif principal de cette étude est le maintien de la classe de productivité du peuplement exploité, voire de gagner en productivité.

Les gains de production obtenus avec la fertilisation sont variables, mais peuvent être spectaculaires en stations pauvres. De nombreux articles scientifiques, mettent en avant, pour l'Epicéa de Sitka et l'Epicéa Commun, un gain en accroissement moyen annuel de 2,5-3 m³/ha/an, Tableau 10.

Tableau 10 : Gain en volume de différents essais

Article	Quelques aspects de la fertilisation forestière en Grande-Bretagne, F. Le Tacon, 1969	La fertilisation forestière, M. Bonneau, 1966	Fertilisation de peuplements adultes d'épicéa commun dans le massif central, C.Nys, 1984	Fertilisation, dépérissement et production de l'épicéa commun dans les Ardennes, C. Nys, 1989	Réponse d'un peuplement adulte d'épicéa commun à la fertilisation dans le limousin, C. Nys, 1981
Essence	Epicéa de Sitka	Epicéa commun	Epicéa commun	Epicéa commun	Epicéa commun
Produits	P ₂ O ₅	Engrais phosphatés	Azote	PCa, Ca, Scorie	Ca, Nca, NPKCa
Gain moyen par rapport au témoin	1,21 m ³ /ha/an	1,5 à 3,8 m ³ /ha/an	2 à 3 m ³ /ha/an	2,5 ; 3 ; 4,2 m ³ /ha/an	3 m ³ /ha/an

Avec un gain de 2,5 à 3 m³/ha/an, la fertilisation et l'amendement permettent donc à L'Epicéa de gagner jusqu'à une classe de productivité.

L'influence de la fertilisation sur la qualité des eaux

La fertilisation exerce une influence plutôt favorable sur la qualité des eaux en aval, avec, dans certains essais des teneurs en cations basiques relevées, un pH légèrement augmenté et une concentration en aluminium abaissées (Vosges, Mohamed Ahmed, 1992).

L'apport de calcium des bassins versants est même considéré comme un moyen durable de restaurer la vie biologique dans les lacs acidifiés dans les pays scandinaves.

Le fonctionnement écologique des ruisseaux forestiers repose en grande partie sur la décomposition des feuilles mortes qui tombent à l'automne. La matière organique produite à l'extérieur du cours d'eau sert de nourriture à une multitude d'organismes aquatiques. Dans les cours d'eau trop acides, les feuilles ne se décomposent presque plus. L'amendement permet d'améliorer la décomposition des litières et l'ensemble des organismes vivants dans les cours d'eau en bénéficie (Inra, juillet 2011).

Toutefois, il faut noter que certaines prescriptions sont imposées sur les périmètres de captage : interdiction de fertilisation des sols à l'intérieur du périmètre de protection rapprochée et réglementation des épandages à l'intérieur du périmètre de protection éloignée.

Une nutrition satisfaisante entraîne de nombreux effets positifs. De plus, cela permet une rapide fermeture du couvert après quoi, le cycle des nutriments peut commencer et les arbres sont en mesure de maintenir une croissance saine grâce à l'apport de nutriments à la fois par la litière et le sol (*Nutrient requirements in forestry-Teagasc*).

Les premières années, les changements sont très discrets mais peuvent refléter un début de changement dans le fonctionnement de l'écosystème. De nombreuses études montrent que de tels changements se font à l'échelle de la décennie. Il semble que l'action du phosphore puisse dépasser 10 ans et, dans certains cas, la différence entre le témoin et les parcelles amendées reste spectaculaire 20 voire 35 ans après une fertilisation (*Wareham, Allerston - Forestry Focus, INRA -Vosges 2013*).

6.2. Les effets secondaires de la fertilisation

Outre l'accroissement de la production et l'augmentation de la teneur en éléments nutritifs du sol, la fertilisation/amendement exerce de nombreuses influences favorables tant sur l'arbre qu'au niveau global de l'écosystème. Néanmoins, les conséquences de la fertilisation peuvent avoir un côté défavorable, notamment sur la qualité du bois et la forme des jeunes arbres.

Conséquences de la fertilisation sur la qualité des arbres

Il ne suffit pas de produire davantage de m³ de bois, il est nécessaire également de se préoccuper de la qualité du bois produit.

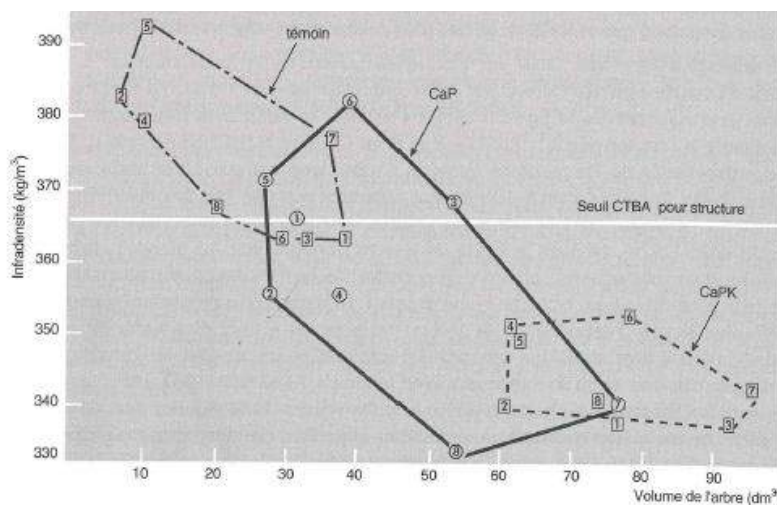
L'impact de la fertilisation sur la qualité du bois a été étudié par divers auteurs, notamment sur le Pin maritime. Cependant, c'est un sujet qui reste complexe et non totalement maîtrisé aujourd'hui par manque de données sur beaucoup d'espèces.

Le constat pouvant être fait est que tout ce qui modifie les conditions de croissance ou la forme d'un arbre peut modifier les propriétés du bois (Zobel & Van Buijtenen 1989). Ainsi, la fertilisation fait partie des principales opérations sylvicoles pouvant impacter les propriétés du bois, si celle-ci n'est pas effectuée de façon raisonnée. Les effets possibles de la fertilisation intensive pour les résineux sont (Jérôme Moreau 2010 d'après Macdonald & Hubert 2002) :

- **Augmentation de la croissance mais baisse de la densité du bois pour les résineux**

Des études ont montré que la densité du bois diminue sous l'effet de la fertilisation, ce qui fait varier les propriétés mécaniques (*Fertilisation forestière*, M. Bonneau, 1966). En effet, l'apport d'engrais augmente la largeur des cernes annuels et influe donc forcément sur la qualité du bois. Pour les résineux, c'est le bois de printemps qui augmente, ainsi le bois devient moins dense et sa résistance mécanique diminue (Bonneau 1995). Par exemple, Polge (1969) a mis en évidence une baisse significative de densité des Pins Maritime fertilisés en phosphore d'environ 7% par rapport aux Pins non fertilisés. Nepveu a confirmé par son étude de 1994 l'effet défavorable de la fertilisation sur la densité du bois des conifères, Figure 43.

Figure 43: Effet de différents types de fertilisation sur la densité du bois d'épicéa commun dans l'essai de Razès



Source Bonneau 1995, d'après Nepveu et al. 1994

Toutefois, Otha et al., en 1983, lors d'une étude sur les propriétés mécaniques du Pin Maritime à 15 ans ont montré que la fertilisation phosphatée ou phospho-potassique, augmente bel et bien la production mais n'entraîne pas de baisse considérable des

caractéristiques mécaniques. Il a été montré que c'est uniquement la largeur des cernes qui cause la diminution de résistance mécanique ; à largeur de cernes égales, un Epicéa fertilisé a une aussi bonne résistance qu'un témoin (*Bonneau 1995*).

▪ **Croissance irrégulière pouvant provoquer des déformations au sciage**

Des interrogations doivent aussi se porter sur l'influence défavorable qu'exerce la fertilisation sur la forme des arbres.

Bonneau (1971) a montré que la carence en cuivre sur le Douglas, qui se traduit par une forte sinuosité de la tige, apparaît plus fréquemment après fertilisation, notamment si l'on apporte une fertilisation complète. Des défauts de formes se retrouvent également sur des jeunes Pin Maritime dans les Landes (*Bonneau 1995*).

De Champs (1979) et Alazard (1980, 1981) observent que l'effet de la fertilisation favorise le polycyclisme* et la vigueur de l'arbre, entraînant des défauts de forme sur le Douglas et le Pin Maritime : manque de rectitude, décroissance plus forte de la tige, branches de fort diamètre, branches plus nombreuses entre les verticilles, nodosité* plus élevée. Mais ils notent aussi que ces défauts s'atténuent avec le temps.

▪ **Problèmes de stabilité liés à l'augmentation de la biomasse foliaire**

L'apport d'éléments nutritifs, comme nous l'avons dit dans le rapport, entraîne une augmentation de la masse foliaire. Ainsi, l'effet du vent sur un feuillage plus abondant engendre une flexuosité des troncs des jeunes arbres. L'augmentation de la biomasse foliaire peut favoriser les chablis dans les peuplements fertilisés.

L'influence de la fertilisation sur la flore

Une meilleure alimentation en éléments nutritifs après un amendement ou une fertilisation entraîne une évolution de la flore en abondance et en composition avec l'apparition d'espèces indicatrices de milieu plus fertile sans disparition des espèces acidiphiles présentes initialement.

Cet accroissement de la végétation concurrente peut être nuisible en ce qui concerne l'alimentation hydrique des plants. De plus, la recrudescence de l'Ajonc d'Europe, de la Fougère aigle ou du Chèvrefeuille peut gêner et provoquer de la mortalité chez les jeunes plants par écrasement. Il est donc important de contrôler la végétation efficacement.

Avec les dosages prescrits par REGESOL et dans le cas où la végétation se développe rapidement dans une plantation, le peuplement amendé poussera aussi beaucoup plus vite. Il y aura donc besoin plus de dégagement pour les deux ou trois premières années, puis le peuplement couvrira la végétation herbacée et les entretiens ne seront plus nécessaires.

Ainsi, il est préférable d'envisager la fertilisation en plein des plantations si l'on est sûr de pouvoir lutter contre la végétation concurrente. L'autre solution serait d'enfourer profondément les engrais par labour afin de les mettre à disposition des racines des jeunes arbres et non de la végétation adventice dont l'enracinement est plus superficiel.

Les éventuels effets négatifs des engrais sont le résultat de leur mauvaise utilisation plutôt que des propriétés intrinsèques de ces produits. Ainsi, il est important de trouver un équilibre entre les effets utiles et les effets indésirables qu'apporte la fertilisation aux milieux forestiers. Cela doit nous amener à bien réfléchir à l'ampleur qu'elle doit avoir, aux conditions où elle est utile, à se limiter à des doses raisonnables sans chercher forcément la croissance maximale des arbres et à prévoir des mesures nécessaires (dégagements, élagages etc.) pour éviter les effets défavorables qu'elle peut induire.

7. L'approche économique

Avant d'entreprendre des travaux de fertilisation et d'amendement, il faut estimer les dépenses que cela va engendrer par rapport aux gains de productivité escomptés

Pour cela, il faut prendre en compte le coût des produits, de l'épandage mais aussi des éventuels entretiens et analyses de sols supplémentaires.

Les prix affichés ci-dessous nous ont été donnés par les différents professionnels, ils nous permettent d'établir une approche économique de l'amendement, Tableau 11.

Tableau 11 : Coûts des produits, de l'épandage, des entretiens, des analyses de sol et le gain en production

Coût des produits HT					
Epandage	Matériaux	Quantité (t/ha)	Prix (€/t)	Coût (€/ha)	Coût (€/ha)
En plein	Physalg 15-10	0,666	394	262,40	507,47
	Qualibreiz	1,922	127,5	245,07	
Localisé (160 g/plant)	Physalg 15-10	0.05	394	21,09	40,78
	Qualibreiz	0.15	127,5	19,70	

Coût des techniques d'épandage HT				
Technique d'épandage	Plant/ha	Prix (€/plant)	INFO	Coût (€/ha)
Tracteur à semoir rotatif	1300		10ha/jour	100
Manuel		0,15	2ha/jour	195

Coût des analyses de sol		
Montant HT (€)	61,79	Coût TTC (€)
Montant HT + 10% frais gestion (€)	67,97	81,56
TVA	20 %	

Gain en accroissement moyen				
Essence	Gain moyen par rapport au témoin (m ³ /ha/an)	Gain sur 40 ans (m ³ /ha)	Prix moyen* (€/m ³)	Gain à 40 ans (€/ha)
Epicéa de Sitka	2,5	100	30	3000

* Estimation du prix moyen des bois vendus au cours de l'ensemble du cycle de production (éclaircies et coupe finale)

Ainsi, le coût du produit et de l'épandage en plein avec tracteur agricole s'élève entre 600€/ha et 700€/ha HT selon qu'on épand la totalité de l'amendement en un ou deux passages.

Les dégagements jusqu'à l'âge de 5 ans ne correspondent pas à un coût supplémentaire car ils doivent être effectués dans tous les cas.

Comparé au gain escompté qui s'élève à environ 3000 €, cela correspond à un taux interne de rentabilité de 3,7 % sur la durée de production.

8. Les étapes à venir ...

Cette étude est le « bâti » d'un long processus, ainsi, plusieurs étapes cruciales restent à venir par la suite afin de suivre son avancement des essais, de vulgariser l'étude et de la transposer pour les futurs reboisements. Il faut garder en tête que nous travaillons au rythme des cycles de production forestière, ainsi, un processus comme celui-là demande du temps et de la rigueur.



La mise en place des dispositifs

Comme préconisé dans le rapport, les essais devront être installés au mois d'octobre ou en avril-mai.

Pour l'ensemble des essais, environ 15 tonnes de Physalg 15-10 et 22 tonnes de Qualibreiz devront être commandés.

L'organisation des chantiers devrait se faire avec Jean-Yves Guimard, entrepreneur de travaux forestiers. Le choix s'est porté sur M. Guimard car il possède l'expérience nécessaire, il s'intéresse depuis longtemps aux enjeux de l'amendement et il intervient très souvent dans le secteur où les essais seront installés.

Pour cette expérimentation, l'épandage se fera soit manuellement, soit avec un petit tracteur agricole à semoir rotatif. Deux passages devront être effectués étant donné que le produit Qualibreiz est en forme de poudre et le Physalg est en granulé, ce qui implique d'avoir des techniques d'épandage différents.

Lors de la réalisation de ces travaux, il sera important de matérialiser les différentes zones de traitement, et principalement le témoin, sur le terrain et par GPS.



Le suivi de l'effet de l'épandage

Le suivi doit débuter par un état initial (t_0) à réaliser avant l'amendement et avant tout travail pouvant perturber les observations

Dans chacune des zones de traitement, il faudra démarrer les premières mesures et observations à environ 15-20 m de la zone voisine pour s'exclure d'éventuels effets de ruissellement de bordure (ce qui correspond à la zone d'isolement indiqué dans le rapport).

Le suivi est à réaliser 1 an (t_1), 5 ans (t_2) et 10 ans (t_3) après l'épandage au minimum, mais il n'est pas exclu d'étudier les effets à plus long terme en fonction des observations. Nous estimons qu'il faut compter 8 à 12 jours, en binôme, de mesure pour chaque suivi.

Il importe de programmer dans le temps de nouvelles analyses pédologiques qui permettront d'évaluer les résultats des épandages. Ces contrôles de suivi peuvent commencer à se faire à partir de la troisième année après correction du sol (*René Collet, 2008*).

Pour la mise en place des dispositifs et l'ensemble des suivis, il faudra nommer une personne responsable au sein du CRPF ou penser à embaucher un stagiaire afin de coordonner les différentes étapes de travail lors de l'installation des essais et des futures mesures.

De plus, il faudra prévoir une convention tripartite entre le CETEF 22, le CNPFF de Bretagne et les propriétaires afin que ces derniers s'engagent à réaliser les dégagements nécessaires sur l'ensemble des placeaux expérimentaux pour faciliter la prise de mesure lors du suivi.



Mobiliser les propriétaires et gestionnaires

Une étape primordiale au terme de l'étude est la mobilisation des propriétaires et des gestionnaires forestiers.

En effet, notre mission sera entièrement réussie quand nous aurons vulgarisé notre travail et mobilisé les professionnels de la forêt sur la restauration des sols forestiers par l'amendement et la fertilisation.

Une fois que les essais auront rendu leurs premiers résultats, un article de vulgarisation devra être diffusé auprès des propriétaires et gestionnaires forestiers de Bretagne. Un avant-projet de cet article vous est présenté en Annexe 21.

Ensuite, des réunions techniques et des formations forestières dans le cadre des stages de professionnalisation du FOGEFOR seront mises en place.

De plus, la comparaison de nos résultats avec ceux du Finistère nous indique des déficiences et des besoins très proches. En effet, nous pouvons voir dans le Tableau 12 ci-dessous que les moyennes (9 parcelles dans les Côtes d'Armor et 6 parcelles dans le Finistère) des besoins en oxyde sont relativement les mêmes pour les deux départements de Bretagne.

Tableau 12 : Moyennes des besoins en oxyde (Kg/ha) pour une plantation d'Epicéa de Sitka

	CaO (Kg/ha)	K ₂ O (Kg/ha)	MgO (Kg/ha)	P ₂ O ₅ (Kg/ha)
Côtes d'Armor	1066	719	259	609
Finistère	1281	948	299	465

Ainsi, ces similitudes dans les estimations des besoins réalisés par REGESOL sur des reconstitutions de futaies d'Epicéa de Sitka montrent que nous avons tout intérêt à développer au niveau régional une stratégie d'amendement.

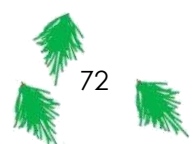
A long terme, l'idéal pour nous serait de fabriquer le produit Qualibreiz en granulé. Cela nous permettrait d'effectuer un seul épandage. L'avantage étant que nous diviserions par deux le coût de l'épandage et il y aurait moins de tassement sur les parcelles.

Toutefois, pour fabriquer un produit à la demande chez Timac Agro et ainsi répondre à une problématique spécifique, propre à nos sols, il faut un besoin en produits minimum de 400 tonnes.

Sur la base de 2,5 t/ha de traitement PK CaMg estimé, cela correspondrait à environ 160 ha de reboisement afin d'atteindre les 400 tonnes de produits. Ceci est faisable sachant que la surface totale de futaie d'Epicéa de Sitka et Douglas arrivant à maturité (plus de 30 ans), donc susceptible d'être reboisée dans les quinze prochaines années, est de 14 000 ha sur l'ensemble de la Bretagne.

Ainsi, les professionnels de la forêt auraient tout intérêt, que ce soit au niveau financier, technique ou organisationnel, à se mobiliser pour faire avancer les choses si nous ne voulons pas que nos sols s'appauvrissent d'année en année et si nous voulons rétablir un écosystème forestier optimum pour la production de bois.

Aussi, afin d'aller dans le sens d'une sylviculture responsable axée sur la restauration des sols forestiers et la production de bois de qualité en prenant en compte la diversité des milieux, l'état général des peuplements et les contraintes extérieures, des indicateurs du besoin en amendement ont été élaborés.



C'est un outil d'aide à la décision pour les gestionnaires et propriétaires forestiers. Il a pour but de répondre à certaines interrogations qu'ils peuvent se poser avant ou lors d'un reboisement : *Devrais-je apporter un amendement ?*

Cette fiche reprend les différentes notions lues dans la bibliographie, les diagnostics de terrain réalisés, les analyses de sol et nos connaissances acquises au fur et à mesure.

Le format de ce document, présenté en Annexe 22, se veut opérationnel avec un système de « feu rouge » indiquant le fort besoin en amendement, le « feu orange », indiquant l'éventualité d'un risque et le « feu vert » qui signifie qu'un apport n'est pas conseillé ou nécessaire. Ces indicateurs conviennent tout aussi bien aux sylviculteurs avertis qu'aux débutants pour les aider.



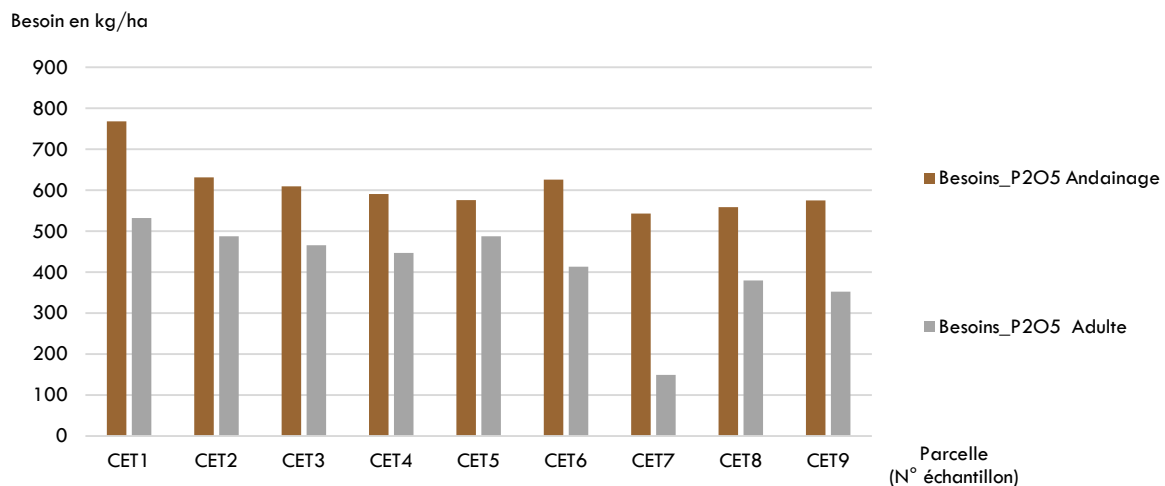
Pour les prochains reboisements ...

Pour cette expérimentation, nous étions en présence de peuplement ayant entre 1 et 5 ans. Dans les futurs itinéraires sylvicoles, il serait judicieux d'envisager un amendement dans les peuplements en place 10-15 ans avant la coupe rase ce qui permettrait de minéraliser les humus, transférer et stocker les nutriments dans le sol.

Ainsi, les effets bénéfiques sur le sol auront le temps de se mettre en place pour favoriser le prochain peuplement, favoriser l'éventuelle régénération et obtenir un retour sur investissement plus rapide (*Réunion de restitution des travaux de recherche sur le site atelier de fougères 2007, Technique d'apports d'amendements en milieu forestier, INRA*).

La simulation réalisée par le logiciel REGESOL montre que le besoin en P₂O₅ serait bien inférieur avec cette méthode, Figure 44.

Figure 44 : Besoins en P₂O₅ par parcelle suivant différents itinéraires techniques



9. Ouverture sur de nouvelles pratiques sylvicoles

A l'heure où certaines tensions générées par les nouveaux marchés de la filière bois et le changement climatique se font sentir, il est important de se demander si nous devons et si nous pouvons encore augmenter la productivité forestière, de manière durable, dans les forêts de plantation.

L'intensification des itinéraires sylvicoles et des récoltes et les différentes innovations qui ont vu le jour pour agir sur la productivité des différents systèmes forêt-bois posent en effet des questions sur la durabilité et les impacts sur la fertilité de nos écosystèmes.

L'amendement et la fertilisation sont des solutions à la restauration et le maintien de la fertilité minérale des sols forestiers, notamment en présence d'arbres souffrant de carences minérale, mais, d'autres leviers peuvent être actionnés en amont pour éviter d'en arriver à cette situation ; « Il vaut mieux prévenir que guérir ».

Intervenir sur les pratiques sylvicoles, jouant un rôle important pour la fertilité des sols, est une action complémentaire qui peut être apportée. Voici quelques exemples :

-  **Utiliser la régénération naturelle lorsque les conditions sont favorables**
-  **Adapter les densités**
-  **Eviter le tassement**

Les opérations forestières sont de plus en plus mécanisées et le poids des engins utilisés est en constante augmentation. En conséquence, les contraintes mécaniques s'exerçant sur les sols forestiers sont de plus en plus fortes ce qui entraîne un risque de déformation du sol et de compactage.

De plus, l'absence d'une couche de rémanents rend les sols plus exposés aux tassements. Les caractéristiques physiques du sol (texture, profondeur, etc.) peuvent être alors radicalement modifiées. Cela peut conduire à des érosions ou des engorgements ainsi qu'à des difficultés d'enracinement.

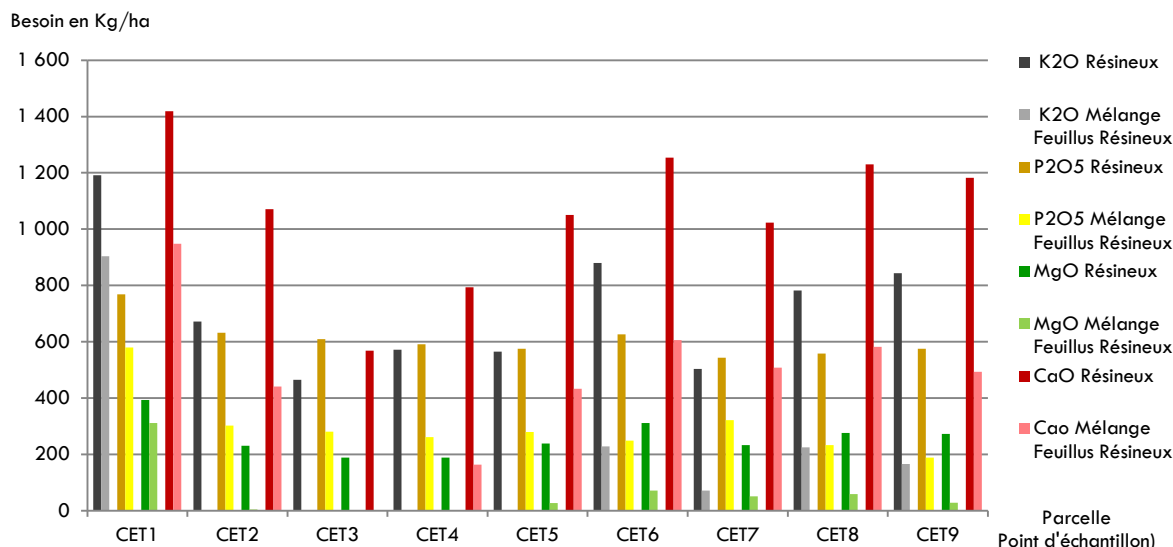
En modifiant instantanément les propriétés physiques du sol par compactage lié au passage d'engins, les propriétés chimiques, biologiques et certaines fonctions du sol s'en trouvent négativement impactées sur le moyen voire long terme (*Laurent Augusto et al., 2014*).

Diversifier et mélanger les essences

Lorsque les conditions sont défavorables (pollutions, sols très pauvres, substrat géologique à faible capacité neutralisante, etc.), la plantation à large échelle de conifères, en interaction avec une sylviculture intensive (rotations courtes, coupes-rases, peuplements monospécifiques équiennes*), peut avoir des impacts négatifs sur l'écosystème et les eaux de surfaces (*Augusto et al., 2014*).

La Figure 45 ci-dessous représente les besoins en K_2O , P_2O_5 , MgO et CaO par parcelle suivant une sylviculture mono-spécifique résineuse ou un peuplement de feuillus et de résineux en mélange. Nous remarquons que les besoins sont bien moins importants sur une plantation mélangée. La composition de la litière, le besoin en eau et nutriments, l'interception des eaux de pluie, etc. expliquent les différences mises en évidence entre des parcelles de conifères et de feuillus.

Figure 45 : Besoins par élément nutritif pour un mélange d'essences et pour une mono-culture



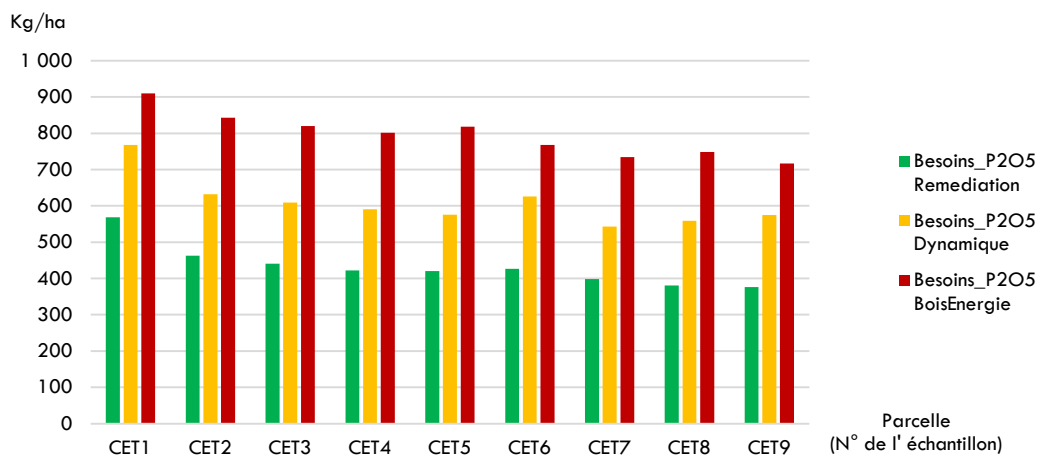
Reconsidérer les itinéraires techniques de reboisement

Sur nos parcelles, comme indiqué dans le rapport, nous sommes sur un modèle de sylviculture dite « dynamique » exportant environ 50% de rémanents aux éclaircies.

D'autres types de sylviculture ont été simulés comme la sylviculture dite de « remédiation » (vue écologique) et à l'opposé, nous avons testé la sylviculture dite « Bois Energie » avec une exportation totale de rémanents.

La Figure 46 ci-dessous nous permet de comparer les besoins en P₂O₅ des différentes parcelles suivant le type de sylviculture.

Figure 46 : Besoins en P₂O₅ par parcelle suivant le type de sylviculture



L'intensification de la sylviculture par des dessouchages ou des rotations plus courtes entraine une diminution des retours dans l'écosystème des rémanents et donc une exportation d'éléments minéraux non négligeable.

Ainsi, comme nous montre ce graphique, cette intensification de la sylviculture entraine un surcoût de 30 à 40 % en élément, c'est-à-dire que le besoin en Phosphore est supérieur de 30 à 40 % quand l'on passe d'une sylviculture de « remédiation » à « bois énergie ».

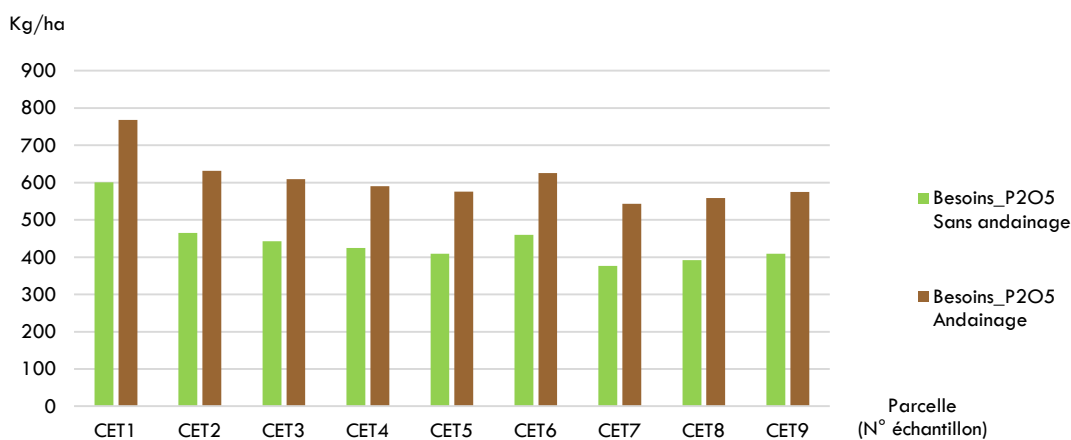
Ce besoin supplémentaire est encore plus important pour les autres éléments, il atteint 50 à 60 % pour le K_2O , 60 à 65 % pour le MgO et 40 à 60 % pour le CaO .

En plus de simuler les besoins suivant l'intensité de la sylviculture, REGESOL est capable de simuler d'autres itinéraires techniques comme les besoins en éléments dans une :

- plantation de 2^{ème} génération d'Epicéa de Sitka sans andainage « décapant »
- plantation de 2^{ème} génération d'Epicéa de Sitka avec andainage « décapant » (actuellement)

Les résultats, calculés par REGESOL, suivant ces deux itinéraires sont présentés sur la Figure 47 ci-dessous.

Figure 47 : Besoins en P_2O_5 par parcelle suivant la gestion des rémanents



L'andainage décapant entraîne des exportations, et donc des pertes importantes de nutriments pour l'écosystème. Ainsi, nous pouvons voir sur ce graphique que le besoin en P_2O_5 est plus important sur des sols décapés que sur des sols non perturbés.

Dans notre cas, l'andainage « décapant » entraîne un besoin supplémentaire en élément de 40 % pour le P_2O_5 et le CaO par rapport à un sol non perturbé jusqu'à 60 % pour le MgO .

L'intensification de la productivité a pour risque l'appauvrissement des sols en éléments minéraux. Les exportations de rémanents s'avèrent avoir des effets négatifs sur l'écosystème forestier : diminution moyenne de 53 % de débris ligneux au sol, baisse de l'activité microbienne, modification de la qualité de la matière organique, diminution des stocks en nutriments et modification des propriétés physico-chimiques des sols.

Ainsi, une gestion raisonnée des récoltes est nécessaire. Les sylvicultures intensives doivent être réservées aux terrains fertiles et compte tenu de la richesse en nutriments des feuillages, des rameaux et des litières, il convient de les laisser dans les écosystèmes. Sinon, il est nécessaire de compenser ces pertes par des apports de fertilisants, si l'on veut conserver la richesse minérale des sols, et donc la production future.

D'autres techniques permettant une économie de nutriments peuvent être utilisées comme l'écorçage in situ, l'écorce de tronc étant plus riche en nutriments que le bois de tronc. Cette approche consiste à limiter au maximum les exportations de fertilité (Augusto et al., 2014).

Ou bien, il pourrait être intéressant, si cela permet de conserver la fertilité de nos sols, d'utiliser dent de culti-sous-soleur qui écarterait les rémanents et préparerait un potet travaillé pour chaque arbre planté pour éviter de déparer l'humus.

L'alternative : Les cendres

L'alternative aux amendements et fertilisants classiques pourrait être de recycler des produits résiduels contenant des nutriments comme les cendres de bois. Les cendres de bois permettraient de ramener une partie des nutriments perdus. Toutefois il ne s'agit que d'un retour partiel puisque certains éléments sont plus ou moins volatilisés lors de la combustion du bois (cas de l'azote qui part en fumées lors de la combustion).

Ce recyclage est une voie à prospecter mais la législation reste floue sur ce point et ne semble pas permettre actuellement une telle valorisation. Des expérimentations sont en cours, cependant, l'usage répété de cendres et l'application de doses massives semblent altérer les biocénoses*, provoquer des accumulations de métaux lourds et induire des pertes d'éléments vers les eaux de surface (*Augusto et al., 2008*).

Techniquement, il est encore possible d'intensifier les itinéraires et les récoltes. Cependant, il apparaît difficile d'augmenter, fortement mais durablement, la productivité d'une forêt.

En effet, une augmentation forte et continue de la productivité implique une intensification des itinéraires et des récoltes qui pourraient perturber les autres fonctions écosystémiques de la forêt et avoir des effets négatifs dans de nombreux cas avec des risques d'émissions de carbone, une perte de stabilité et de productivité.

L'intensification des récoltes, si elle est raisonnée et si nous jouons avec les différents leviers cités ci-dessus, pourrait être compatible avec une gestion durable et donc le maintien de la fertilité des écosystèmes.



Figure 48 : Reboisement de la PF 5p en forêt de Cassebreuil

CONCLUSIONS DE L'ETUDE



*Adopter une gestion qui garantisse le maintien de la
fertilité du sol ...*

10. Conclusion générale de l'étude

La volonté du CNPF Bretagne et du CETEF 22 est de restaurer la fertilité des sols forestiers de manière raisonnée en trouvant, entre autres, un substitut aux Scories-Thomas longuement utilisés comme amendement et fertilisant.

Le contexte géologique et la pluviométrie généreuse de la Bretagne sont favorables au lessivage des éléments minéraux et à l'acidification des sols. L'acidification s'est amplifiée par la nature même de la végétation (litières acidifiantes de certaines essences résineuses). De plus, l'exploitation intensive de la ressource sylvicole a amplifié l'appauvrissement et a transformé jusqu'à la structure même de ces sols. L'actuelle volonté de privilégier les essences frugales à croissance rapide pour produire un bois de qualité accentue ce phénomène.

L'apparition d'une flore acidiphile et la constatation de symptômes tels qu'une croissance médiocre et un feuillage excessivement clair de jeunes reboisements d'Epicéa de Sitka et Douglas nous ont fait avoir des doutes sur la capacité de nos sols à assurer de bonnes conditions de nutrition aux plants. Et, ces doutes ont été confirmés par les résultats des analyses de sol réalisés par le Laboratoire d'Arras. Ces analyses ont montré des concentrations extrêmement faibles en Phosphate, Calcium, Magnésium et Potassium ainsi qu'un pH très bas. Il s'agit d'une pauvreté naturelle combinée à une exportation excessive sans compensation pendant plusieurs années.

Dans ce contexte, les sols doivent être restaurés et l'amendement calco-magnésien en complément d'une fertilisation phosphatée et potassique est indispensable. Nous avons donc fait le choix de produits naturels et disponibles à long terme dans le sol comme le Physalg 15-10 (Engrais PK avec du Calcium) et le Qualibreiz (Amendement calco-magnésien).

Nous ne cherchions pas à travers ces apports l'alimentation artificielle et immédiate des arbres, mais la restauration d'un bon état de l'humus, d'un cycle biologique actif et la couverture des exportations immédiates des éléments nutritifs. C'est pour cela qu'une approche spécifique de chaque peuplement a été suivie. Les apports minéraux ont été ciblés et calculés après analyse du sol par le logiciel REGESOL.

Une fertilisation excessive comporte aussi des risques. C'est donc une fertilisation modérée qui semble la plus favorable afin d'apporter une réponse adéquate pour rétablir un état sanitaire garantissant la croissance et l'ensemble des fonctions d'un peuplement tant du point de vue écologique et social que du rôle économique ou financier.

Les essais qui seront mis en place suite à cette étude sur les reboisements de futaies d'Epicéa de Sitka et Douglas dans les Côtes d'Armor, et sans doute au-delà, ainsi que les résultats très proches obtenus par REGESOL en 2012 dans le Finistère vont permettre de développer au niveau régional une stratégie d'amendement la plus simple possible et compatible avec les produits disponibles sur le marché.

L'idée, pour les reboisements futurs, est de réaliser l'amendement 10-15 ans avant la coupe rase afin que les effets bénéfiques sur le sol aient le temps de se mettre en place pour favoriser le prochain peuplement, favoriser l'éventuelle régénération et obtenir un retour sur investissement plus rapide.

Toutefois, l'intensification de la production forestière conduit à nous interroger sur sa durabilité et ses impacts possibles sur la fertilité des écosystèmes. L'apport d'éléments minéraux est une solution pour compenser les exportations, néanmoins, il est important d'évoquer d'autres pratiques sylvicoles comme le mélange d'essences, l'abandon du dessouchage sur les sols les plus pauvres ou une gestion différente des rémanents.

11. Bilan personnel



J'ai ainsi effectué mon Projet de Fin d'Etudes d'Ingénieur ESB au sein du Centre National de la Propriété Forestière (CNPFF) – délégation de Bretagne et du Centre d'Etudes Techniques et d'Expérimentations Forestières des Côtes d'Armor (CETEF 22).

Ce stage était pour moi très ambitieux car il s'agissait d'une étude expérimentale en gestion forestière et plus particulièrement dans le domaine de la pédologie, sujets sur lesquels je n'ai pas suivi de formation lors de mon cursus d'ingénieur.

J'ai fait ce stage en espérant acquérir et développer mes connaissances au niveau de la recherche scientifique dans le milieu forestier et les pratiques sylvicoles. Beaucoup mieux que ce que je m'attendais, j'y ai découvert que j'étais capable de m'adapter à une situation plutôt inconnue pour moi, de comprendre les enjeux et d'apporter des propositions de solutions.

Cette étude m'a permis d'appréhender des domaines dans lesquels je n'avais pas encore travaillés comme l'expérimentation, la sylviculture (reboisements, stations forestières, ...), l'agronomie, la pédologie, etc. J'ai pu m'initier au logiciel MapInfo, prendre connaissance de la filière des engrais et amendements et apprendre sur le fonctionnement des organismes en charge des propriétés forestières privées (CNPFF et CETEF).

Aussi, cela m'a permis de mettre en pratique des outils de l'ingénieur tels que la conduite de projet, les protocoles scientifiques, les analyses et interprétations de résultats, les propositions d'actions, les préconisations, etc.

Lors de ce projet, je me suis quelque fois retrouvée en difficultés. Mes connaissances dans le domaine de la pédologie et la gestion forestière étaient limitées et l'étude était de courte durée par rapport à l'envergure du sujet. Ainsi, cela ne m'a pas permis d'explorer et de développer l'ensemble des notions sur cette thématique qui est très large.

Malgré tout, je me suis démenée durant toute la période de ce stage pour répondre à la demande de mes tuteurs, permettre une bonne transmission de l'étude afin que mon successeur puisse reprendre le travail là où il a été laissé et faire en sorte que l'étude puisse être répétée et transposable.

Cette expérience au sein du CRPF de Bretagne et du CETEF 22 m'a confortée dans mon projet professionnel : continuer à découvrir les richesses de la forêt, les innovations et les enjeux de la filière forêt-bois.

Avec le recul et si c'était à refaire, je veillerai à garder la période que j'ai consacrée à la documentation et l'observation en début de stage, qui a été nécessaire à la compréhension de mon étude.

BIBLIOGRAPHIE

- AFOCEL, 1997. – Le Douglas. La fertilisation. – p. 137-190. 416 pages
- AUGUSTO (L), ACHAT (D), BOULANGER (V), CANTELOUP (D), LANDMANN (G), LEGOUT (A), MEREDIEU (C), PLOMION (C), POUSSE (N), RANGER (J), TRICHET (P), 2014. - Intensification des itinéraires sylvicoles et des récoltes : implication pour la durabilité des systèmes. - Innovations Agronomiques, 41, 13-30.
- BEF – NYS (C), LEGOUT (A), septembre 2012. - Restauration des sols forestiers par la pratique de l'amendement. – Le Faou
- BEF, juillet 2011. - La pratique de l'amendement en vue de la restauration de la qualité des sols et des eaux acidifiés. – Conseil Général des Vosges - Agence de l'eau Rhin-Meuse
- BEF – LEGOUT (A), décembre 2014. – Fertilité chimique des sols forestiers : intérêt de la fertilisation et des amendements dans la foresterie moderne. – INRA
- BEF – LEGOUT (A), NYS (C), COLLET (R), DIDIER (S), 2013. – REGESOL : un outil pour les opérations d'amendement. – INRA
- BEF – LEGOUT (A), NYS (C), COLLET (R), DIDIER (S), 2012. – REGESOL : un outil pour les opérations d'amendement, Application à des peuplements d'Epicéa de Sitka (Finistère). – Réunion Sitka, Le Faou
- BONNEAU (M), 1995. – Fertilisation des forêts dans les pays tempérés. – ENGREF Nancy, France, 367 pages.
- BONNEAU (M), 1966. - La fertilisation forestière. – ENGREF Nancy, RFF n°8-9 – p.552
- BONNEAU (M), 1972. – Quelques résultats d'essai de fertilisation sur Epicéa dans le Massif Central. – RFF n°1 - p. 355
- BONNEAU (M), LANDMANN (G), ADRIAN (M), 1992. – La fertilisation comme remède au dépérissement des forêts en sol acide : essais dans les Vosges. – RFF n°3 – p. 207
- BONNEAU (M), 1969. – La fertilisation en sylviculture. – RFF n°spécial – p.429
- BONNEAU (M), LANDMANN (G), GARBAYE (J), RANGER (J), NYS (C), 1994. - Gestion et restauration de la fertilité minérale des sols. – ENGREF Nancy. RFF n° 5 – p. 579
- BONNEAU (M), 2005. – La fertilisation des forêts s'impose dans certaines régions. – RFF n° 4 – p. 326
- BONNEAU (M), 2003. – Evaluation de la pertinence des deux méthodes d'analyse du phosphore dans les sols forestiers. – RFF n°1 – p. 57
- BRETHES (A), NYS (C), COLLET (R), 2009. – De la théorie à la pratique ou où et comment amender ? – RFF n°3 – p. 317
- CACOT (E), EISNER (N), CHARNET (F), LEON (P), RANTIER (C), RANGER (J), avril 2006. – La récolte raisonnée des rémanents en forêt. – ADEME, Angers
- CHAMBRE D'AGRICULTURE DU BAS-RHIN, avril 2003. - Quelle forme d'engrais minéral choisir ? - FERTI ZORN, n°50
- Clément Dodane, 2010. - Le FFN, une politique forestière ambitieuse dotée d'un outil financier original : des milliards investis pour des millions d'hectares plantés. - [En ligne]. Consulté le 12 mai 2016, <http://geoconfluences.ens-lyon.fr/doc/territ/FranceMut/popup/Dodane5.htm>
- COIC (A), GRENIER (X), COLOMBET (M), 2013- Les amendements calco-magnésiens en forêt vosgienne, les résultats obtenus suite aux travaux de l'INRA Nancy, équipe BEF. - CRPF de Bretagne – CETEF 29
- COLLET (R), 2008. – Pourquoi et comment apporter des amendements. – La Forêt Privée n° 300
- COLOMBET (M), décembre 2012. – La reconstitution des futaies d'Epicéa de Sitka après coupe rase. – CRPF de Bretagne
- COLOMBET (M), 2010. - Guide du sylviculteur du Centre Ouest Bretagne – CRPF de Bretagne, 80 pages
- COURBET (F), PICHARD (G), septembre 1986. -Tables de production pour l'Epicéa de Sitka en Bretagne. - CRPF de Bretagne.
- CRPF PACA, mars 2013. - Que faire des rémanents de coupe ? - Les dossiers du Conseil
- CRPF DE BRETAGNE, 2005. - Schéma régional de gestion sylvicole de Bretagne. - CRPF de Bretagne, Rennes, 192 pages
- CRPF de Bretagne. - Un organisme au service de la forêt privée. - [En ligne], Consulté le 02 mars 2016, <http://www.crfp.fr/bretagne/>
- FLORIDA FOREST STEWARDSHIP – Fertilization - [En ligne], Consulté le 1 avril 2016, http://www.sfrc.ufl.edu/extension/florida_forestry_information/forest_management/fertilization.html
- Forestiers d'Ouest, Edition Côtes-d'Armor. - Actualités CETEF de Bretagne. - 1er trimestre 2016, N°6. 12 pages
- FORESTRY FOCUS. -Fertilisation – [En ligne], Consulté le 14 avril 2016, <http://www.forestryfocus.ie/growing-forests-3/establishing-forests/fertilisation/>

- INRA, 2016. - Catalogue analytique général à l'usage de la recherche hors INRA. -
- INRA, 2014. - Intensification durable des systèmes de production forestière. – CIAG, [En ligne], Consulté le 09 août 2016, <http://www.inra.fr/Entreprises-Monde-agricole/CIAG/Tous-les-magazines/Ciag-Innovations-sylvicoles>
- LE TACON (F), 1969. - Quelques aspects de la fertilisation forestière en Grande-Bretagne. - ENGREF Nancy RFF n° 7 - p. 637
- LE TACON (F), 1970. – La fertilisation des peuplements adultes. - RFF n° 3 - p. 379
- MASSENET (J.Y), mars 2013. – Chapitre V : Chimie du sol. - Lycée forestier de Mesnières (76) et Université du Havre
- MOREAU (J), 2010. – Impact de pratiques sylvicoles intensives sur les propriétés du bois du Pin maritime. -Université Bordeaux
- MOUGHLI (L), septembre 2000, Les engrais minéraux, Caractéristiques et Utilisation. – Programme National de Transfert de Technologie en Agriculture (PNTTA), DERD, n°72
- NYS (C), 1984. – Fertilisation de peuplements adultes d'Epicéa commun dans le Massif Central. – RFF n°4 – p. 313
- NYS (C), 1985. – Réponse d'un peuplement de Pin laricio de Corse à la fertilisation en Sologne. – RFF n°6 – p. 483
- NYS (C), 1989. – Fertilisation, dépérissement et production de l'Epicéa commun dans les Ardennes. – RFF n°4 – p. 336
- NYS (C), 1981. – Réponse d'un peuplement adulte d'Epicéa commun à la fertilisation dans le Limousin. – RFF n°3 – p. 217
- Office National des Forêts. - Chiffres clés. - [En ligne], Consulté le 14 mars 2016, http://www.onf.fr/centre_ouest_auvergne_limousin/sommaire/onf/chiffres_cles/20100331-101305-969360/@@index.html
- PICHARD (G). – L'Epicéa de Sitka, Un conifère alliant productivité et qualité du bois. – CRPF de Bretagne
- RANGER (J), BADEAU (V), DAMBRINE (E), et al., 2000. - Evolution constatée des sols forestiers au cours des dernières décennies. – ENGREF, Nancy, France.
- REHM (G), SCHMITT (M), LAMB (J), RANDALL (G), BUSMAN (L), 2002. - Understanding phosphorus fertilizers. - University of Minnesota. [En ligne], Consulté le 14 avril 2016, <http://www.extension.umn.edu/agriculture/nutrient-management/phosphorus/understanding-phosphorus-fertilizers/>
- ROBERTS (A). –Story : Fertiliser industry. - Te Ara - the Encyclopedia of New Zealand, mise à jour le 13/07/12. [En ligne], Consulté le 15 avril 2016, <http://www.teara.govt.nz/en/fertiliser-industry/page-1>
- UNIFA. – Liste des adhérents. – [En ligne], Consulté le 18 avril 2016, <http://www.unifa.fr/qui-sommes-nous/nos-adherents.html>
- UNIFA, 2006. – Raisonner PK, Un investissement rentable. – Fiche FERTI-pratiques n°07
- UNIFA, 2012. – Phosphore, Élément nutritif indispensable. – Fiche FERTI-pratiques n°25
- TEAGASC. - Nutrient requirements in forestry. – Ireland, [En ligne], Consulté le 14 avril 2016, <https://www.teagasc.ie/crops/forestry/advice/management/nutrient-requirements-in-forestry/>

ANNEXES

Annexe 1 : Planning de l'étude

Annexe 2 : Fiche terrain

Annexe 3 : Clef de détermination des types de stations, Guide COB

Annexe 4 : Groupes phyto-écologique, Guide COB

Annexe 5 : Résumé des parcelles visitées et essais envisagés

Annexe 6 : Protocole de prélèvement de sol

Annexe 7 : Cartographies de la PF 7,02 de Malaunay

Annexe 8 : Cartographies de la PF 10,01-10,04 de Malaunay

Annexe 9 : Cartographies de la PF 17,02 de Malaunay

Annexe 10 : Cartographies de la PF 11 de Cassebreuil

Annexe 11 : Cartographies de la PF 9c de Conveau

Annexe 12 : Résultats des analyses de sol du Laboratoire d'Arras

Annexe 13 : Résultats par REGESOL

Annexe 14 : Fiche identité de la PF 7,2

Annexe 15 : Fiche identité de la PF 10,01-10,04

Annexe 16 : Fiche identité de la PF 17,2

Annexe 17 : Fiche identité de la PF 11

Annexe 18 : Fiche identité de la PF 5p

Annexe 19 : Fiche identité de la PF 9c

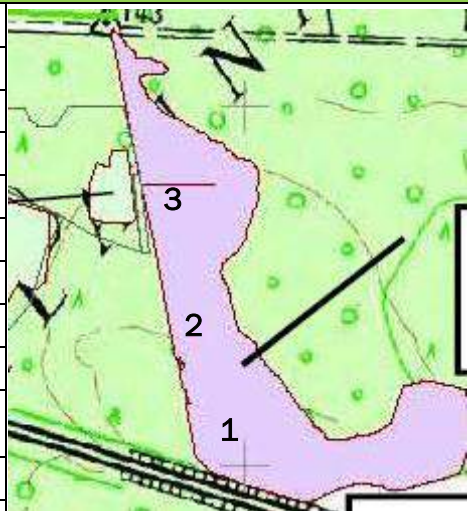
Annexe 20 : Fiche identité de la PF 7a

Annexe 21 : Formulaire de mobilisation des propriétaires forestiers

Annexe 22 : Identification du besoin en amendement pour des reboisements d'Epicéa de Sitka et Douglas

	Mars				Avril				Mai				Juin				Juillet				Aout			
Bibliographie et rédaction																								
S'informer sur les pratiques sylvicoles (reboisement, stations forestières)	[Blue]																							
Bibliographie des essais déjà réalisés	[Blue]																							
Rédaction du rapport	[Blue]																							
Choix des parcelles d'étude																								
Lister tous les reboisements + Fiche "identité des parcelles"	[White]		[White]		[Yellow]		[Yellow]		[Yellow]		[Yellow]		[White]		[White]		[White]		[White]		[White]		[White]	
Faire un état des lieux et diagnostiquer les types de station + sélectionner les parcelles	[White]		Malaunay		Malaunay		Cassebreil Conveau		[White]		[White]		[White]		[White]		[White]		[White]		[White]		[White]	
Etablir une clef de détermination des stations à risques de carences	[White]		[White]		[Yellow]		[Yellow]		[Yellow]		[Yellow]		[Yellow]		[Yellow]		[Yellow]		[Yellow]		[White]		[White]	
Analyses de sol																								
Faire les relevés de terrain (végétations, état sanitaire, accroissement)	[White]		[White]		[White]		[White]		[Purple]		Conveau		Malaunay		Conveau Malaunay		[White]		[White]		[White]		[White]	
Définir des zones homogènes : cartographies sur MapInfo	[White]		[White]		[White]		[White]		[White]		[Purple]		[Purple]		[White]		[White]		[White]		[White]		[White]	
Faire les prélèvements de sols + envoyer au laboratoire de l'INRA	[White]		[White]		[White]		[White]		[White]		[White]		[Purple]		[Purple]		[White]		[White]		[White]		[White]	
Analyser les résultats et simulations (REGESOL)	[White]		[White]		[White]		[White]		[White]		[White]		[White]		[White]		[Purple]		[Purple]		[Purple]		[Purple]	
Contact avec les assembleurs, producteurs d'engrais																								
Lister les assembleurs, distributeurs, coopératives	[White]		[White]		[Red]		[Red]		[Red]		[Red]		[Red]		[White]		[White]		[White]		[White]		[White]	
Lister les produits, dosages, modalités d'épandage	[White]		[White]		[Red]		[Red]		[Red]		[Red]		[Red]		[Red]		[Red]		[Red]		[Red]		[White]	
Choix des produits et du distributeur	[White]		[White]		[White]		[White]		[White]		[White]		[Red]		[Red]		[Red]		[Red]		[Red]		[Red]	
Mise en place des essais																								
Elaborer des protocoles d'essai d'amendement	[White]		[White]		[White]		[White]		[White]		[White]		[White]		[White]		[Green]		[Green]		[Green]		[Green]	
Organiser la suite de l'étude	[White]		[White]		[White]		[White]		[White]		[White]		[White]		[White]		[Green]		[Green]		[Green]		[Green]	

Localisation - Peuplement	
Forêt	Malaunay
N° parcelle	10.01 – 10.04
N° de l'analyse	1, 2, 3
Date du reboisement	2010
Surface (ha)	9.2
Essence principale	Epicéa de Sitka
Essence secondaire	Douglas
Densité initiale (tige/ha)	1300
Hauteur moyenne	D : 3-4,50 E : 1,70-2
Accroissement de pousse de l'année (cm)	D : > 50 E : 25<x<50
Circonférence (cm)	D : > 10 E : < 10
Antécédent cult.	Futaie résineuse D,ES



1, 2, 3 : Point d'analyse

Description complémentaire : Douglas plus grand que les Epicéas, beaucoup de pustules
 Moins bonne croissance que dans la 20.01, chétif
 Pousse de l'année plus faible que les accroissements des années précédentes

Caractéristiques stationnelles			
Précipitation an. moy	846.74	Altitude (m)	145
Température an. moy	11.05	Exposition	
Roche mère (voir carte)	Protérozoïque supérieur, granitoïdes et migmatites (533 +/- 12Ma) : isaltérites		
Type de sol	Sol brun	Humus	Mor-Dysmoder
Profondeur prospectable	>1,30 m	Position Topo.	Plane
Texture	L-S (struc. massive)	Pente	Faible (<10%)
Hydromorphie, Prof apparit°	50-80 cm	Apports/pertes	Neutre
Type de station	Point 3 : C10 A à callune qui vire au C11 Point 2 : C10 à genêt et fougère – plus varié, un peu mieux Point 1 : C 10 à genêt et ajonc		

Végétations
GPE 6 : Fougère, Hymne, Blechne en épi, Houx, Millepertuis, Germandrée
GPE 5 : Chèvrefeuille
GPE 8 : Ajonc, Pin vert clair, Bruyère ciliée, Bruyère 4 angles, Callune
Genêt, ronce

Historique – Interventions sylvicoles	
Historique : Coupe rase Douglas, ES → reboisement	
Remise en état :	Andains, dessouchage
Travail du sol :	Sous solage
Plantation :	Manuel
Dégagements	Nombre : 4 Type : Mécanisé (gyro)

Critères observés ou mesurés :

- Dégâts gibier : < 15 %
- Taux de reprise : 90 %

Etat sanitaire¹ du peuplement :

- Couleur des aiguilles
- Masse foliaire – taille

Moyen- bon

Vertes et petites

Anormalement denses, courtes, perte, pas développées

¹ Jaunissement, vigueur, masse foliaire

Commentaires :

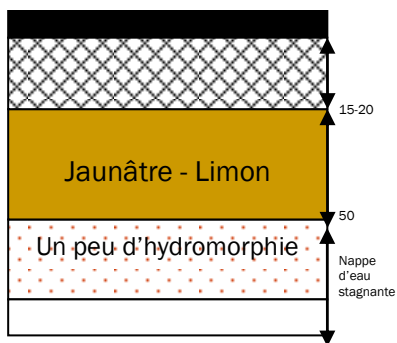
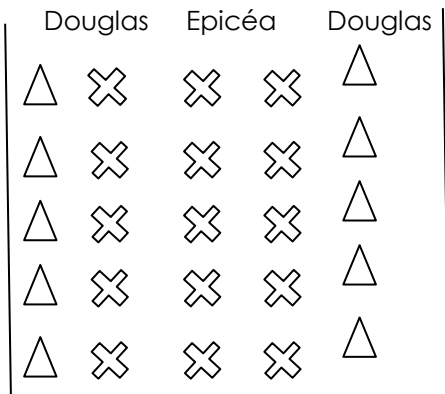
Humifère → Marmorisé → Hydromorphe

Faible teneur en argile (richesse chimique) → (fer va au fond → horizon décoloré)

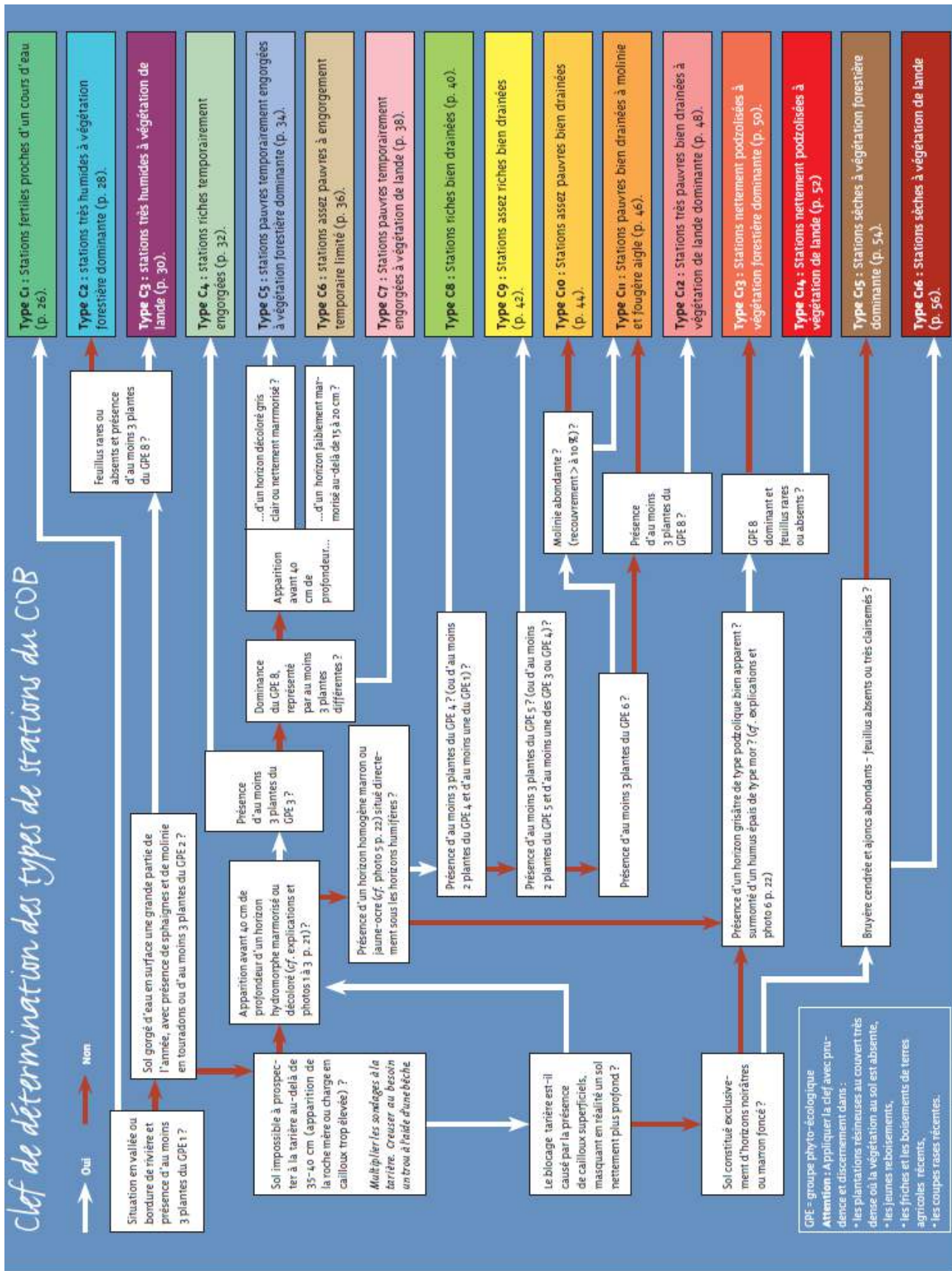
Ce n'est pas un problème de station - nappe d'eau superficielle, sol profond

Sur la même parcelle, beaucoup de variations (floristique)

Schéma de plantation point 1 :



Annexe 3 : Clef de détermination des types de stations du COB



Annexe 4 : Groupes phyto-écologiques, Guide COB

<p>1 - Espèces des milieux fertiles et frais</p> <p>Caractérise les milieux boisés et les friches au sol peu acide, bien alimenté en eau toute l'année, souvent engorgé en profondeur, dont la richesse minérale est élevée, notamment en azote.</p> <p>A : Orme champêtre Frêne commun Sureau noir</p> <p>a : Houblon</p> <p>h : Ail des ours Baldingère Benôite commune Consoude officinale Epière des bois Eupatoire chanvrine Ficaire fausse renoncule Gaillet croisette Gaillet gratteron Liseron des haies Ortie dioïque Reine des prés Scrofulaire noueuse</p>	<p>2 - Espèces des milieux forestiers et friches humides</p> <p>Caractérise les friches et les milieux boisés marécageux ne s'asséchant jamais totalement en surface.</p> <p>A : Saules</p> <p>h : Cirse des marais Dorine à feuilles opposées Ecuelle d'eau Fougère femelle (f) Gaillet des marais Iris jaune Joncs Laîche lisse Laîche paniculée Lycophe d'Europe Lysimaque commune Menthe aquatique Oenanthe safranée Osmonde royale (f) Peucedan lancéolé Renoncule flammette Scrofulaire noueuse Violette des marais</p> <p>m : Polytric commun Sphaignes</p>	<p>3 - Espèces des milieux forestiers assez riches à tendance humide</p> <p>Caractérise les milieux boisés peu à moyennement acides, sujets à un engorgement superficiel plus ou moins marqué.</p> <p>A : Tremble Aulne glutineux</p> <p>a : Viorne obier</p> <p>h : Angélique sauvage Bétoine officinale Bugle rampante Canche cespiteuse Circée de Paris Laîche espacée Laîche des bois Lychnide fleur de coucou Lysimaque des bois Morelle douce-amère Polystic spinuleux (f) Renoncule rampante Succise des prés Valériane officinale</p> <p>m : Mnie ondulée</p>	<p>4 - Espèces des milieux forestiers riches</p> <p>Caractérise les milieux boisés peu acides et bien drainés en surface, riches en éléments nutritifs.</p> <p>A : Erable champêtre Aubépine monogyne Fusain d'Europe Prunellier</p> <p>a : Rosier des champs</p> <p>h : Arum tacheté Aspérule odorante Brachypode des bois Berce sphondyle Compagnon rouge Euphorbe des bois Géranium herbe à Robert Lamier jaune Lierre terrestre Mélique uniflore Mercuriale pérenne Primevère acaule Scolopendre (f) Tamier commun Véronique petit chêne</p>
<p>5 - Espèces des milieux forestiers assez riches</p> <p>Caractérise les milieux boisés modérément acides et bien drainés en surface, assez riches en éléments nutritifs.</p> <p>A : Erable sycomore If Merisier Noisetier Pommier sauvage</p> <p>a : Chèvrefeuille Fragon</p> <p>h : Anémone des bois Conopode dénudé Dactyle aggloméré Fougère mâle (f) Houlque molle Jacinthe des bois Millet diffus Oxalide petite oseille Petite pervenche Sceau de Salomon multiflore Stellaire holostée Violette de Rivin</p>	<p>6 - Espèces des milieux forestiers pauvres</p> <p>Caractérise les milieux boisés acides et pauvres en éléments nutritifs. Son optimum se situe sur sol bien drainé mais on le rencontre aussi sur sol à engorgement temporaire.</p> <p>A : Houx Poirier à feuilles en cœur Sapin pectiné Sorbier des oiseleurs</p> <p>h : Blechne en épi (f) Fougère aigle (f) Germandrée scorodoine Laîche à pilules Luzule des bois Mélampyre des prés Millepertuis élégant Myrtille</p> <p>m : Dicrane en balai Hypne courroie Leucobryum glauque Polytric élégant</p>	<p>7 - Espèces des milieux secs sur sol superficiel</p> <p>Caractérise les pelouses, landes, et bois clairs sur sol acide peu profond et affleurements rocheux.</p> <p>a : Bruyère cendrée Ajonc d'Europe</p> <p>h : Agrostide à soies Corydale à vrilles Flouve odorante Gaillet des rochers Jasione des montagnes Nombriol de Vénus Orpin d'Angleterre Petite oseille Polypode vulgaire (f) Silène maritime</p> <p>NB : Ajonc d'Europe et Bruyère cendrée se rencontrent également sur lande mésophile*.</p>	<p>8 - Espèces des landes mésophiles à humides</p> <p>Caractérise les landes moyennement humides à très humides sujettes à de sévères carences nutritives. Les espèces en marron se développent sur les landes nettement engorgées.</p> <p>A : Pin maritime</p> <p>a : Ajonc de Le Gall (1) Ajonc nain (2) Bruyère à quatre angles Bruyère ciliée Callune Piment royal Saule rampant</p> <p>h : Molinie (en nappe* ou en touradons*) Orchis tacheté Potentille tormentille Scorsonère des prés</p>

(1) : localisé dans le COB à l'ouest d'une ligne Saint-Briec - Loudéac - Mûr de Bretagne - Ploërdut - Plouay • (2) : localisé dans le COB à l'est d'une ligne Saint-Briec - Rostrenen - Meslan, l'ajonc nain présente une aire de distribution complémentaire de celle de l'ajonc de Le Gall, qu'il relaie vers l'est avec peu de chevauchement.

A : arbres et arbustes - a : arbrisseaux, ligneux bas et lianes - h : plantes herbacées et fougères (f) - m : mousses.

Attention : les essences forestières présentes de manière spontanée sont à prendre en considération.

Annexe 5 : Résumé des parcelles visitées et essais envisagés

Reboisements de Malaunay

Année	Parcelle forestière	Essence	Surface (ha)	Caractéristiques	Type station	Essai envisagé
2010	7.02	ES	1,60	Hydromorphe, Carencé (pauvre)	C7	Oui
	11.06	ES + D	4,64	Station non adaptée aux Douglas, remise en état à la mauvaise période : sol très perturbé, variations topologiques	C5 → C6	Non
	10.01-10.04	ES + D	9,20	Sitka jaunâtres, aiguilles peu développées	C10 A	Oui
	20.01-20.03	ES	8,35	Bon état sanitaire, bonne station	C5	Non
	17.02	ES + D	8,20	Bon sol mais douglas appauvris et verts clairs	C10 B	Oui
	14.03	ES		Jaune et appauvris, mais trop de variations stationnelles	?	Non
2013 2014	14.03 p14.05	ES + D	4,45	Jaune et appauvris, mais trop de variations stationnelles	C9	Non
	16.06	ES	5,85	Sol engorgé et sol perturbé, retourné / Itinéraire de reboisement différent	?	Non
	21.05, 21.06	ES		Sol engorgé (asphyxie) et peu profond	C5 → C6	Non

Reboisements de Cassebreuil

Année	Parcelle forestière	Essence	Surface (ha)	Caractéristiques	Type de station	Essai envisagé
2011	PF 3 (A)	ES	5,63	Bon état sanitaire, passé agricole	C10	Non
	PF 11	ES	4,85	Etat sanitaire moyen	C10 A	Oui
2012	PF 6	D + ES	2,74	Courbure pousse terminale sur Douglas,	C10	Non
	PF 6 sud	ES	2,80	Jaunâtre et appauvrie	C10-C11	Non
	PF 5 p	ES	3,60	Plantation jaunâtre et appauvrie, accroissement faible et plants de petite taille	C11	Oui
	PF 7p Ouest	ES + D	1,90	Travaux de préparation mal réalisé, en échec	C10	Non

Reboisements de Conveau

Année	Parcelle forestière	Essence	Surface (ha)	Caractéristiques	Type de station	Essai envisagé
2011	PF 6 d	ES + chêne		Bon état, plants verts et masse foliaire dense	C11	Non
	PF 9c	ES	9,2410	Appauvri et vert clair	C11	Oui
	PF 10 l	ES		Assez bon état sanitaire	C11	Non
	PF 18	ES	5,74	Perte des aiguilles de l'année, vert clair	C12 B	Non
2014	PF 10 n	ES + D	1.5840	Bon état sanitaire	C11	Non
	PF 7 a	ES	3,1376	Dessouchage, travail en plein (BE), terre retournée	C10 B	Oui

PROTOCOLE DE PRELEVEMENT DE SOL POUR ANALYSES EN VUE DE LEUR UTILISATION PAR LE LOGICIEL REGESOL

OBJECTIF

Le prélèvement de sol pour étude préalable est destiné à définir le niveau de fertilité initial de la parcelle forestière et identifier des carences afin de permettre au gestionnaire de décider de l'opportunité ou non d'amender ou fertiliser cette parcelle et de définir les produits et leur quantité.

METHODOLOGIE GENERALE

Définir des stations homogènes et effectuer un prélèvement de sol sur 5 points répartis uniformément dans chaque station.

MATERIELS ET LISTES DES PARCELLES

- ❖ Carte des parcelles
- ❖ GPS
- ❖ Appareil photo
- ❖ Bombes de couleur
- ❖ Fiche de terrain pour décrire la flore et les horizons du sol
- ❖ Guide COB et des Plantes indicatrices
- ❖ Tarière pédologique
- ❖ Sceaux
- ❖ Sacs épais, fermé hermétiquement
- ❖ Feutre indélébile
- ❖ Balance
- ❖ Mètre et décimètre

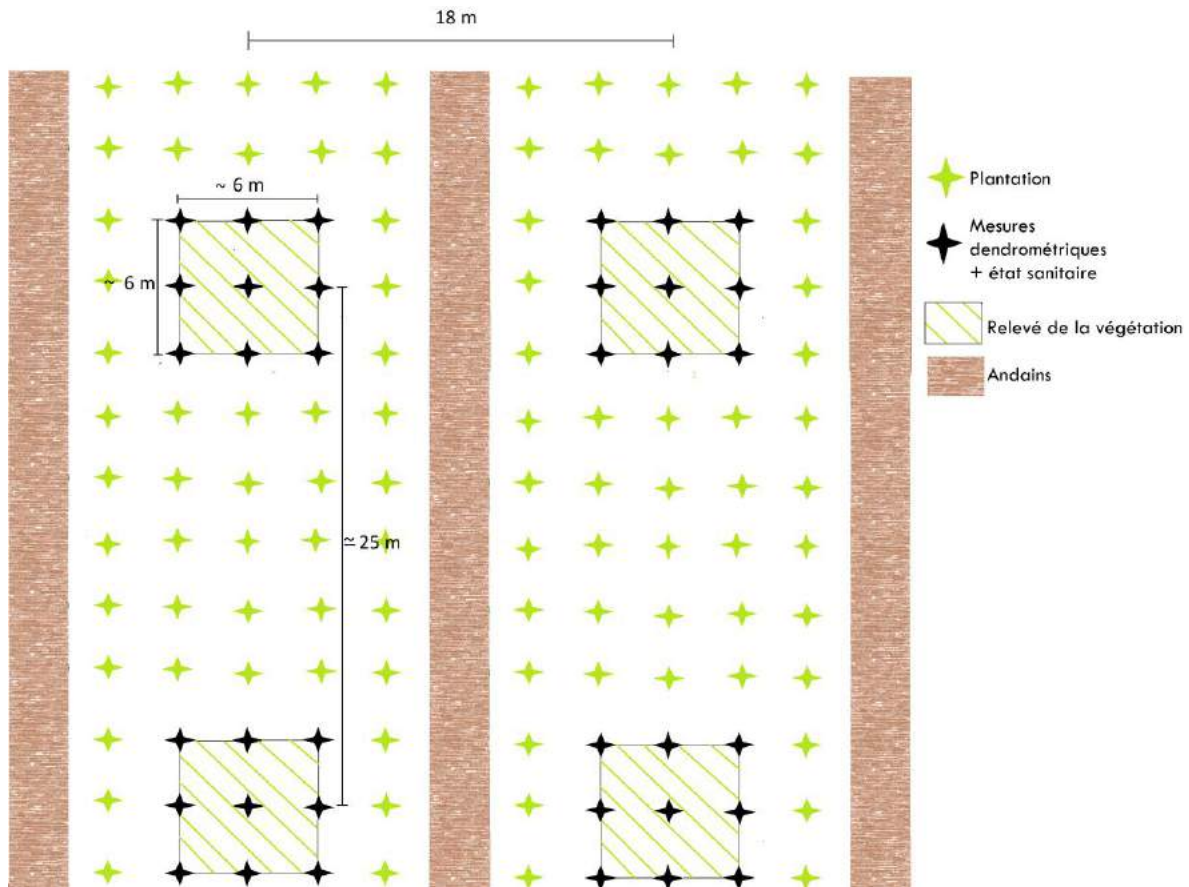
Liste des parcelles pour les prélèvements :

PF	Essences	Surface (ha)	Type de station	Nbr prélèvements
Forêt de Malaunay				
7.02	Epicéa de S.	1,6	C7	1
10.01-10.04	Epicéa de S. Douglas	9,2	C10 A à callune C10 A à genêt /fougère C 10 A à genêt/ajonc	3
17.02	Epicéa de S.Douglas	8,2	C10 B genêt/fougère + poche C12	1
Forêt de Cassebreuil				
11	Epicéa de S.	4,85	C10 A à fougère/callune [C10 A à Ajonc/genêt]	1
5p	Epicéa de S.	3,60	C11	1
Bois de Conveau				
9 c	Epicéa de S.		C11	1
7 a	Epicéa de S.	3,1376	C10 + poche C12	1

PROCEDURE

1. Vérifier l'homogénéité stationnelle

- Parcourir la parcelle en faisant un arrêt selon une maille régulière d'environ 25 m par 18 m et localiser ces points d'arrêt par un GPS (le plant du milieu correspond au point d'arrêt). Pensez à vous écarter des lisières



- Compléter la fiche terrain (Annexe 1) en notant à chaque arrêt sur 36 m² environs :
 - ✓ Les espèces dominantes¹ et leur recouvrement²
 - ✓ La taille moyenne des 9 plants à N et N-1 (pour calculer l'accroissement)
 - ✓ L'état sanitaire des 9 plants³

¹Groupe de végétation :

- 1 : Bruyères, Ajonc de Le Gall
- 2 : Callune, Molinie
- 3 : Fougère aigle, Ajonc d'Europe
- 4 : Houx, Myrtille, Polytric élégant, Germandrée, Digital
- 5 : Genêt à balais, ronce
- 6 : Houlque Molle, Chèvrefeuille, Noisetier

²Le recouvrement en % :

- + : individus isolé
- 1 : <5%
 - 2 : 5 -25%
 - 3 : 25-50 %
 - 4 : 50-75 %
 - 5 : >75 %

³L'état sanitaire des plants sera défini par un indice qui varie de 1 à 5 :

- 1 : Plant vert et vigoureux
- 2 : Plant vert clair et moyennement vigoureux
- 3 : Plant jaunâtre (décoloré) et maigre
- 4 : Plant dépérissant, défolié
- 5 : Plant mort

- Saisir les données sur Excel et cartographier sur MapInfo la végétation dominante, les accroissements moyens ainsi que l'état sanitaire des plants
- Délimiter les zones stationnelles homogènes à partir de la végétation dominante sur les cartes

2. Prélever des échantillons de sol

2.1 Décrire le sol :

- Faire une fosse pédologique ou une carotte sur un point central de la zone homogène, sur un endroit non perturbé, localiser ce sondage par un point GPS
- Décrire de manière détaillée le sol (couleur des horizons, profondeur, hydromorphie, texture)
- Estimer le pourcentage des cailloux (Utilisation de l'échelle comparative pour l'estimation visuelle des rapports de surface)

2.2. Faire l'échantillonnage pour les analyses :

- Répartir uniformément 5 points sur l'ensemble de la zone homogène grâce à la cartographie réalisée sur MapInfo
- Dégager, à chaque point, les couches organiques éventuelles
- Prélever le sol sur une épaisseur de 15 cm à la tarière pédologique
- Mettre cet échantillon dans un seau ou un sac en plastique propre, commun aux 5 points et mélanger pour homogénéisation les 5 prélèvements

2.3. Préparer et envoyer l'échantillon:

- Prélever, dans un sac prévu à cet effet, environ 1 kg de sol (avec les cailloux)
- Dupliquer cet échantillon pour en garder un « exemplaire »
- Ecrire les renseignements suivants au feutre indélébile :

Nom de la FORET - Année

Numéro de la PARCELLE

Couche 0 _ 15 cm

N° d'enregistrement

- Envoyer l'échantillon à l'adresse suivante :

I. N. R. A.

Laboratoire d'analyses des Sols

Dossier Amendement BEF-Nancy

273, rue de Cambrai, 62000 ARRAS

(Tél. : 21 59 92 24)

RESULTATS DE L'ANALYSE:

Les analyses suivantes sont demandées à l'INRA d'Arras :

- 🔍 Humidité à 105° C
- 🔍 Préparation échantillon, fractions grossières (> 2mm)
- 🔍 Granulométrie 5 fractions
- 🔍 pH eau, pH KCl
- 🔍 Phosphore (P₂O₅), méthode Duchofour
- 🔍 Taux de Cailloux, Granulométrie 5 Fractions
- 🔍 Carbone, Azote
- 🔍 CEC (extraction cobaltihexamine)
- 🔍 Calcium échangeable (extraction cobaltihexamine)
- 🔍 Magnésium échangeable (extraction cobaltihexamine)
- 🔍 Potassium échangeable (extraction cobaltihexamine)
- 🔍 Aluminium échangeable (extraction cobaltihexamine)
- 🔍 Protons (H⁺) échangeable (extraction cobaltihexamine)
Si sol destiné à une plantation de Douglas
- 🔍 Cuivre EDTA

A partir de ces analyses, le logiciel REGESOL pourra établir un diagnostic « amendement » de la zone étudiée en liaison avec les scientifiques de BEF, INRA centre de Nancy.

Forêt :

Date :

PF :

Point GPS :

Longitude :

Latitude :

N° arbre	Essence	Hauteur tot.	Hauteur N-1	Etat Saniaire	Observations
Arbre 1					
Arbre 2					
Arbre 3					
Arbre 4					
Arbre 5					
Arbre 6					
Arbre 7					
Arbre 8					
Arbre 9					

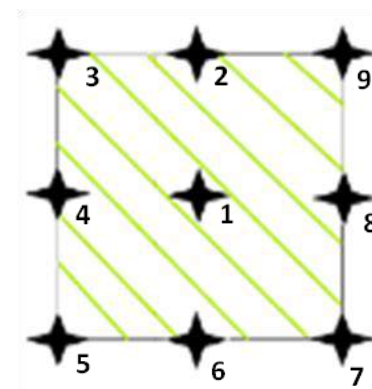
Codification de l'état sanitaire

- 0 Autre Problème
PV : Pucerons vert
C : Chevreuil
H : Hylob
- 1 Vert, vigoureux
- 2 Vert clair, plutôt maigre
- 3 Jaunâtre, maigre
- 4 Dépérissant, défolié
- 5 Mort

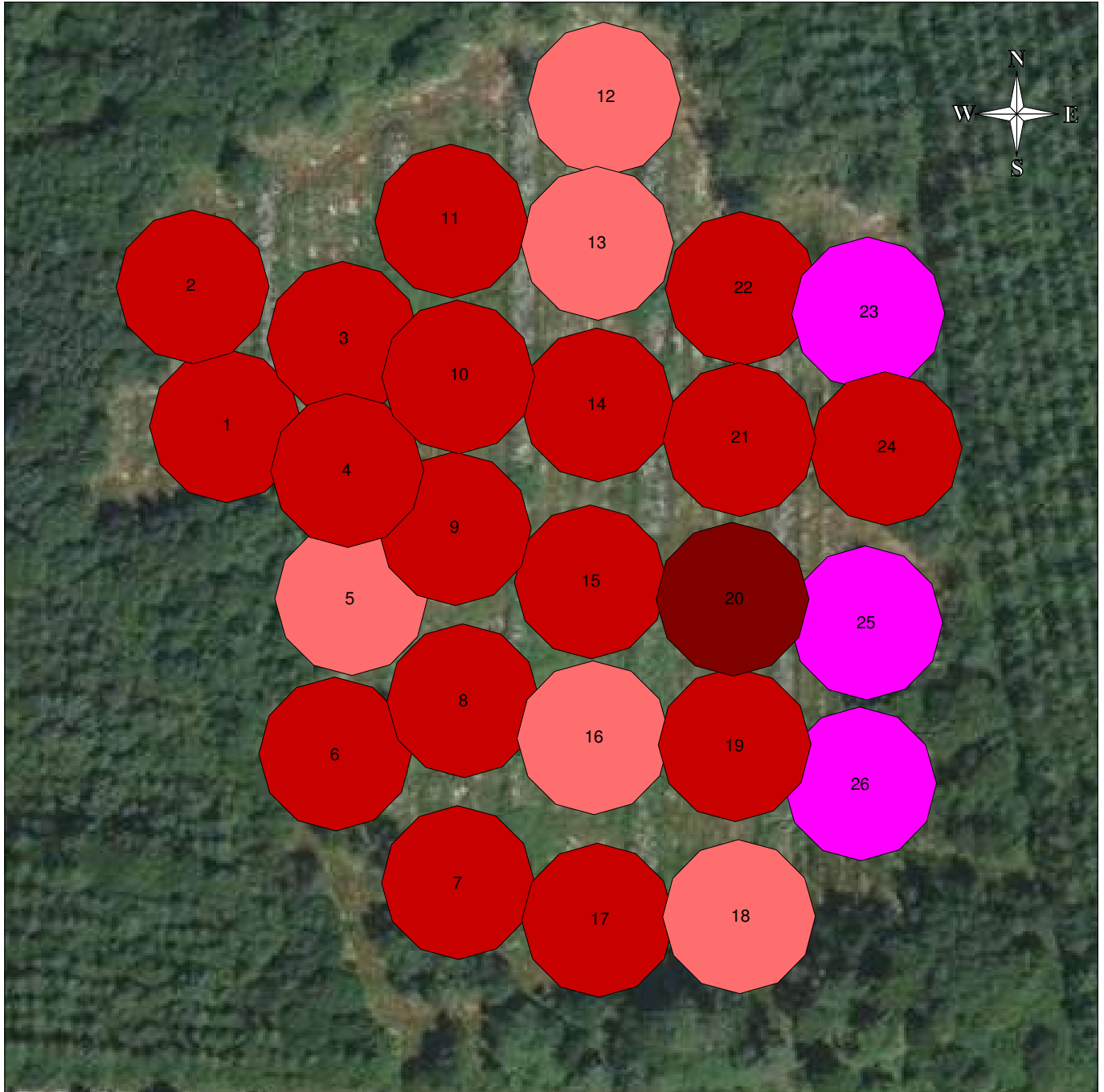
Dominance floristique

Groupe	Végétation		Recouvrement (%)
1	Bruyères	Ajonc de Le Gall	
2	Callune	Molinie	
3	Fougère aigle	Ajonc d'Europe	
4	Houx, Myrtille,	Polytric élégant	Gemandrée, Digital
5	Genêt à balais	Ronce	
6	Houlque molle	Chèvrefeuille	Noisetier

Sens d'observation



Groupe(s) floristique(s) dominant(s) par placette de la parcelle forestière 7,02 de la Forêt de Malaunay



Végétation dominante

- 1 : Bruyère - Ajonc de Le Gall (1)
- 2 : Callune - Molinie (17)
- 2-3 : Callune - Molinie et Fougère - Ajonc d'Europe (5)
- 2-5 : Callune - Molinie et Genêt - Ronce (3)

Camille Queinnec
CRPF de Bretagne - CETEF 22
PF 7,02 - Forêt de Malaunay (22)
Echelle 1 : 1000
Le 06/07/16

Accroissement moyen par placette de la parcelle forestière 7,02 de la Forêt de Malaunay

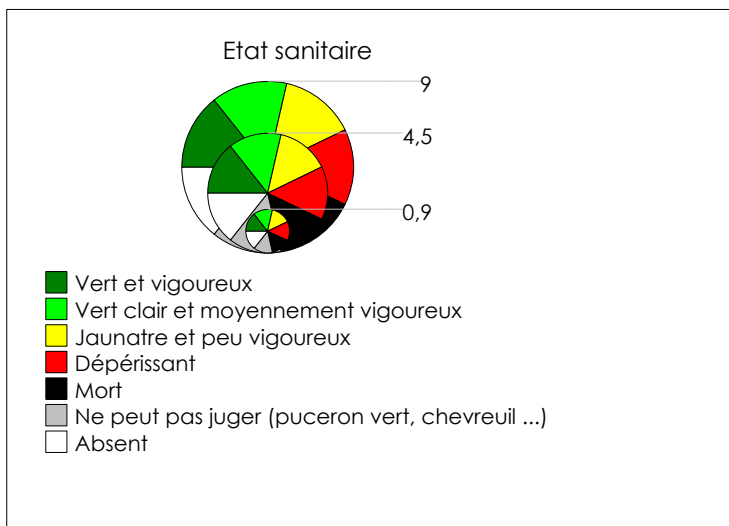
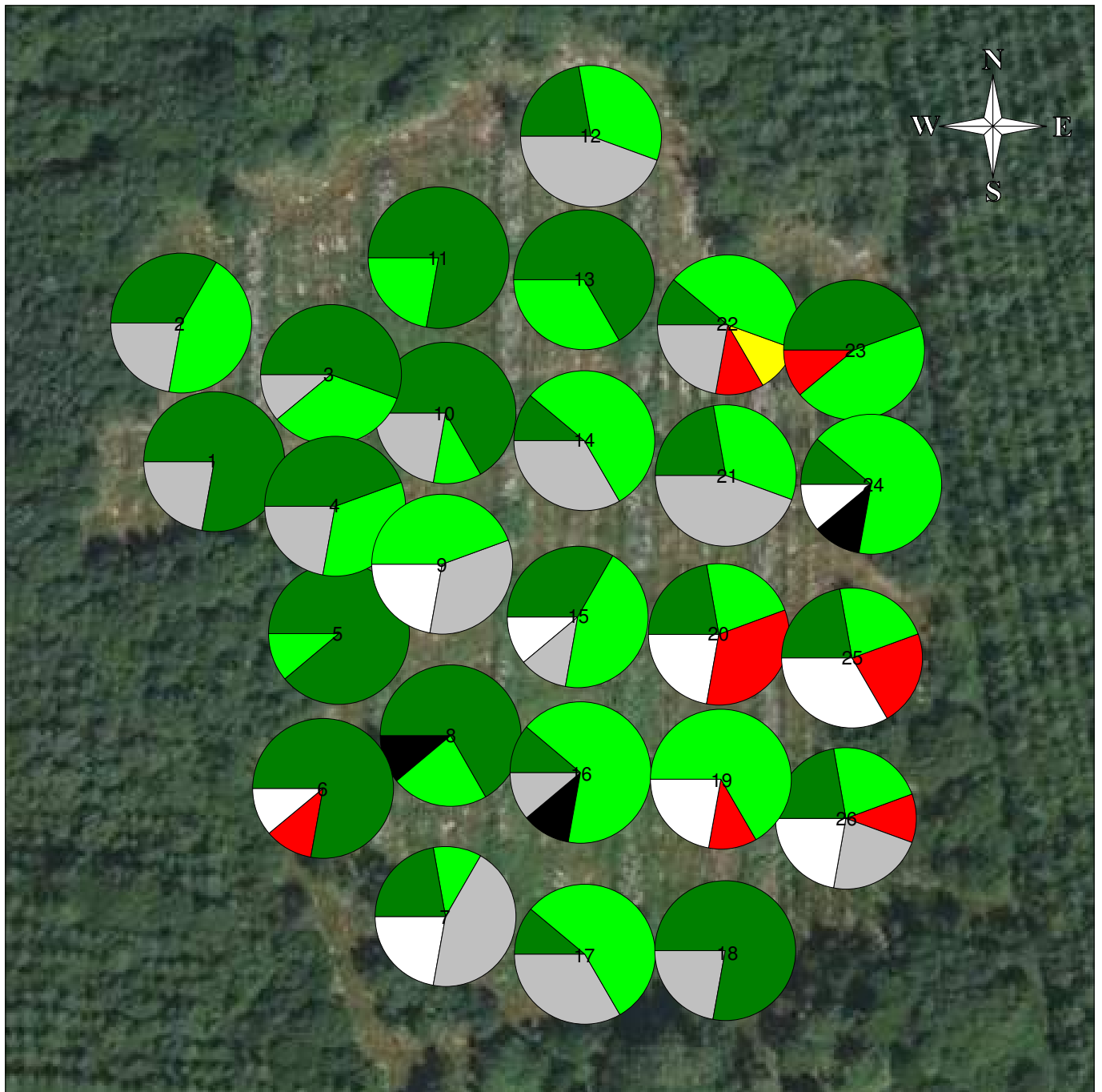


Accroissement N-1 moyen (cm)

- 0 - 15 (1)
- 15 - 30 (21)
- 30 - 45 (4)

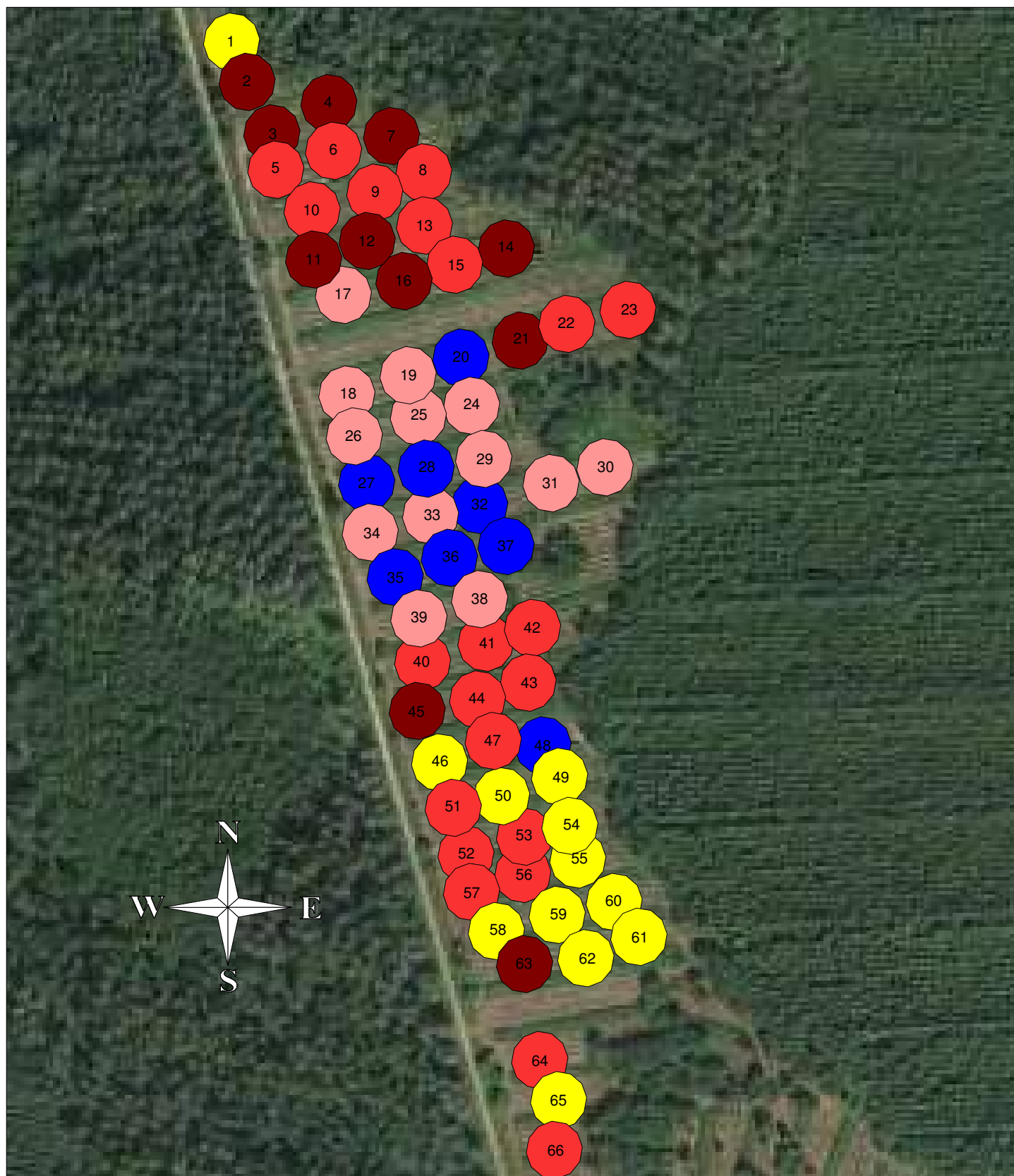
Camille Queinnec
CRPF de Bretagne - CETEF 22
PF 7,02 - Forêt de Malaunay (22)
Echelle 1 : 1000
Le 06/07/16

Etat sanitaire par placette de la parcelle forestière 7,02 de la Forêt de Malaunay



Camille Queinnec
CRPF de Bretagne - CETEF 22
PF 7,02 - Forêt de Malaunay (22)
Echelle 1 : 1000
Le 06/07/16

Groupe(s) floristique(s) dominant(s) par placette de la parcelle forestière 10,01-10,04 de la Forêt de Malaunay

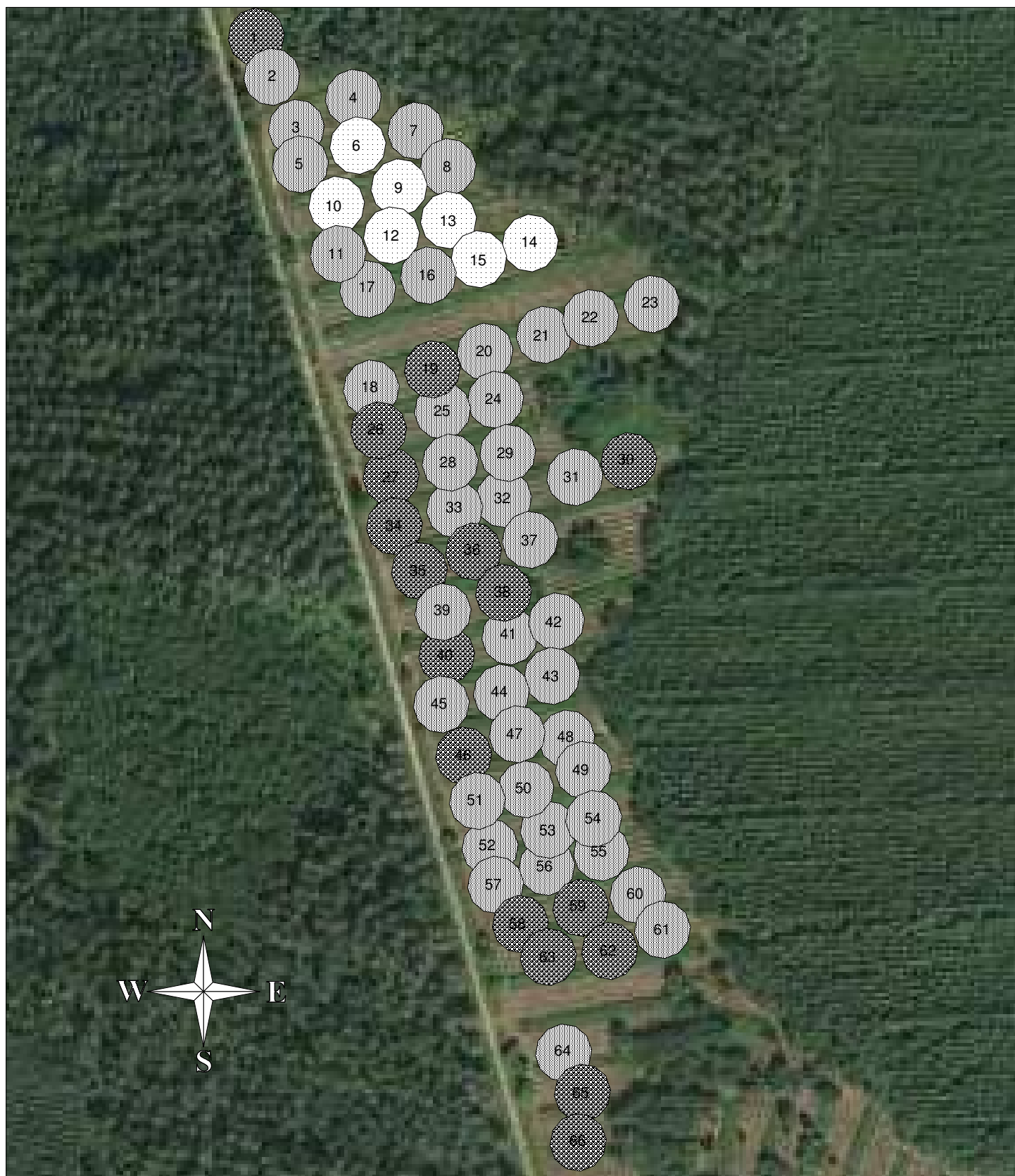


Groupe(s) floristique(s) dominant(s)

■ 2 : Callune - Molinie	(11)
■ 2-3 : Callune - Molinie et Fougère - Ajonc d'Europe	(22)
■ 2-5 : Callune - Molinie et Genêt - Ronce	(13)
■ 3 : Fougère - Ajonc d'Europe	(12)
■ 5 : Genêt - Ronce	(8)

Camille Queinnec
CRPF de Bretagne - CETEF 22
PF 10,01-10,04 - Forêt de Malaunay (22)
Echelle 1 : 2500
Le 06/07/16

Accroissement moyen par placette de la parcelle forestière 10,01-10,04 de la Forêt de Malaunay

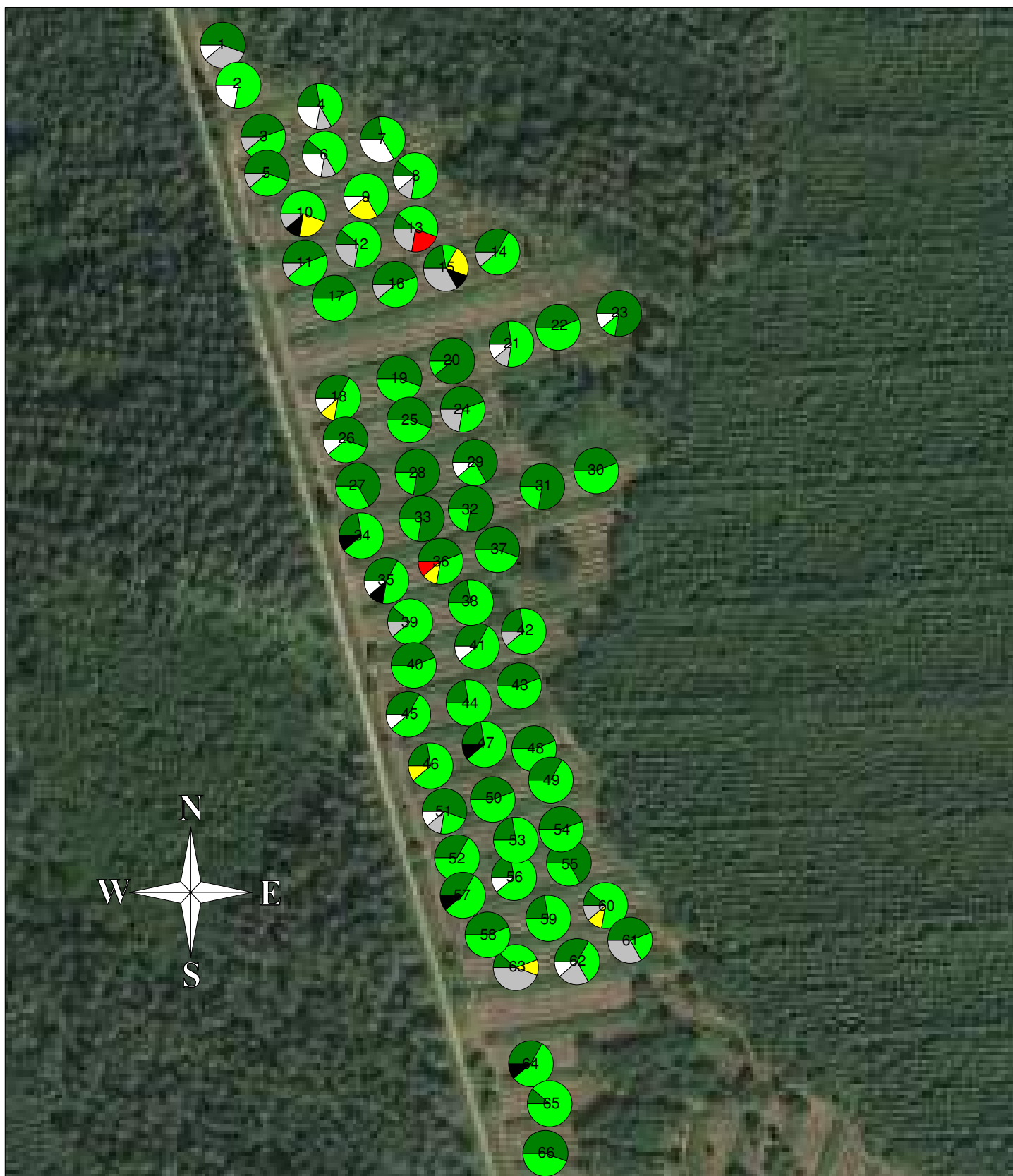


Accroissement N-1 moyen (cm)

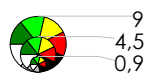
- 0 - 20 (7)
- 20 - 40 (42)
- 40 - 60 (17)

Camille Queinnec
CRPF de Bretagne - CETEF 22
PF 10,01-10,04 - Forêt de Malaunay (22)
Echelle 1 : 2500
Le 06/07/16

Etat sanitaire par placette de la parcelle forestière 10,01-10,04 de la Forêt de Malaunay



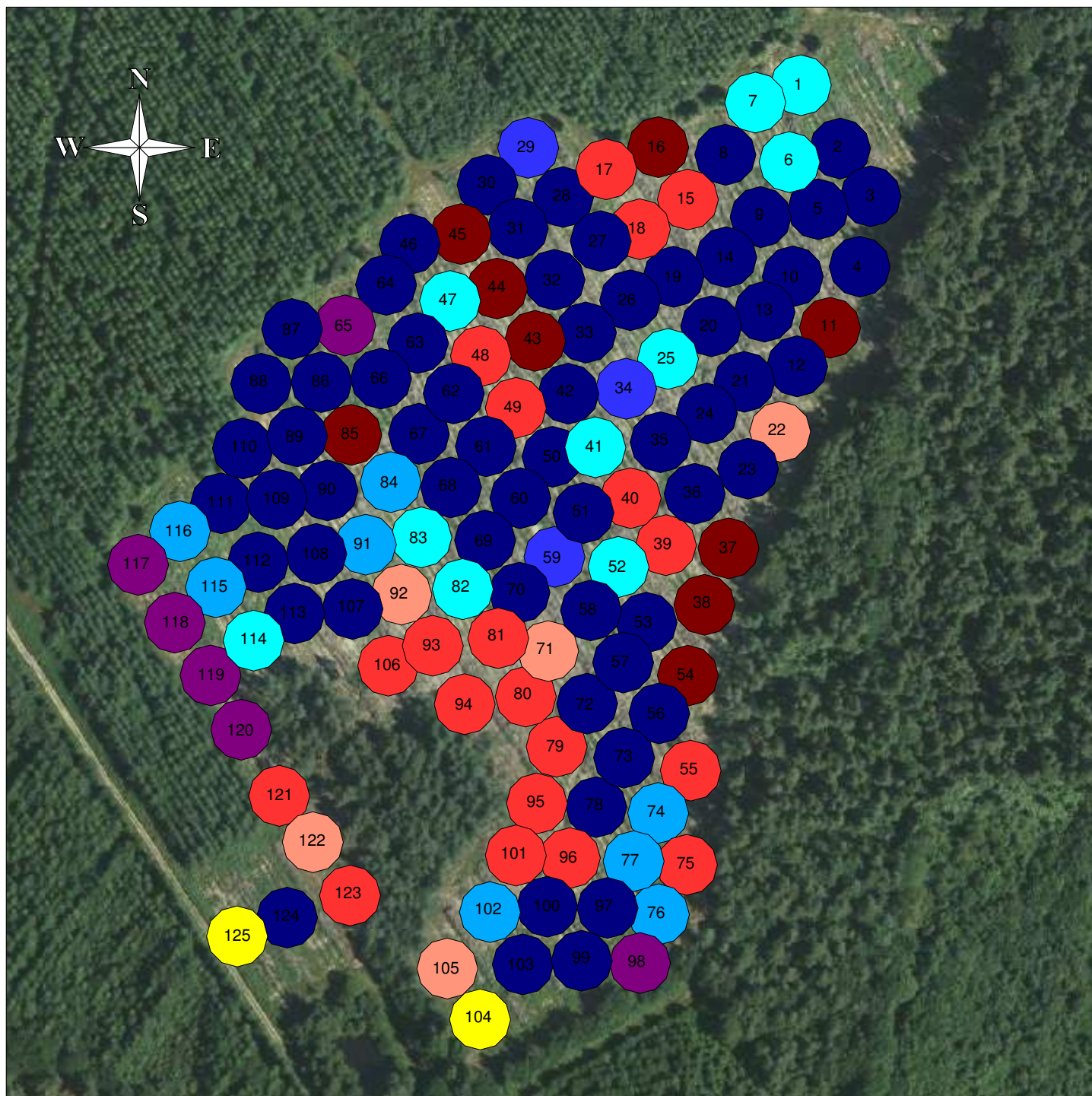
Etat sanitaire



- Vert et vigoureux
- Vert clair et moyennement vigoureux
- Jaunâtre et peu vigoureux
- Déperissant
- Mort
- Ne peut pas juger (puceron vert, chevreuil ...)
- Absent

Camille Queinnec
CRPF de Bretagne - CETEF 22
PF 10,01-10,04 - Forêt de Malaunay (22)
Echelle 1 : 2500
Le 06/07/16

Groupe(s) floristique(s) dominant(s) par placette de la parcelle forestière 17,02 de la Forêt de Malaunay

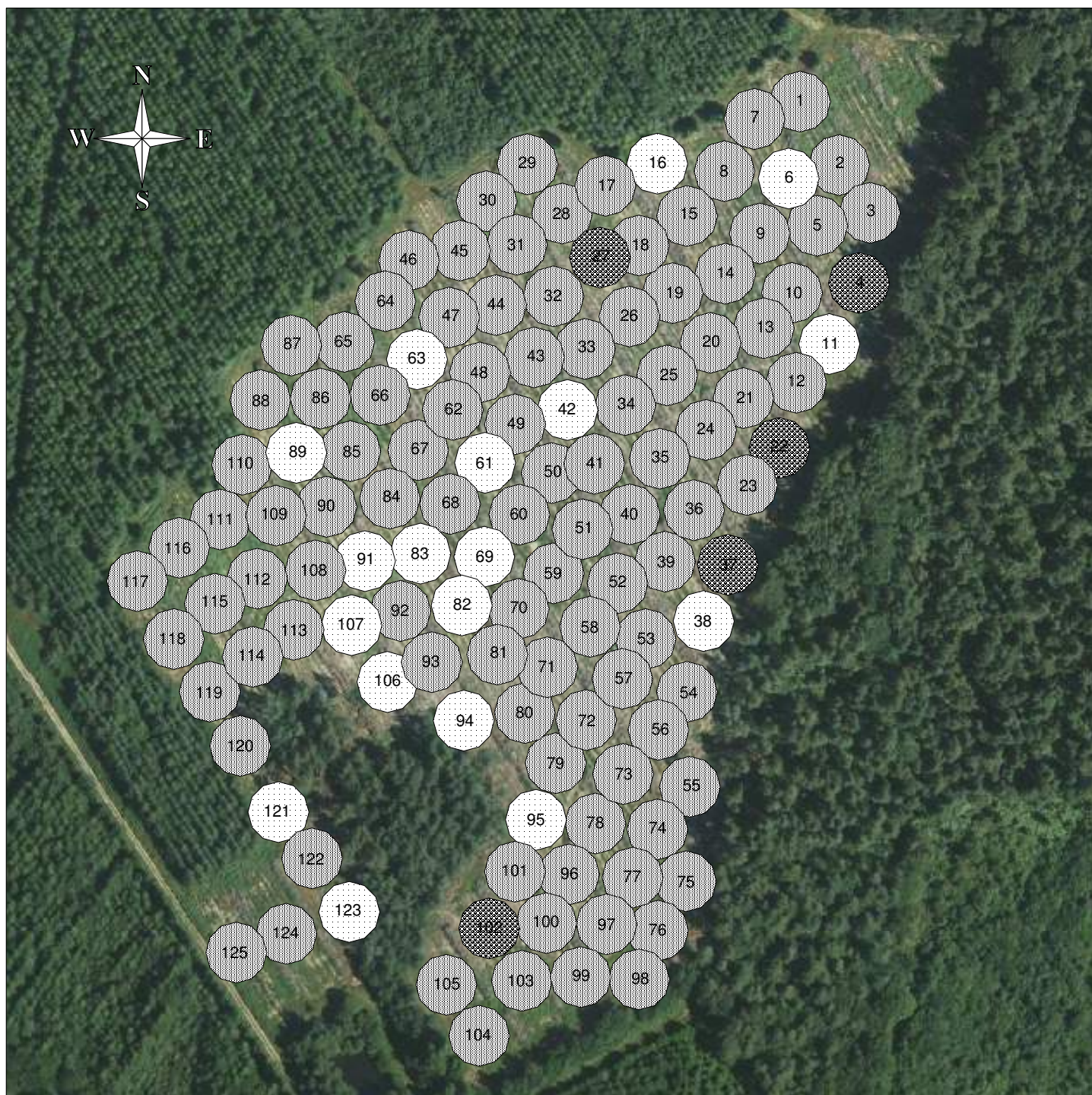


Groupe(s) floristique(s) dominant(s)




■ 2-1 : Callune - Molinie et Bryère - Ajonc de Le Gall	(9)
■ 2 : Callune - Molinie	(20)
■ 2-3 : Callune - Molinie et Fougère - Ajonc d'Europe	(5)
■ 5-2 : Genêt - Ronce et Callune - Molinie	(10)
■ 3 : Fougère - Ajonc d'Europe	(2)
■ 5-3 : Genêt - Ronce et Fougère - Ajonc d'Europe	(8)
■ 5-4 : Genêt - Ronce et Espèces forestières	(3)
■ 5 : Genêt - Ronce	(62)
■ 6 : Houlique Molle et Chèvrefeuille	(6)

Camille Queinnec
 CRPF de Bretagne - CETEF 22
 PF 17,02 - Forêt de Malaunay (22)
 Echelle 1 : 2500
 Le 06/07/16

Accroissement moyen par placette de la parcelle forestière 17,02 de la Forêt de Malaunay

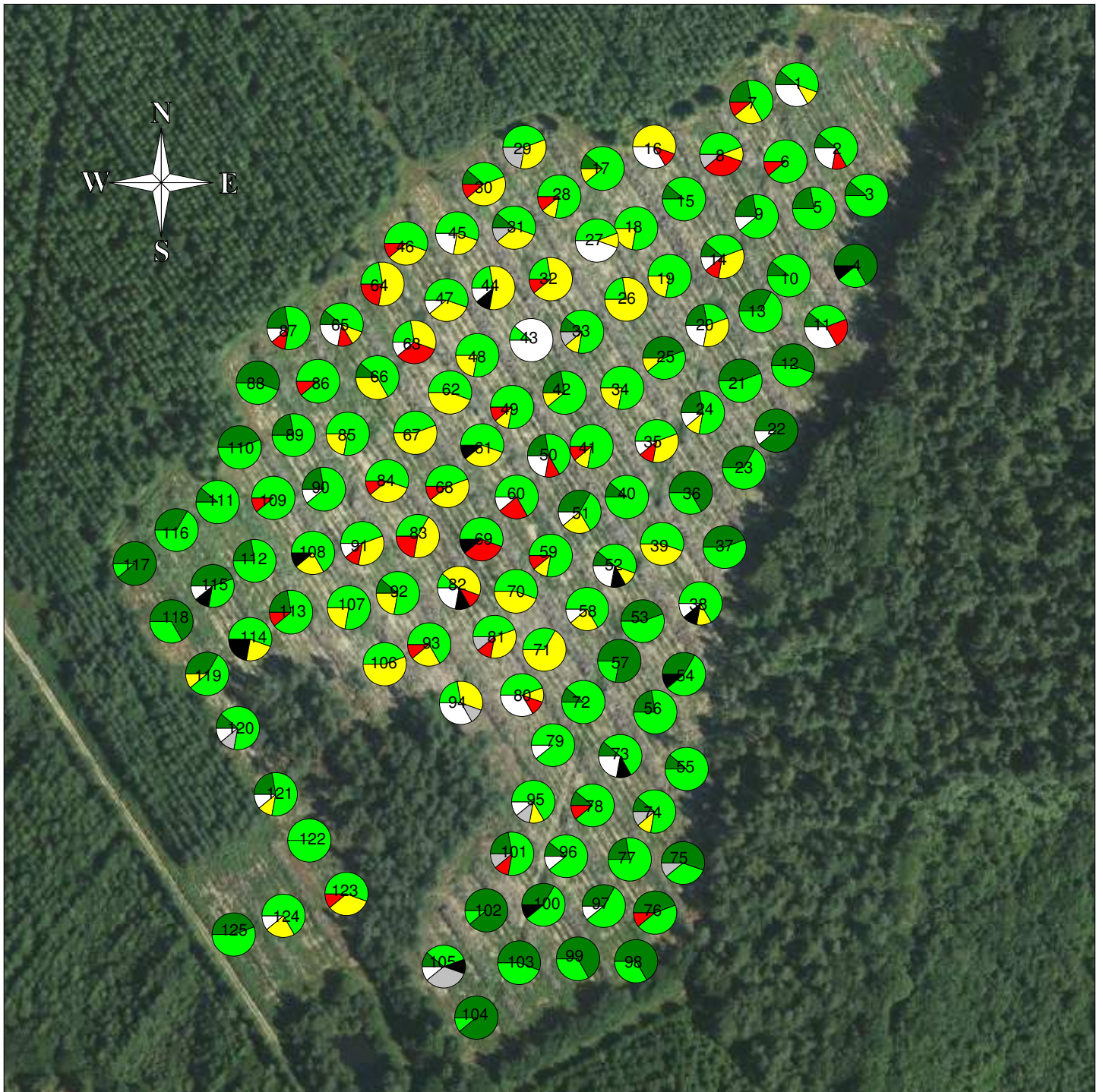


Accroissement N-1 moyen (cm)

-  0 - 25 (18)
-  25 - 50 (102)
-  50 - 75 (5)

Camille Queinnec
CRPF de Bretagne - CETEF 22
PF 17,02 - Forêt de Malaunay (22)
Echelle 1 : 2500
Le 06/07/16

Etat sanitaire par placette de la parcelle forestière 17,02 de la Forêt de Malaunay



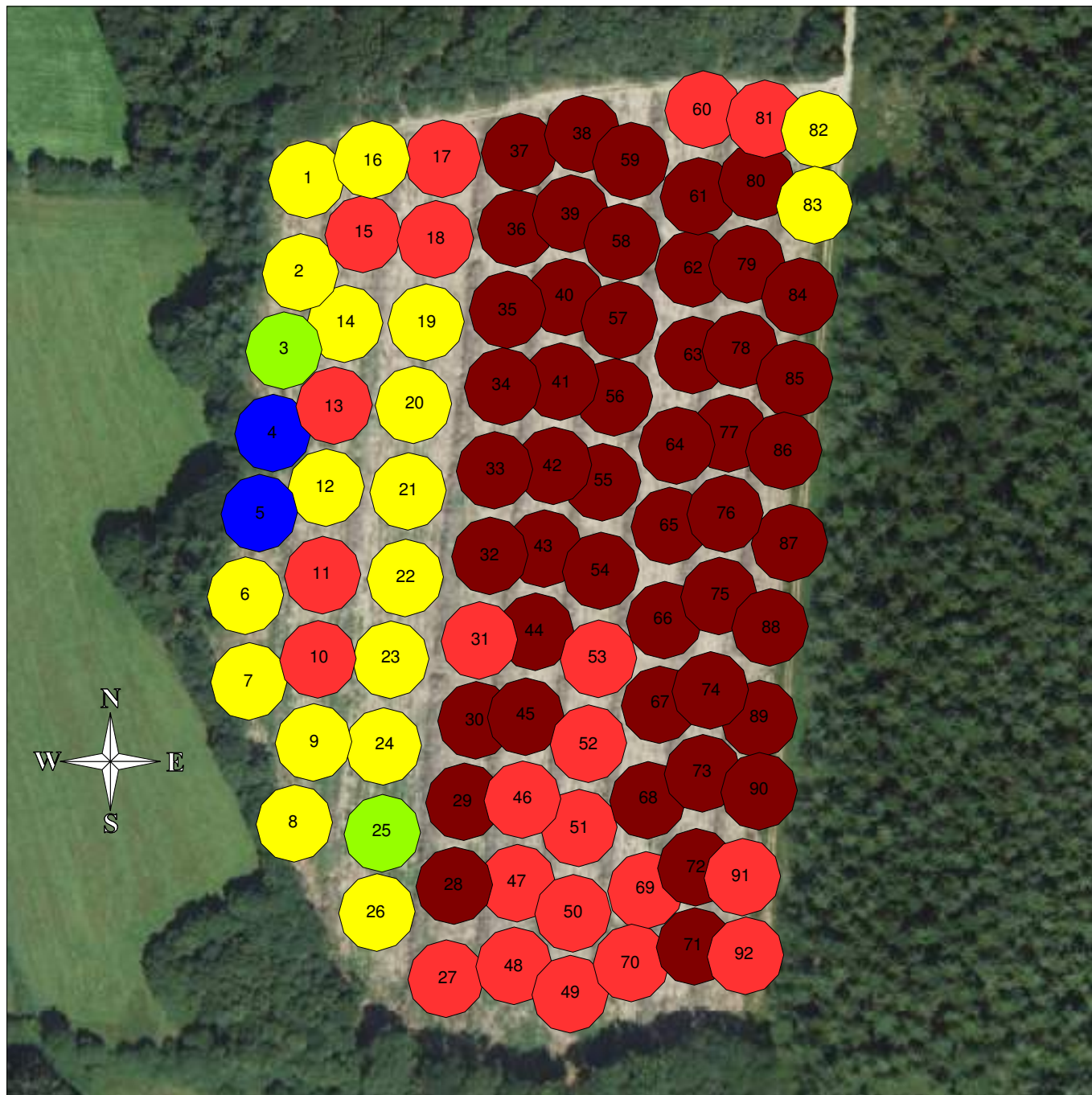
Etat sanitaire



- Vert et Vigoureux
- Vert clair et moyennement vigoureux
- Jaunâtre et peu vigoureux
- Dépérissant
- Mort
- Ne peut pas juger (puceron vert, chevreuil ...)
- Absent

Camille Queinnec
CRPF de Bretagne - CETEF 22
PF 17.02 - Forêt de Malaunay (22)
Echelle 1 : 2500
Le 06/07/16

Groupe(s) floristique(s) dominant(s) par placette de la parcelle forestière 11 de la Forêt de Cassebreuil



Groupe(s) floristique(s) dominant(s)

■ 2 : Callune - Molinie	(48)
■ 2-3 : Callune - Molinie et Fougère - Ajonc d'Europe	(22)
■ 3 : Fougère - Ajonc d'Europe	(18)
■ 3-6 : Fougère - Ajonc d'Europe et Houlque molle - Chèvrefeuille	(2)
■ 5 : Genêt - Ronce	(2)

Camille Queinnec
 CRPF de Bretagne - CETEF 22
 PF 11 - Forêt de Cassebreuil
 Commune de La Motte (22)
 Echelle 1 : 2000
 Le 06/07/16

Accroissement moyen par placette de la parcelle forestière 11 de la Forêt de Cassebreuil

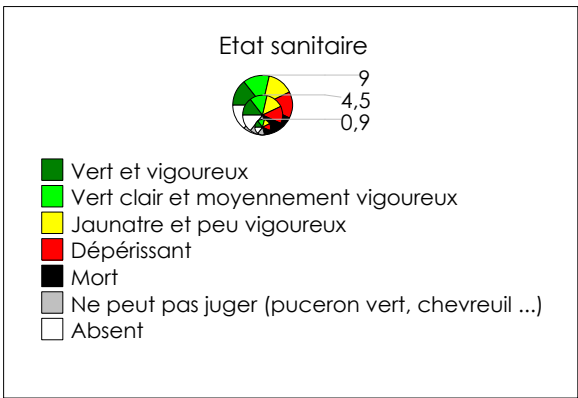


Accroissement N-1 moyen (cm)

- 0 - 25 (11)
- ▒ 25 - 50 (66)
- 50 - 75 (15)

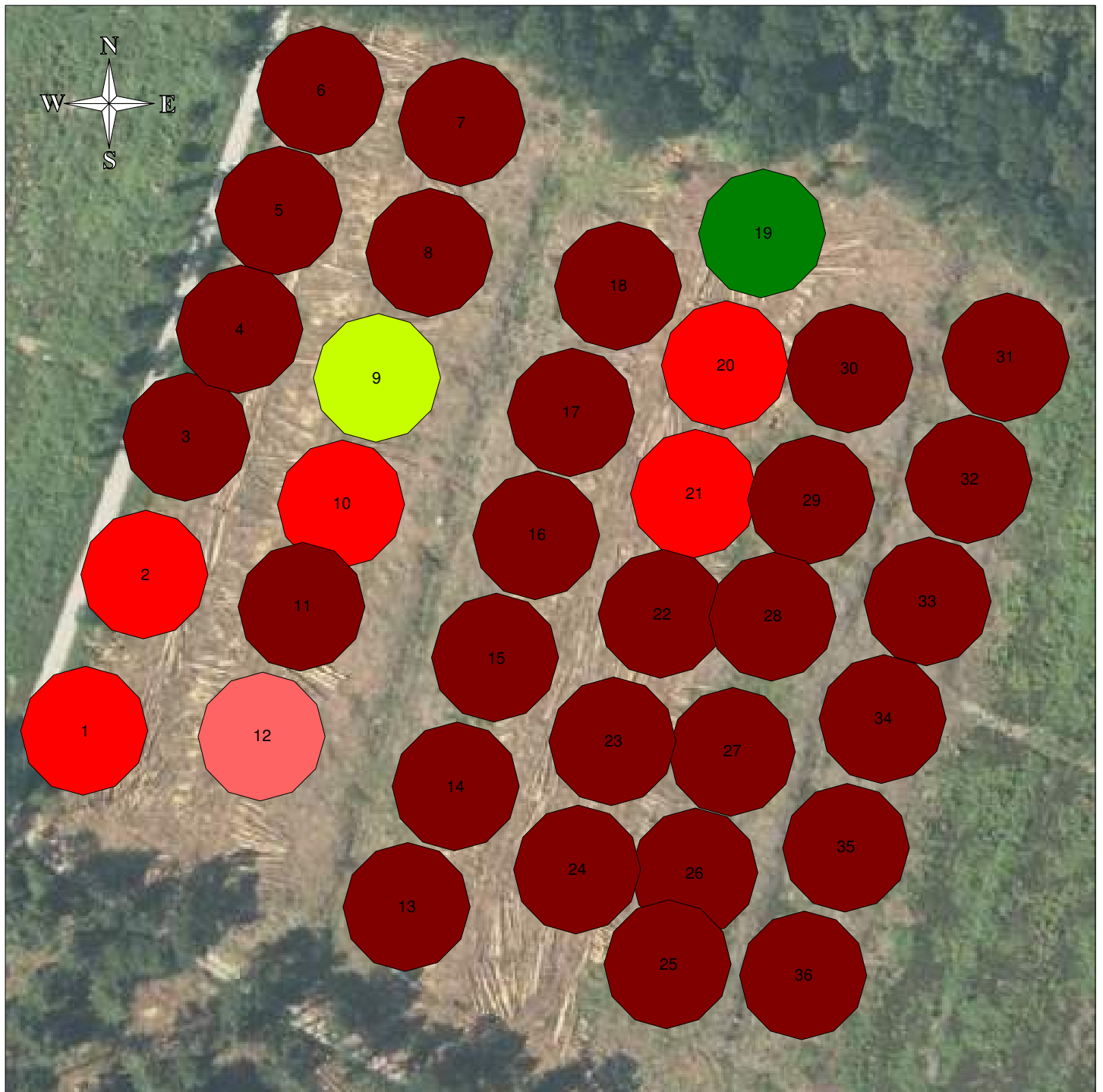
Camille Queinnec
CRPF de Bretagne - CETEF 22
PF 11 - Forêt de Cassebreuil - Commune de La Motte (22)
Echelle 1 : 2000
Le 06/07/16

Etat sanitaire par placette de la parcelle forestière 11 de la Forêt de Cassebreuil



Camille Queinnec
 CRPF de Bretagne - CETEF 22
 PF 11- Forêt de Cassebreuil - Commune de La Motte (22)
 Echelle 1 : 2000
 Le 06/07/16

Groupe(s) floristique(s) dominant(s) par placette de la parcelle forestière 9c du Bois de Conveau



Groupe(s) floristique(s) dominant(s)

■ 2 : Callune - Molinie	(28)
■ 2-3 : Callune - Molinie et Fougère - Ajonc d'Europe	(5)
■ 2-4 : Callune - Molinie et Espèces forestières	(1)
■ 3-4 : Fougère - Ajonc d'Europe et Espèces forestières	(1)
■ 4 : Espèces forestières	(1)

Camille Queinnec

CRPF de Bretagne - CETEF 22

PF 9c - Bois de Conveau - Commune de Gourin (56)

Echelle 1 : 1200

Le 06/07/16

Accroissement moyen par placette de la parcelle forestière 9c du Bois de Conveau

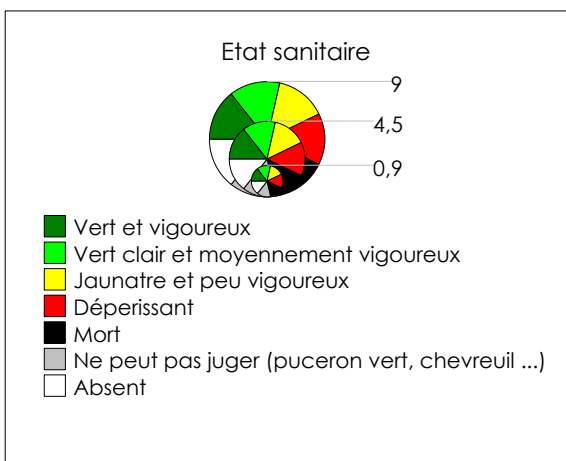
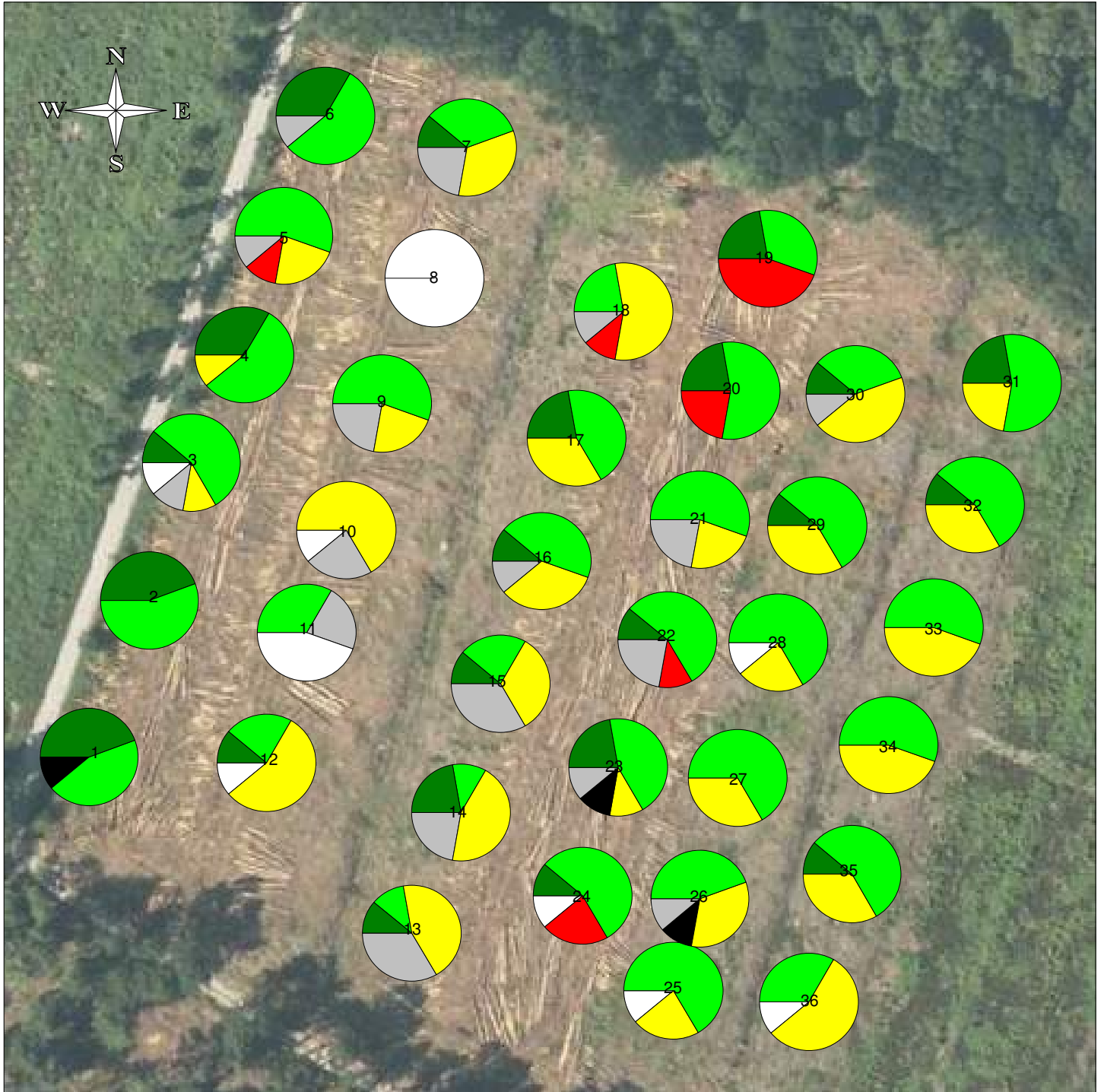


Accroissement N-1 moyen (cm)

- 0 - 15 (20)
- 15 - 30 (15)

Camille Queinnec
CRPF de Bretagne - CETEF 22
PF 9c - Bois de Conveau - Commune de Gourin (56)
Echelle 1 : 1200
Le 06/07/16

Etat sanitaire par placette de la parcelle forestière 9c du Bois de Conveau



Camille Queinnec
CRPF de Bretagne - CETEF 22
PF 9c - Bois de Conveau - Commune de Gourin (56)
Echelle 1 : 1200
Le 06/07/16

Nota : Présence de regarnis et de Douglas sur la parcelle



LABORATOIRE
D'ANALYSES DES SOLS
D'ARRAS

ENVOI DES RESULTATS

Le 25/07/16

CRPF DE BRETAGNE
MME CAMILLE QUEINNEC
4 RUE DE LA PASSERELLE

22200 GUINGAMP

Madame, Monsieur,

Vous voudrez bien trouver ci-joints les résultats des analyses réalisées sur vos échantillons. Nos méthodes, nos outils de mesure font l'objet de contrôles métrologiques permanents et nos déterminations les plus courantes sont réalisées sous accréditation délivrée par le Comité français d'accréditation. Vous pouvez consulter la portée de notre accréditation (dossier n° I-1380) sur le site www.cofrac.fr à la rubrique "recherche d'organismes". Pour une identification rapide sur les bulletins d'analyses, les déterminations réalisées sous accréditation sont repérées par le logotype du cofrac.

En faisant mention de cette accréditation, vous donnerez une valeur ajoutée à vos productions scientifiques en ce qui concerne la qualité des résultats analytiques utilisés.

Nous restons à votre disposition pour tout complément d'information mais vous pouvez également trouver des réponses à vos questions sur notre site à l'adresse www.arras.inra.fr. Les principales caractéristiques des déterminations réalisées dans notre laboratoire y sont décrites.

Il vous est possible de récupérer les données analytiques sous forme de fichiers informatiques pour faciliter le traitement de vos résultats. Ces informations ne sont disponibles qu'après validation des rapports d'analyses. Pour assurer la confidentialité des données vous devez disposer de votre code client "payeur" figurant sur la facture ainsi que d'un code d'accès qui peut vous être fourni par Jean Philippe Fagniez qui administre notre système informatique (Jean-Philippe.Fagniez@arras.inra.fr).

Vous remerciant de votre confiance,

Nous vous prions d'agréer Madame, Monsieur, l'expression de nos sentiments les meilleurs.

A. RICHARD
Directeur du laboratoire



Le 25/07/16

RAPPORT D'ESSAI

CRPF DE BRETAGNE
MME CAMILLE QUEINNEC
4 RUE DE LA PASSERELLE

Numero Echantillon: 200453653
Soumission: 100136094
Date de Reception: 10/06/16
Date de mise en analyse: 18/07/16

22200 GUINGAMP



Accréditation Cofrac N°1-1380
Portée disponible sur
www.cofrac.fr

Version: 1

Votre Reference: BEF-CETEF-01

16-29

L'accréditation du COFRAC atteste de la compétence du Laboratoire pour les seuls essais couverts par l'accréditation identifiés par le symbole

 SOL-0102 Broyage échantillon (diamètre < 250µm) (NF ISO 11464)

Broyage (< 250 µm) fait -

 SOL-0103 Préparation des sols (NF ISO 11464)

Préparation fait -

 SOL-0201 Teneur en eau résiduelle à 105°C (NF ISO 11465) - g/kg

Humidité 12.4 g/kg

SOL-0301 Taux d'éléments grossiers (Terre fine, graviers, cailloux) (méth. INRA) - g/kg

Terre fine (<2mm) 970 g/kg

graviers (0.2-0.5 cm) 22.4 g/kg

Cailloux (>0.5 cm) 7.99 g/kg

 SOL-0302 Granulométrie 5 fractions sans décarbonatation (NF X 31-107) - g/kg

Argile (< 2 µm) 128 g/kg

Limons fins (2/20 µm) 208 g/kg

Limons grossiers (20/50 µm) 441 g/kg

Sables fins (50/200 µm) 183 g/kg

Sables grossiers (200/2000 µm) 40 g/kg

 SOL-0406 Carbone (C) total et azote (N) total (NF ISO 10694 et NF ISO 13878) - g/kg

Carbone (C) total 32.2 g/kg

Azote (N) total 1.31 g/kg

 SOL-0501 pH eau (NF ISO 10390)

pH 4.52 -

Ce rapport d'essai ne doit pas être reproduit sinon en entier sans l'autorisation écrite du laboratoire.

Ce rapport ne concerne que les échantillons soumis à l'analyse.

Sauf indication contraire (p_sec) les résultats sont exprimés par rapport à un sol séché à l'air.

Laboratoire d'Analyses des Sols d'Arras 273 Rue de Cambrai
62000 Arras



Le 25/07/16

RAPPORT D'ESSAI

CRPF DE BRETAGNE
MME CAMILLE QUEINNEC
4 RUE DE LA PASSERELLE


Numero Echantillon: 200453653
Soumission: 100136094
Date de Reception: 10/06/16
Date de mise en analyse: 18/07/16

22200 GUINGAMP



Accréditation Cofrac N°1-1380
Portée disponible sur
www.cofrac.fr

Version: 1 Votre Reference: BEF-CETEF-01

L'accréditation du COFRAC atteste de la compétence du Laboratoire pour les seuls
essais couverts par l'accréditation identifiés par le symbole 

 SOL-0503 pH KCL N (NF ISO 10390)

pH 3.59 -

SOL-0603 Phosphore (P2O5) - méthode Duchaufour (méth. INRA) - g/kg

Phosphore (P2O5) 0.025 g/kg

 SOL-0710 Capacité d'échange cationique cobaltihexamine (spectrocolorimétrie) (NF
ISO 23470) - cmol+/kg

CEC cobaltihexamine 4.99 cmol+/kg

SOL-0717 Protons (H+) échangeables à la cobaltihexamine (titrimétrie) (méth. INRA)
- cmol+/kg

Protons (H+) 0.3 cmol+/kg

 SOL-0719 Ca, Mg, Na, K, Fe, Mn, Al échangeables à la cobaltihexamine (ICP-AES/EAF)
(NF ISO 23470) - cmol+/kg

Calcium (Ca) 0.401 cmol+/kg

Magnésium (Mg) 0.329 cmol+/kg

Sodium (Na) 0.0974 cmol+/kg

Potassium (K) 0.118 cmol+/kg

Fer (Fe) 0.0824 cmol+/kg

Manganèse (Mn) 0.0178 cmol+/kg

Aluminium (Al) 3.75 cmol+/kg

Richard Antoine 
pour le Directeur du Laboratoire

Fin du rapport de l'échantillon 200453653

Ce rapport d'essai ne doit pas être reproduit sinon en entier sans l'autorisation
écrite du laboratoire.

Ce rapport ne concerne que les échantillons soumis à l'analyse.

Sauf indication contraire (p_{sec}) les résultats sont exprimés par rapport à un sol
séché à l'air.

Laboratoire d'Analyses des Sols d'Arras 273 Rue de Cambrai
62000 Arras



Le 25/07/16

RAPPORT D'ESSAI

CRPF DE BRETAGNE
MME CAMILLE QUEINNEC
4 RUE DE LA PASSERELLE

Numero Echantillon: 200453654
Soumission: 100136094
Date de Reception: 10/06/16
Date de mise en analyse: 18/07/16

22200 GUINGAMP



Accréditation Cofrac N°1-1380
Portée disponible sur
www.cofrac.fr

Version: 1

Votre Reference: BEF-CETEF-02

16-29

L'accréditation du COFRAC atteste de la compétence du Laboratoire pour les seuls essais couverts par l'accréditation identifiés par le symbole

SOL-0102 Broyage échantillon (diamètre < 250µm) (NF ISO 11464)

Broyage (< 250 µm) fait -

SOL-0103 Préparation des sols (NF ISO 11464)

Préparation fait -

SOL-0201 Teneur en eau résiduelle à 105°C (NF ISO 11465) - g/kg

Humidité 12 g/kg

SOL-0301 Taux d'éléments grossiers (Terre fine, graviers, cailloux) (méth. INRA) - g/kg

Terre fine (<2mm) 988 g/kg

graviers (0.2-0.5 cm) 11.2 g/kg

Cailloux (>0.5 cm) 0.48 g/kg

SOL-0302 Granulométrie 5 fractions sans décarbonatation (NF X 31-107) - g/kg

Argile (< 2 µm) 124 g/kg

Limons fins (2/20 µm) 217 g/kg

Limons grossiers (20/50 µm) 447 g/kg

Sables fins (50/200 µm) 183 g/kg

Sables grossiers (200/2000 µm) 29 g/kg

SOL-0406 Carbone (C) total et azote (N) total (NF ISO 10694 et NF ISO 13878) - g/kg

Carbone (C) total 29.7 g/kg

Azote (N) total 1.01 g/kg

SOL-0501 pH eau (NF ISO 10390)

pH 4.39 -

Ce rapport d'essai ne doit pas être reproduit sinon en entier sans l'autorisation écrite du laboratoire.

Ce rapport ne concerne que les échantillons soumis à l'analyse.

Sauf indication contraire (p_sec) les résultats sont exprimés par rapport à un sol séché à l'air.



Le 25/07/16

RAPPORT D'ESSAI

CRPF DE BRETAGNE
MME CAMILLE QUEINNEC
4 RUE DE LA PASSERELLE

Numero Echantillon: 200453654
Soumission: 100136094
Date de Reception: 10/06/16
Date de mise en analyse: 18/07/16

22200 GUINGAMP



Accréditation Cofrac N°1-1380
Portée disponible sur
www.cofrac.fr

Version: 1 Votre Reference: BEF-CETEF-02

L'accréditation du COFRAC atteste de la compétence du Laboratoire pour les seuls essais couverts par l'accréditation identifiés par le symbole

 SOL-0503 pH KCL N (NF ISO 10390)

pH 3.73 -

SOL-0603 Phosphore (P205) - méthode Duchaufour (méth. INRA) - g/kg

Phosphore (P205) 0.024 g/kg

 SOL-0710 Capacité d'échange cationique cobaltihexamine (spectrocolorimétrie) (NF ISO 23470) - cmol+/kg

CEC cobaltihexamine 4.4 cmol+/kg

SOL-0717 Protons (H+) échangeables à la cobaltihexamine (titrimétrie) (méth. INRA) - cmol+/kg

Protons (H+) 0.18 cmol+/kg

 SOL-0719 Ca, Mg, Na, K, Fe, Mn, Al échangeables à la cobaltihexamine (ICP-AES/EAF) (NF ISO 23470) - cmol+/kg

Calcium (Ca) 0.181 cmol+/kg

Magnésium (Mg) 0.173 cmol+/kg

Sodium (Na) 0.0663 cmol+/kg

Potassium (K) 0.0755 cmol+/kg

Fer (Fe) 0.0594 cmol+/kg

Manganèse (Mn) 0.0052 cmol+/kg

Aluminium (Al) 3.77 cmol+/kg

Richard Antoine 
pour le Directeur du Laboratoire

Fin du rapport de l'échantillon 200453654

Ce rapport d'essai ne doit pas être reproduit sinon en entier sans l'autorisation écrite du laboratoire.

Ce rapport ne concerne que les échantillons soumis à l'analyse.

Sauf indication contraire (p_sec) les résultats sont exprimés par rapport à un sol séché à l'air.

Laboratoire d'Analyses des Sols d'Arras 273 Rue de Cambrai
62000 Arras



Le 25/07/16

RAPPORT D'ESSAI

CRPF DE BRETAGNE
MME CAMILLE QUEINNEC
4 RUE DE LA PASSERELLE

Numero Echantillon: 200453655
Soumission: 100136094
Date de Reception: 10/06/16
Date de mise en analyse: 18/07/16



Accréditation Cofrac N°1-1380
Portée disponible sur
www.cofrac.fr

22200 GUINGAMP

Version: 1

Votre Reference: BEF-CETEF-03

16-29

L'accréditation du COFRAC atteste de la compétence du Laboratoire pour les seuls essais couverts par l'accréditation identifiés par le symbole

SOL-0102 Broyage échantillon (diamètre < 250µm) (NF ISO 11464)

Broyage (< 250 µm) fait -

SOL-0103 Préparation des sols (NF ISO 11464)

Préparation fait -

SOL-0201 Teneur en eau résiduelle à 105°C (NF ISO 11465) - g/kg

Humidité 11.1 g/kg

SOL-0301 Taux d'éléments grossiers (Terre fine, graviers, cailloux) (méth. INRA) - g/kg

Terre fine (<2mm) 992 g/kg

graviers (0.2-0.5 cm) 7.22 g/kg

Cailloux (>0.5 cm) 0.768 g/kg

SOL-0302 Granulométrie 5 fractions sans décarbonatation (NF X 31-107) - g/kg

Argile (< 2 µm) 128 g/kg

Limons fins (2/20 µm) 203 g/kg

Limons grossiers (20/50 µm) 430 g/kg

Sables fins (50/200 µm) 202 g/kg

Sables grossiers (200/2000 µm) 37 g/kg

SOL-0406 Carbone (C) total et azote (N) total (NF ISO 10694 et NF ISO 13878) - g/kg

Carbone (C) total 27.7 g/kg

Azote (N) total 1.27 g/kg

SOL-0501 pH eau (NF ISO 10390)

pH 4.68 -

Ce rapport d'essai ne doit pas être reproduit sinon en entier sans l'autorisation écrite du laboratoire.

Ce rapport ne concerne que les échantillons soumis à l'analyse.

Sauf indication contraire (p_sec) les résultats sont exprimés par rapport à un sol séché à l'air.

Laboratoire d Analyses des Sols d Arras 273 Rue de Cambrai
62000 Arras



Le 25/07/16

RAPPORT D'ESSAI

CRPF DE BRETAGNE
MME CAMILLE QUEINNEC
4 RUE DE LA PASSERELLE

Numero Echantillon: 200453655
Soumission: 100136094
Date de Reception: 10/06/16
Date de mise en analyse: 18/07/16



Accréditation Cofrac N°1-1380
Portée disponible sur
www.cofrac.fr

22200 GUINGAMP

Version: 1

Votre Reference: BEF-CETEF-03

L'accréditation du COFRAC atteste de la compétence du Laboratoire pour les seuls
essais couverts par l'accréditation identifiés par le symbole

 SOL-0503 pH KCL N (NF ISO 10390)

pH 3.91 -
SOL-0603 Phosphore (P2O5) - méthode Duchaufour (méth. INRA) - g/kg

Phosphore (P2O5) 0.042 g/kg
 SOL-0710 Capacité d'échange cationique cobaltihexamine (spectrocolorimétrie) (NF ISO 23470) - cmol+/kg

CEC cobaltihexamine 4.33 cmol+/kg
SOL-0717 Protons (H+) échangeables à la cobaltihexamine (titrimétrie) (méth. INRA) - cmol+/kg

Protons (H+) 0.16 cmol+/kg
 SOL-0719 Ca, Mg, Na, K, Fe, Mn, Al échangeables à la cobaltihexamine (ICP-AES/EAF) (NF ISO 23470) - cmol+/kg

Calcium (Ca) 0.657 cmol+/kg

Magnésium (Mg) 0.241 cmol+/kg

Sodium (Na) 0.0689 cmol+/kg

Potassium (K) 0.165 cmol+/kg

Fer (Fe) 0.0364 cmol+/kg

Manganèse (Mn) 0.0711 cmol+/kg

Aluminium (Al) 2.88 cmol+/kg

Richard Antoine 
pour le Directeur du Laboratoire

Fin du rapport de l'échantillon 200453655

Ce rapport d'essai ne doit pas être reproduit sinon en entier sans l'autorisation écrite du laboratoire.

Ce rapport ne concerne que les échantillons soumis à l'analyse.

Sauf indication contraire (p_{sec}) les résultats sont exprimés par rapport à un sol séché à l'air.

Laboratoire d'Analyses des Sols d'Arras 273 Rue de Cambrai
62000 Arras



Le 25/07/16

RAPPORT D'ESSAI

CRPF DE BRETAGNE
MME CAMILLE QUEINNEC
4 RUE DE LA PASSERELLE

22200 GUINGAMP

Numero Echantillon: 200453656
Soumission: 100136094
Date de Reception: 10/06/16
Date de mise en analyse: 18/07/16



Accréditation Cofrac N°1-1380
Portée disponible sur
www.cofrac.fr

Version: 1

Votre Reference: BEF-CETEF-04

16-29

L'accréditation du COFRAC atteste de la compétence du Laboratoire pour les seuls essais couverts par l'accréditation identifiés par le symbole

SOL-0102 Broyage échantillon (diamètre < 250µm) (NF ISO 11464)			
Broyage (< 250 µm)	fait		-
SOL-0103 Préparation des sols (NF ISO 11464)			
Préparation	fait		-
SOL-0201 Teneur en eau résiduelle à 105°C (NF ISO 11465) - g/kg			
Humidité	14.8		g/kg
SOL-0301 Taux d'éléments grossiers (Terre fine, graviers, cailloux) (méth. INRA) - g/kg			
Terre fine (<2mm)	986		g/kg
graviers (0.2-0.5 cm)	9.11		g/kg
Cailloux (>0.5 cm)	4.86		g/kg
SOL-0302 Granulométrie 5 fractions sans décarbonatation (NF X 31-107) - g/kg			
Argile (< 2 µm)	141		g/kg
Limons fins (2/20 µm)	209		g/kg
Limons grossiers (20/50 µm)	440		g/kg
Sables fins (50/200 µm)	168		g/kg
Sables grossiers (200/2000 µm)	42		g/kg
SOL-0406 Carbone (C) total et azote (N) total (NF ISO 10694 et NF ISO 13878) - g/kg			
Carbone (C) total	28		g/kg
Azote (N) total	1.15		g/kg
SOL-0501 pH eau (NF ISO 10390)			
pH	4.57		-

Ce rapport d'essai ne doit pas être reproduit sinon en entier sans l'autorisation écrite du laboratoire.

Ce rapport ne concerne que les échantillons soumis à l'analyse.

Sauf indication contraire (p_sec) les résultats sont exprimés par rapport à un sol séché à l'air.

Laboratoire d'Analyses des Sols d'Arras 273 Rue de Cambrai
62000 Arras



Le 25/07/16

RAPPORT D'ESSAI

CRPF DE BRETAGNE
MME CAMILLE QUEINNEC
4 RUE DE LA PASSERELLE

Numero Echantillon: 200453656
Soumission: 100136094
Date de Reception: 10/06/16
Date de mise en analyse: 18/07/16

22200 GUINGAMP



Accréditation Cofrac N°1-1380
Portée disponible sur
www.cofrac.fr

Version: 1 Votre Reference: BEF-CETEF-04

L'accréditation du COFRAC atteste de la compétence du Laboratoire pour les seuls essais couverts par l'accréditation identifiés par le symbole

 SOL-0503 pH KCL N (NF ISO 10390)

pH 3.78 -

SOL-0603 Phosphore (P2O5) - méthode Duchaufour (méth. INRA) - g/kg

Phosphore (P2O5) 0.042 g/kg

 SOL-0710 Capacité d'échange cationique cobaltihexamine (spectrocolorimétrie) (NF ISO 23470) - cmol+/kg

CEC cobaltihexamine 5.3 cmol+/kg

SOL-0717 Protons (H+) échangeables à la cobaltihexamine (titrimétrie) (méth. INRA) - cmol+/kg

Protons (H+) 0.12 cmol+/kg

 SOL-0719 Ca, Mg, Na, K, Fe, Mn, Al échangeables à la cobaltihexamine (ICP-AES/EAF) (NF ISO 23470) - cmol+/kg

Calcium (Ca) 0.459 cmol+/kg

Magnésium (Mg) 0.261 cmol+/kg

Sodium (Na) 0.0834 cmol+/kg

Potassium (K) 0.119 cmol+/kg

Fer (Fe) 0.0867 cmol+/kg

Manganèse (Mn) 0.0185 cmol+/kg

Aluminium (Al) 3.98 cmol+/kg

Richard Antoine
pour le Directeur du Laboratoire

Fin du rapport de l'échantillon 200453656

Ce rapport d'essai ne doit pas être reproduit sinon en entier sans l'autorisation écrite du laboratoire.

Ce rapport ne concerne que les échantillons soumis à l'analyse.

Sauf indication contraire (p_sec) les résultats sont exprimés par rapport à un sol séché à l'air.

Laboratoire d'Analyses des Sols d'Arras 273 Rue de Cambrai
62000 Arras



Le 25/07/16

RAPPORT D'ESSAI

CRPF DE BRETAGNE
MME CAMILLE QUEINNEC
4 RUE DE LA PASSERELLE

Numero Echantillon: 200453657
Soumission: 100136094
Date de Reception: 10/06/16
Date de mise en analyse: 18/07/16



Accréditation Cofrac N°1-1380
Portée disponible sur
www.cofrac.fr

22200 GUINGAMP

Version: 1

Votre Reference: BEF-CETEF-05

16-29

L'accréditation du COFRAC atteste de la compétence du Laboratoire pour les seuls essais couverts par l'accréditation identifiés par le symbole

SOL-0102 Broyage échantillon (diamètre < 250µm) (NF ISO 11464)

Broyage (< 250 µm) fait -

SOL-0103 Préparation des sols (NF ISO 11464)

Préparation fait -

SOL-0201 Teneur en eau résiduelle à 105°C (NF ISO 11465) - g/kg

Humidité 19.2 g/kg

SOL-0301 Taux d'éléments grossiers (Terre fine, graviers, cailloux) (méth. INRA) - g/kg

Terre fine (<2mm) 828 g/kg

graviers (0.2-0.5 cm) 141 g/kg

Cailloux (>0.5 cm) 30.9 g/kg

SOL-0302 Granulométrie 5 fractions sans décarbonatation (NF X 31-107) - g/kg

Argile (< 2 µm) 158 g/kg

Limons fins (2/20 µm) 162 g/kg

Limons grossiers (20/50 µm) 194 g/kg

Sables fins (50/200 µm) 180 g/kg

Sables grossiers (200/2000 µm) 306 g/kg

SOL-0406 Carbone (C) total et azote (N) total (NF ISO 10694 et NF ISO 13878) - g/kg

Carbone (C) total 47.1 g/kg

Azote (N) total 1.94 g/kg

SOL-0501 pH eau (NF ISO 10390)

pH 4.35 -

Ce rapport d'essai ne doit pas être reproduit sinon en entier sans l'autorisation écrite du laboratoire.

Ce rapport ne concerne que les échantillons soumis à l'analyse.

Sauf indication contraire (p_sec) les résultats sont exprimés par rapport à un sol séché à l'air.

Laboratoire d Analyses des Sols d Arras 273 Rue de Cambrai
62000 Arras



Le 25/07/16

RAPPORT D'ESSAI

CRPF DE BRETAGNE
MME CAMILLE QUEINNEC
4 RUE DE LA PASSERELLE

Numero Echantillon: 200453657
Soumission: 100136094
Date de Reception: 10/06/16
Date de mise en analyse: 18/07/16



Accréditation Cofrac N°1-1380
Portée disponible sur
www.cofrac.fr

22200 GUINGAMP

Version: 1

Votre Reference: BEF-CETEF-05

L'accréditation du COFRAC atteste de la compétence du Laboratoire pour les seuls
essais couverts par l'accréditation identifiés par le symbole

 SOL-0503 pH KCL N (NF ISO 10390)

pH 3.68 -
SOL-0603 Phosphore (P2O5) - méthode Duchaufour (méth. INRA) - g/kg

Phosphore (P2O5) 0.045 g/kg

 SOL-0710 Capacité d'échange cationique cobaltihexamine (spectrocolorimétrie) (NF
ISO 23470) - cmol+/kg

CEC cobaltihexamine 6.47 cmol+/kg

SOL-0717 Protons (H+) échangeables à la cobaltihexamine (titrimétrie) (méth. INRA)
- cmol+/kg

Protons (H+) 0.19 cmol+/kg

 SOL-0719 Ca, Mg, Na, K, Fe, Mn, Al échangeables à la cobaltihexamine (ICP-AES/EAF)
(NF ISO 23470) - cmol+/kg

Calcium (Ca) 0.301 cmol+/kg

Magnésium (Mg) 0.177 cmol+/kg

Sodium (Na) 0.0778 cmol+/kg

Potassium (K) 0.14 cmol+/kg

Fer (Fe) 0.0815 cmol+/kg

Manganèse (Mn) 0.0191 cmol+/kg

Aluminium (Al) 5.69 cmol+/kg


Richard Antoine
pour le Directeur du Laboratoire

Fin du rapport de l'échantillon 200453657

Ce rapport d'essai ne doit pas être reproduit sinon en entier sans l'autorisation
écrite du laboratoire.

Ce rapport ne concerne que les échantillons soumis à l'analyse.

Sauf indication contraire (p_sec) les résultats sont exprimés par rapport à un sol
séché à l'air.

Laboratoire d'Analyses des Sols d'Arras 273 Rue de Cambrai
62000 Arras



Le 25/07/16

RAPPORT D'ESSAI

CRPF DE BRETAGNE
MME CAMILLE QUEINNEC
4 RUE DE LA PASSERELLE

Numero Echantillon: 200453658
Soumission: 100136095
Date de Reception: 10/06/16
Date de mise en analyse: 18/07/16



Accréditation Cofrac N°1-1380
Portée disponible sur
www.cofrac.fr

22200 GUINGAMP

Version: 1

Votre Reference: BEF-CETEF-06

16-29

L'accréditation du COFRAC atteste de la compétence du Laboratoire pour les seuls essais couverts par l'accréditation identifiés par le symbole

 SOL-0102 Broyage échantillon (diamètre < 250µm) (NF ISO 11464)

Broyage (< 250 µm) fait -

 SOL-0103 Préparation des sols (NF ISO 11464)

Préparation fait -

 SOL-0201 Teneur en eau résiduelle à 105°C (NF ISO 11465) - g/kg

Humidité 15.4 g/kg

SOL-0301 Taux d'éléments grossiers (Terre fine, graviers, cailloux) (méth. INRA) - g/kg

Terre fine (<2mm) 858 g/kg

graviers (0.2-0.5 cm) 93.4 g/kg

Cailloux (>0.5 cm) 49 g/kg

 SOL-0302 Granulométrie 5 fractions sans décarbonatation (NF X 31-107) - g/kg

Argile (< 2 µm) 193 g/kg

Limons fins (2/20 µm) 260 g/kg

Limons grossiers (20/50 µm) 342 g/kg

Sables fins (50/200 µm) 95 g/kg

Sables grossiers (200/2000 µm) 110 g/kg

 SOL-0406 Carbone (C) total et azote (N) total (NF ISO 10694 et NF ISO 13878) - g/kg

Carbone (C) total 31.3 g/kg

Azote (N) total 1.39 g/kg

 SOL-0501 pH eau (NF ISO 10390)

pH 4.41 -

Ce rapport d'essai ne doit pas être reproduit sinon en entier sans l'autorisation écrite du laboratoire.

Ce rapport ne concerne que les échantillons soumis à l'analyse.

Sauf indication contraire (p_sec) les résultats sont exprimés par rapport à un sol séché à l'air.

Laboratoire d Analyses des Sols d Arras 273 Rue de Cambrai
62000 Arras



Le 25/07/16

RAPPORT D'ESSAI

CRPF DE BRETAGNE
MME CAMILLE QUEINNEC
4 RUE DE LA PASSERELLE

22200 GUINGAMP

Numero Echantillon: 200453658
Soumission: 100136095
Date de Reception: 10/06/16
Date de mise en analyse: 18/07/16



Version: 1 Votre Reference: BEF-CETEF-06

L'accréditation du COFRAC atteste de la compétence du Laboratoire pour les seuls
essais couverts par l'accréditation identifiés par le symbole

 SOL-0503 pH KCL N (NF ISO 10390)

pH 3.84 -

SOL-0603 Phosphore (P2O5) - méthode Duchaufour (méth. INRA) - g/kg

Phosphore (P2O5) 0.062 g/kg

 SOL-0710 Capacité d'échange cationique cobaltihexamine (spectrocolorimétrie) (NF ISO 23470) - cmol+/kg

CEC cobaltihexamine 4.31 cmol+/kg

SOL-0717 Protons (H+) échangeables à la cobaltihexamine (titrimétrie) (méth. INRA) - cmol+/kg

Protons (H+) 0.25 cmol+/kg

 SOL-0719 Ca, Mg, Na, K, Fe, Mn, Al échangeables à la cobaltihexamine (ICP-AES/EAF) (NF ISO 23470) - cmol+/kg

Calcium (Ca) 0.0891 cmol+/kg

Magnésium (Mg) 0.0933 cmol+/kg

Sodium (Na) 0.0703 cmol+/kg

Potassium (K) 0.0808 cmol+/kg

Fer (Fe) 0.0391 cmol+/kg

Manganèse (Mn) 0.0559 cmol+/kg

Aluminium (Al) 3.72 cmol+/kg


Richard Antoine
pour le Directeur du Laboratoire

Fin du rapport de l'échantillon 200453658

Ce rapport d'essai ne doit pas être reproduit sinon en entier sans l'autorisation écrite du laboratoire.

Ce rapport ne concerne que les échantillons soumis à l'analyse.

Sauf indication contraire (p_sec) les résultats sont exprimés par rapport à un sol séché à l'air.

Laboratoire d'Analyses des Sols d'Arras 273 Rue de Cambrai
62000 Arras



Le 25/07/16

RAPPORT D'ESSAI

CRPF DE BRETAGNE
MME CAMILLE QUEINNEC
4 RUE DE LA PASSERELLE

Numero Echantillon: 200453659
Soumission: 100136095
Date de Reception: 10/06/16
Date de mise en analyse: 18/07/16

22200 GUINGAMP



Accréditation Cofrac N°1-1380
Portée disponible sur
www.cofrac.fr

Version: 1

Votre Reference: BEF-CETEF-07

16-29

L'accréditation du COFRAC atteste de la compétence du Laboratoire pour les seuls essais couverts par l'accréditation identifiés par le symbole

 SOL-0102 Broyage échantillon (diamètre < 250µm) (NF ISO 11464)

Broyage (< 250 µm) fait -

 SOL-0103 Préparation des sols (NF ISO 11464)

Préparation fait -

 SOL-0201 Teneur en eau résiduelle à 105°C (NF ISO 11465) - g/kg

Humidité 11.2 g/kg

SOL-0301 Taux d'éléments grossiers (Terre fine, graviers, cailloux) (méth. INRA) - g/kg

Terre fine (<2mm) 915 g/kg

graviers (0.2-0.5 cm) 39.6 g/kg

Cailloux (>0.5 cm) 45.3 g/kg

 SOL-0302 Granulométrie 5 fractions sans décarbonatation (NF X 31-107) - g/kg

Argile (< 2 µm) 186 g/kg

Limons fins (2/20 µm) 276 g/kg

Limons grossiers (20/50 µm) 379 g/kg

Sables fins (50/200 µm) 118 g/kg

Sables grossiers (200/2000 µm) 41 g/kg

 SOL-0406 Carbone (C) total et azote (N) total (NF ISO 10694 et NF ISO 13878) - g/kg

Carbone (C) total 25.4 g/kg

Azote (N) total 0.932 g/kg

 SOL-0501 pH eau (NF ISO 10390)

pH 4.25 -

Ce rapport d'essai ne doit pas être reproduit sinon en entier sans l'autorisation écrite du laboratoire.

Ce rapport ne concerne que les échantillons soumis à l'analyse.

Sauf indication contraire (p_sec) les résultats sont exprimés par rapport à un sol séché à l'air.



Le 25/07/16

RAPPORT D'ESSAI

CRPF DE BRETAGNE
MME CAMILLE QUEINNEC
4 RUE DE LA PASSERELLE

Numero Echantillon: 200453659
Soumission: 100136095
Date de Reception: 10/06/16
Date de mise en analyse: 18/07/16



Accréditation Cofrac N°1-1380
Portée disponible sur
www.cofrac.fr

22200 GUINGAMP

Version: 1

Votre Reference: BEF-CETEF-07

L'accréditation du COFRAC atteste de la compétence du Laboratoire pour les seuls
essais couverts par l'accréditation identifiés par le symbole

 SOL-0503 pH KCL N (NF ISO 10390)

pH 3.59 -
SOL-0603 Phosphore (P2O5) - méthode Duchaufour (méth. INRA) - g/kg

Phosphore (P2O5) <0.02 g/kg

 SOL-0710 Capacité d'échange cationique cobaltihexamine (spectrocolorimétrie) (NF ISO 23470) - cmol+/kg

CEC cobaltihexamine 4.21 cmol+/kg

SOL-0717 Protons (H+) échangeables à la cobaltihexamine (titrimétrie) (méth. INRA) - cmol+/kg

Protons (H+) 0.34 cmol+/kg

 SOL-0719 Ca, Mg, Na, K, Fe, Mn, Al échangeables à la cobaltihexamine (ICP-AES/EAF) (NF ISO 23470) - cmol+/kg

Calcium (Ca) 0.0829 cmol+/kg

Magnésium (Mg) 0.102 cmol+/kg

Sodium (Na) 0.044 cmol+/kg

Potassium (K) 0.0972 cmol+/kg

Fer (Fe) 0.096 cmol+/kg

Manganèse (Mn) 0.0216 cmol+/kg

Aluminium (Al) 3.36 cmol+/kg

Richard Antoine
pour le Directeur du Laboratoire

Fin du rapport de l'échantillon 200453659

Ce rapport d'essai ne doit pas être reproduit sinon en entier sans l'autorisation écrite du laboratoire.

Ce rapport ne concerne que les échantillons soumis à l'analyse.

Sauf indication contraire (p_sec) les résultats sont exprimés par rapport à un sol séché à l'air.

Laboratoire d'Analyses des Sols d'Arras 273 Rue de Cambrai
62000 Arras



Le 25/07/16

RAPPORT D'ESSAI

CRPF DE BRETAGNE
MME CAMILLE QUEINNEC
4 RUE DE LA PASSERELLE

Numero Echantillon: 200453660
Soumission: 100136096
Date de Reception: 10/06/16
Date de mise en analyse: 18/07/16



Accréditation Cofrac N°1-1380
Portée disponible sur
www.cofrac.fr


22200 GUINGAMP

Version: 1

Votre Reference: BEF-CETEF-08

16-29

L'accréditation du COFRAC atteste de la compétence du Laboratoire pour les seuls essais couverts par l'accréditation identifiés par le symbole

 SOL-0102 Broyage échantillon (diamètre < 250µm) (NF ISO 11464)

Broyage (< 250 µm) fait -

 SOL-0103 Préparation des sols (NF ISO 11464)

Préparation fait -

 SOL-0201 Teneur en eau résiduelle à 105°C (NF ISO 11465) - g/kg

Humidité 19.7 g/kg

SOL-0301 Taux d'éléments grossiers (Terre fine, graviers, cailloux) (méth. INRA) - g/kg

Terre fine (<2mm) 862 g/kg

graviers (0.2-0.5 cm) 78.7 g/kg

Cailloux (>0.5 cm) 59.2 g/kg

 SOL-0302 Granulométrie 5 fractions sans décarbonatation (NF X 31-107) - g/kg


Argile (< 2 µm) 188 g/kg

Limons fins (2/20 µm) 288 g/kg

Limons grossiers (20/50 µm) 260 g/kg

Sables fins (50/200 µm) 150 g/kg

Sables grossiers (200/2000 µm) 114 g/kg

 SOL-0406 Carbone (C) total et azote (N) total (NF ISO 10694 et NF ISO 13878) - g/kg

Carbone (C) total 42.1 g/kg

Azote (N) total 1.81 g/kg

 SOL-0501 pH eau (NF ISO 10390)

pH 4.05 -

Ce rapport d'essai ne doit pas être reproduit sinon en entier sans l'autorisation écrite du laboratoire.

Ce rapport ne concerne que les échantillons soumis à l'analyse.

Sauf indication contraire (p_sec) les résultats sont exprimés par rapport à un sol séché à l'air.

Laboratoire d Analyses des Sols d Arras 273 Rue de Cambrai
62000 Arras



Le 25/07/16

RAPPORT D'ESSAI

CRPF DE BRETAGNE
MME CAMILLE QUEINNEC
4 RUE DE LA PASSERELLE

22200 GUINGAMP

Numero Echantillon: 200453660
Soumission: 100136096
Date de Reception: 10/06/16
Date de mise en analyse: 18/07/16



Accréditation Cofrac N°1-1380
Portée disponible sur
www.cofrac.fr

Version: 1 Votre Reference: BEF-CETEF-08

L'accréditation du COFRAC atteste de la compétence du Laboratoire pour les seuls essais couverts par l'accréditation identifiés par le symbole

 SOL-0503 pH KCL N (NF ISO 10390)

pH 3.37 -

SOL-0603 Phosphore (P2O5) - méthode Duchaufour (méth. INRA) - g/kg

Phosphore (P2O5) 0.066 g/kg

 SOL-0710 Capacité d'échange cationique cobaltihexamine (spectrocolorimétrie) (NF ISO 23470) - cmol+/kg

CEC cobaltihexamine 6.71 cmol+/kg

SOL-0717 Protons (H+) échangeables à la cobaltihexamine (titrimétrie) (méth. INRA) - cmol+/kg

Protons (H+) 0.49 cmol+/kg

 SOL-0719 Ca, Mg, Na, K, Fe, Mn, Al échangeables à la cobaltihexamine (ICP-AES/EAF) (NF ISO 23470) - cmol+/kg

Calcium (Ca) 0.1 cmol+/kg

Magnésium (Mg) 0.159 cmol+/kg

Sodium (Na) 0.0652 cmol+/kg

Potassium (K) 0.0851 cmol+/kg

Fer (Fe) 0.186 cmol+/kg

Manganèse (Mn) 0.0072 cmol+/kg

Aluminium (Al) 5.36 cmol+/kg

Richard Antoine
pour le Directeur du Laboratoire

Fin du rapport de l'échantillon 200453660

Ce rapport d'essai ne doit pas être reproduit sinon en entier sans l'autorisation écrite du laboratoire.

Ce rapport ne concerne que les échantillons soumis à l'analyse.

Sauf indication contraire (p_sec) les résultats sont exprimés par rapport à un sol séché à l'air.

Laboratoire d'Analyses des Sols d'Arras 273 Rue de Cambrai
62000 Arras



Le 25/07/16

RAPPORT D'ESSAI

CRPF DE BRETAGNE
MME CAMILLE QUEINNEC
4 RUE DE LA PASSERELLE

Numero Echantillon: 200453661
Soumission: 100136096
Date de Reception: 10/06/16
Date de mise en analyse: 18/07/16

22200 GUINGAMP



Accréditation Cofrac N°1-1380
Portée disponible sur
www.cofrac.fr

Version: 1

Votre Reference: BEF-CETEF-09

16-29

L'accréditation du COFRAC atteste de la compétence du Laboratoire pour les seuls essais couverts par l'accréditation identifiés par le symbole

SOL-0102 Broyage échantillon (diamètre < 250µm) (NF ISO 11464)			
Broyage (< 250 µm)	fait		-
SOL-0103 Préparation des sols (NF ISO 11464)			
Préparation	fait		-
SOL-0201 Teneur en eau résiduelle à 105°C (NF ISO 11465) - g/kg			
Humidité	17.1		g/kg
SOL-0301 Taux d'éléments grossiers (Terre fine, graviers, cailloux) (méth. INRA) - g/kg			
Terre fine (<2mm)	831		g/kg
graviers (0.2-0.5 cm)	83.3		g/kg
Cailloux (>0.5 cm)	85.5		g/kg
SOL-0302 Granulométrie 5 fractions sans décarbonatation (NF X 31-107) - g/kg			
Argile (< 2 µm)	187		g/kg
Limons fins (2/20 µm)	275		g/kg
Limons grossiers (20/50 µm)	265		g/kg
Sables fins (50/200 µm)	183		g/kg
Sables grossiers (200/2000 µm)	90		g/kg
SOL-0406 Carbone (C) total et azote (N) total (NF ISO 10694 et NF ISO 13878) - g/kg			
Carbone (C) total	52.1		g/kg
Azote (N) total	1.82		g/kg
SOL-0501 pH eau (NF ISO 10390)			
pH	3.97		-

Ce rapport d'essai ne doit pas être reproduit sinon en entier sans l'autorisation écrite du laboratoire.

Ce rapport ne concerne que les échantillons soumis à l'analyse.

Sauf indication contraire (p_sec) les résultats sont exprimés par rapport à un sol séché à l'air.

RAPPORT D'ANALYSE



ANALYSE DE SOL POUR

CETEF & al

22000 Lamballe

Numéro de dossier 2016CETEF

PROPRIETE

Stage-Camille-Queinnec

22000 Lamballe

Superficie : 33 hectares

Altitude moyenne 200 mètres



REGESOL

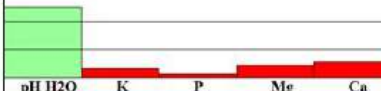
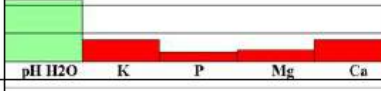
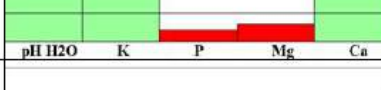
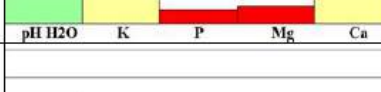
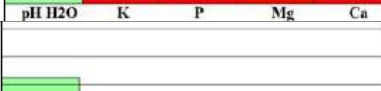
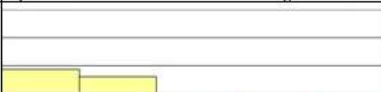

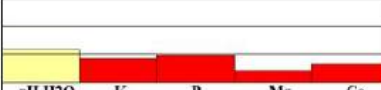

Logiciel élaboré avec le soutien financier du Ministère de l'agriculture, de l'alimentation, de la pêche et des affaires rurales.
Direction de l'espace rurale et de la forêt. D.S.F. - D.R.A.F.

LISTE DES ANALYSES EFFECTUEES

N°	LIBELLE	DATE	TYPE DE SOL	pH H2O	pH KCl	N g/kg	C g/kg	K cmol+/k g	P g/kg	Mg cmol+/k g	Ca cmol+/k g	Cu mg/kg	Na cmol+/k g	Mn cmol+/k g	Zn mg/kg	B mg/kg	Caillou x %	CEC cmol+/k g
CET1	FP-de-Malaunay-CET1	06/06/16	Pseudogley coef .56	4.5	3.6	1.33	32.6	0.12	0.03	0.33	0.41	0.000	0.099	0.018	0.000	0.000	3.0 %	5.05
CET2	FP-de-Malaunay-CET2	06/06/16	Sol bricide-podzol .56	4.4	3.7	1.02	30.1	0.08	0.02	0.18	0.18	0.000	0.067	0.005	0.000	0.000	1.2 %	4.45
CET3	FP-de-Malaunay-CET3	06/06/16	Sol bricide-podzol .56	4.7	3.9	1.28	28.0	0.17	0.04	0.24	0.66	0.000	0.070	0.072	0.000	0.000	0.8 %	4.38
CET4	FP-de-Malaunay-CET4	06/06/16	Sol bricide-podzol .56	4.6	3.8	1.17	28.4	0.12	0.04	0.26	0.47	0.000	0.085	0.019	0.000	0.000	1.4 %	5.38
CET5	FP-de-Malaunay-CET5	06/06/16	Sol bricide-podzol .56	4.3	3.7	1.98	48.0	0.14	0.05	0.18	0.31	0.000	0.079	0.019	0.000	0.000	17.2 %	6.59
CET6	FP-de-Cassebreuil-CET6	09/06/16	Sol bricide-podzol .56	4.4	3.8	1.41	31.8	0.08	0.06	0.09	0.09	0.000	0.071	0.057	0.000	0.000	14.2 %	4.38
CET7	FP-de-Cassebreuil-CET7	09/06/16	Sol bricide-podzol .56	4.3	3.6	0.94	25.7	0.10	0.02	0.10	0.08	0.000	0.044	0.022	0.000	0.000	8.5 %	4.26
CET8	FP-de-Conveau-CET8	09/06/16	Sol bricide-podzol .56	4.0	3.4	1.85	42.9	0.09	0.07	0.16	0.10	0.000	0.066	0.007	0.000	0.000	13.8 %	6.84
CET9	FP-de-Conveau-CET9	09/06/16	Sol bricide-podzol .56	4.0	3.2	1.85	53.0	0.15	0.08	0.31	0.26	0.000	0.095	0.042	0.000	0.000	16.9 %	6.87

RAPPORT PAR PARCELLE



Parcelle / Station	Essence	Année	Superficie	
DM7CE1 : FP-de-Malaunay-DSitka-7CET1 CET1 : FP-de-Malaunay-CET1	Epicea Sitka	2010	1:60:00	
DM10CE2 : FP-de-Malaunay-DSitka-10CET2 CET2 : FP-de-Malaunay-CET2	Epicea Sitka	2010	1:90:00	
DM10CE3 : FP-de-Malaunay-DSitka-10CET3 CET3 : FP-de-Malaunay-CET3	Epicea Sitka	2010	1:90:00	
DM10CE4 : FP-de-Malaunay-DSitka-10CET4 CET4 : FP-de-Malaunay-CET4	Epicea Sitka	2010	1:90:00	
DM17CE5 : FP-de-Malaunay-DSitka-17CET5 CET5 : FP-de-Malaunay-CET5	Epicea Sitka	2011	8:20:00	
DCA11CE6 : FP-Cassebreuil-DSitka-11CET6 CET6 : FP-de-Cassebreuil-CET6	Epicea Sitka	2011	4:85:00	
DCA5PCE7 : FP-Cassebreuil-DPin-5CET7 CET7 : FP-de-Cassebreuil-CET7	Pin maritime	2013	3:60:00	
DCO9CCE8 : FP-Conveau-DSitka-9CET8 CET8 : FP-de-Conveau-CET8	Epicea Sitka	2013	3:07:00	
DCO7ACE9 : FP-Conveau-DSitka-7CET9 CET9 : FP-de-Conveau-CET9	Epicea Sitka	2014	6:72:00	

TRES DEFICIENT

DEFICIENT

SUFFISANT

DATE: 03/08/16

REGESOL (SNREG10011-REGESOL) : 2016CETEF

PAGE: 9

LISTE DES BESOINS PAR PARCELLE

Parcelle **DM7CE1 FP-de-Malaunay-DSitka-7CET1**
 Superficie **1:60:00 Ha** Kg/hectare **2 707**
 Formule (Unités aux 100 kg) **Phosphore : 3.7 - Potasse : 3.7 - Magnésie : 10.6 - EB : 18.5**

Matière première	Origine	Qté/ha	Qté/parc
Carb-Calcium;60%CaO	****	673	1 077
Chlore-de-Potassium	Alsace	166	266
Dolo-19%MgO;30%CaO	****	1 511	2 418
phosphate 28 %	****	357	571

Parcelle **DM10CE FP-de-Malaunay-DSitka-10CET2**
 Superficie **1:90:00 Ha** Kg/hectare **1 834**
 Formule (Unités aux 100 kg) **Phosphore : 5.5 - Potasse : 5.4 - Magnésie : 7.5 - EB : 24.5**

Matière première	Origine	Qté/ha	Qté/parc
Carb-Calcium;60%CaO	****	588	1 117
Chlore-de-Potassium	Alsace	166	315
Dolo-19%MgO;30%CaO	****	723	1 374
phosphate 28 %	****	357	678

Parcelle **DM10CE FP-de-Malaunay-DSitka-10CET3**
 Superficie **1:90:00 Ha** Kg/hectare **1 027**
 Formule (Unités aux 100 kg) **Phosphore : 9.7 - Potasse : 9.7 - Magnésie : 9.3 - EB : 9.4**

Matière première	Origine	Qté/ha	Qté/parc
Chlore-de-Potassium	Alsace	166	315
Dolo-19%MgO;30%CaO	****	504	958
phosphate 28 %	****	357	678

Parcelle **DM10CE FP-de-Malaunay-DSitka-10CET4**
 Superficie **1:90:00 Ha** Kg/hectare **1 262**
 Formule (Unités aux 100 kg) **Phosphore : 7.9 - Potasse : 7.9 - Magnésie : 7.6 - EB : 18.8**

Matière première	Origine	Qté/ha	Qté/parc
Carb-Calcium;60%CaO	****	235	447
Chlore-de-Potassium	Alsace	166	315
Dolo-19%MgO;30%CaO	****	504	958
phosphate 28 %	****	357	678

Parcelle **DM17CE FP-de-Malaunay-DSitka-17CET5**
 Superficie **8:20:00 Ha** Kg/hectare **1 881**
 Formule (Unités aux 100 kg) **Phosphore : 5.3 - Potasse : 5.3 - Magnésie : 8.0 - EB : 23.1**

Matière première	Origine	Qté/ha	Qté/parc
Carb-Calcium;60%CaO	****	562	4 608
Chlore-de-Potassium	Alsace	166	1 361
Dolo-19%MgO;30%CaO	****	796	6 527
phosphate 28 %	****	357	2 927

LISTE DES BESOINS PAR PARCELLE

Parcelle **DCA11C FP-Cassebreuil-DSitka-11CET6**
 Superficie **4:85:00 Ha** Kg/hectare **2 217**
 Formule (Unités aux 100 kg) **Phosphore : 4.5 - Potasse : 4.5 - Magnésie : 9.3 - EB : 20.9**

Matière première	Origine	Qté/ha	Qté/parc
Carb-Calcium;60%CaO	****	613	2 973
Chlore-de-Potassium	Alsace	166	805
Dolo-19%MgO;30%CaO	****	1 081	5 243
phosphate 28 %	****	357	1 731

Parcelle **DCA5PC FP-Cassebreuil-DPin-5CET7**
 Superficie **3:60:00 Ha** Kg/hectare **1 882**
 Formule (Unités aux 100 kg) **Phosphore : 5.3 - Potasse : 5.3 - Magnésie : 7.9 - EB : 23.4**

Matière première	Origine	Qté/ha	Qté/parc
Carb-Calcium;60%CaO	****	573	2 063
Chlore-de-Potassium	Alsace	166	598
Dolo-19%MgO;30%CaO	****	786	2 830
phosphate 28 %	****	357	1 285

Parcelle **DCO9CC FP-Conveau-DSitka-9CET8**
 Superficie **3:07:00 Ha** Kg/hectare **2 179**
 Formule (Unités aux 100 kg) **Phosphore : 4.6 - Potasse : 4.6 - Magnésie : 8.2 - EB : 24.0**

Matière première	Origine	Qté/ha	Qté/parc
Carb-Calcium;60%CaO	****	712	2 186
Chlore-de-Potassium	Alsace	166	510
Dolo-19%MgO;30%CaO	****	944	2 898
phosphate 28 %	****	357	1 096

Parcelle **DCO7AC FP-Conveau-DSitka-7CET9**
 Superficie **6:72:00 Ha** Kg/hectare **1 995**
 Formule (Unités aux 100 kg) **Phosphore : 5.0 - Potasse : 5.0 - Magnésie : 8.3 - EB : 22.8**

Matière première	Origine	Qté/ha	Qté/parc
Carb-Calcium;60%CaO	****	597	4 012
Chlore-de-Potassium	Alsace	166	1 116
Dolo-19%MgO;30%CaO	****	875	5 880
phosphate 28 %	****	357	2 399

Sylviculture "Dynamique"

LISTE DES BESOINS PAR PARCELLE

Parcelle **DM7CE1 FP-de-Malaunay-DSitka-7CET1**
 Superficie **1:60:00 Ha** Kg/hectare **3 654**
 Formule (Unités aux 100 kg) **Phosphore : 2.7 - Potasse : 2.7 - Magnésie : 10.8 - EB : 20.1**

Matière première	Origine	Qté/ha	Qté/parc
Carb-Calcium;60%CaO	****	1 062	1 699
Chlore-de-Potassium	Alsace	166	266
Dolo-19%MgO;30%CaO	****	2 069	3 310
phosphate 28 %	****	357	571

Parcelle **DM10CE FP-de-Malaunay-DSitka-10CET2**
 Superficie **1:90:00 Ha** Kg/hectare **2 645**
 Formule (Unités aux 100 kg) **Phosphore : 3.8 - Potasse : 3.8 - Magnésie : 8.7 - EB : 24.3**

Matière première	Origine	Qté/ha	Qté/parc
Carb-Calcium;60%CaO	****	909	1 727
Chlore-de-Potassium	Alsace	166	315
Dolo-19%MgO;30%CaO	****	1 213	2 305
phosphate 28 %	****	357	678

Parcelle **DM10CE FP-de-Malaunay-DSitka-10CET3**
 Superficie **1:90:00 Ha** Kg/hectare **1 699**
 Formule (Unités aux 100 kg) **Phosphore : 5.9 - Potasse : 5.9 - Magnésie : 11.1 - EB : 12.1**

Matière première	Origine	Qté/ha	Qté/parc
Carb-Calcium;60%CaO	****	182	346
Chlore-de-Potassium	Alsace	166	315
Dolo-19%MgO;30%CaO	****	994	1 889
phosphate 28 %	****	357	678

Parcelle **DM10CE FP-de-Malaunay-DSitka-10CET4**
 Superficie **1:90:00 Ha** Kg/hectare **2 074**
 Formule (Unités aux 100 kg) **Phosphore : 4.8 - Potasse : 4.8 - Magnésie : 9.1 - EB : 20.8**

Matière première	Origine	Qté/ha	Qté/parc
Carb-Calcium;60%CaO	****	557	1 058
Chlore-de-Potassium	Alsace	166	315
Dolo-19%MgO;30%CaO	****	994	1 889
phosphate 28 %	****	357	678

Parcelle **DM17CE FP-de-Malaunay-DSitka-17CET5**
 Superficie **8:20:00 Ha** Kg/hectare **2 632**
 Formule (Unités aux 100 kg) **Phosphore : 3.8 - Potasse : 3.8 - Magnésie : 9.1 - EB : 23.1**

Matière première	Origine	Qté/ha	Qté/parc
Carb-Calcium;60%CaO	****	854	7 003
Chlore-de-Potassium	Alsace	166	1 361
Dolo-19%MgO;30%CaO	****	1 255	10 291
phosphate 28 %	****	357	2 927

LISTE DES BESOINS PAR PARCELLE

Parcelle **DCA11C FP-Cassebreuil-DSitka-11CET6**
 Superficie **4:85:00 Ha** Kg/hectare **3 164**
 Formule (Unités aux 100 kg) **Phosphore : 3.2 - Potasse : 3.1 - Magnésie : 9.8 - EB : 22.0**

Matière première	Origine	Qté/ha	Qté/parc
Carb-Calcium;60%CaO	****	1 001	4 855
Chlore-de-Potassium	Alsace	166	805
Dolo-19%MgO;30%CaO	****	1 640	7 954
phosphate 28 %	****	357	1 731

Parcelle **DCA5PC FP-Cassebreuil-DPin-5CET7**
 Superficie **3:60:00 Ha** Kg/hectare **2 571**
 Formule (Unités aux 100 kg) **Phosphore : 3.9 - Potasse : 3.9 - Magnésie : 9.0 - EB : 23.0**

Matière première	Origine	Qté/ha	Qté/parc
Carb-Calcium;60%CaO	****	825	2 970
Chlore-de-Potassium	Alsace	166	598
Dolo-19%MgO;30%CaO	****	1 223	4 403
phosphate 28 %	****	357	1 285

Parcelle **DCO9CC FP-Conveau-DSitka-9CET8**
 Superficie **3:07:00 Ha** Kg/hectare **3 033**
 Formule (Unités aux 100 kg) **Phosphore : 3.3 - Potasse : 3.3 - Magnésie : 9.1 - EB : 24.0**

Matière première	Origine	Qté/ha	Qté/parc
Carb-Calcium;60%CaO	****	1 055	3 239
Chlore-de-Potassium	Alsace	166	510
Dolo-19%MgO;30%CaO	****	1 455	4 467
phosphate 28 %	****	357	1 096

Parcelle **DCO7AC FP-Conveau-DSitka-7CET9**
 Superficie **6:72:00 Ha** Kg/hectare **2 942**
 Formule (Unités aux 100 kg) **Phosphore : 3.4 - Potasse : 3.4 - Magnésie : 9.3 - EB : 23.4**

Matière première	Origine	Qté/ha	Qté/parc
Carb-Calcium;60%CaO	****	985	6 619
Chlore-de-Potassium	Alsace	166	1 116
Dolo-19%MgO;30%CaO	****	1 434	9 636
phosphate 28 %	****	357	2 399

LISTE DES BESOINS PAR PARCELLE

Parcelle **DM7CE1 FP-de-Malaunay-DSitka-7CET1**
 Superficie **1:60:00 Ha** Kg/hectare **4 489**
 Formule (Unités aux 100 kg) **Phosphore : 2.2 - Potasse : 2.2 - Magnésie : 10.7 - EB : 21.4**

Matière première	Origine	Qté/ha	Qté/parc
Carb-Calcium;60%CaO	****	1 442	2 307
Chlore-de-Potassium	Alsace	166	266
Dolo-19%MgO;30%CaO	****	2 524	4 038
phosphate 28 %	****	357	571

Parcelle **DM10CE FP-de-Malaunay-DSitka-10CET2**
 Superficie **1:90:00 Ha** Kg/hectare **3 729**
 Formule (Unités aux 100 kg) **Phosphore : 2.7 - Potasse : 2.7 - Magnésie : 10.3 - EB : 21.5**

Matière première	Origine	Qté/ha	Qté/parc
Carb-Calcium;60%CaO	****	1 175	2 233
Chlore-de-Potassium	Alsace	166	315
Dolo-19%MgO;30%CaO	****	2 031	3 859
phosphate 28 %	****	357	678

Parcelle **DM10CE FP-de-Malaunay-DSitka-10CET3**
 Superficie **1:90:00 Ha** Kg/hectare **2 783**
 Formule (Unités aux 100 kg) **Phosphore : 3.6 - Potasse : 3.6 - Magnésie : 12.4 - EB : 13.1**

Matière première	Origine	Qté/ha	Qté/parc
Carb-Calcium;60%CaO	****	447	849
Chlore-de-Potassium	Alsace	166	315
Dolo-19%MgO;30%CaO	****	1 813	3 445
phosphate 28 %	****	357	678

Parcelle **DM10CE FP-de-Malaunay-DSitka-10CET4**
 Superficie **1:90:00 Ha** Kg/hectare **3 158**
 Formule (Unités aux 100 kg) **Phosphore : 3.2 - Potasse : 3.2 - Magnésie : 10.9 - EB : 18.7**

Matière première	Origine	Qté/ha	Qté/parc
Carb-Calcium;60%CaO	****	822	1 562
Chlore-de-Potassium	Alsace	166	315
Dolo-19%MgO;30%CaO	****	1 813	3 445
phosphate 28 %	****	357	678

Parcelle **DM17CE FP-de-Malaunay-DSitka-17CET5**
 Superficie **8:20:00 Ha** Kg/hectare **3 863**
 Formule (Unités aux 100 kg) **Phosphore : 2.6 - Potasse : 2.6 - Magnésie : 11.4 - EB : 18.4**

Matière première	Origine	Qté/ha	Qté/parc
Carb-Calcium;60%CaO	****	1 023	8 389
Chlore-de-Potassium	Alsace	166	1 361
Dolo-19%MgO;30%CaO	****	2 317	18 999
phosphate 28 %	****	357	2 927

LISTE DES BESOINS PAR PARCELLE

Parcelle **DCA11C FP-Cassebreuil-DSitka-11CET6**
 Superficie **4:85:00 Ha** Kg/hectare **3 999**
 Formule (Unités aux 100 kg) **Phosphore : 2.5 - Potasse : 2.5 - Magnésie : 9.9 - EB : 23.1**

Matière première	Origine	Qté/ha	Qté/parc
Carb-Calcium;60%CaO	****	1 382	6 703
Chlore-de-Potassium	Alsace	166	805
Dolo-19%MgO;30%CaO	****	2 094	10 156
phosphate 28 %	****	357	1 731

Parcelle **DCA5PC FP-Cassebreuil-DPin-5CET7**
 Superficie **3:60:00 Ha** Kg/hectare **3 577**
 Formule (Unités aux 100 kg) **Phosphore : 2.8 - Potasse : 2.8 - Magnésie : 11.0 - EB : 19.2**

Matière première	Origine	Qté/ha	Qté/parc
Carb-Calcium;60%CaO	****	984	3 542
Chlore-de-Potassium	Alsace	166	598
Dolo-19%MgO;30%CaO	****	2 070	7 452
phosphate 28 %	****	357	1 285

Parcelle **DCO9CC FP-Conveau-DSitka-9CET8**
 Superficie **3:07:00 Ha** Kg/hectare **4 056**
 Formule (Unités aux 100 kg) **Phosphore : 2.5 - Potasse : 2.5 - Magnésie : 10.3 - EB : 22.1**

Matière première	Origine	Qté/ha	Qté/parc
Carb-Calcium;60%CaO	****	1 334	4 095
Chlore-de-Potassium	Alsace	166	510
Dolo-19%MgO;30%CaO	****	2 199	6 751
phosphate 28 %	****	357	1 096

Parcelle **DCO7AC FP-Conveau-DSitka-7CET9**
 Superficie **6:72:00 Ha** Kg/hectare **3 777**
 Formule (Unités aux 100 kg) **Phosphore : 2.6 - Potasse : 2.6 - Magnésie : 9.5 - EB : 24.3**

Matière première	Origine	Qté/ha	Qté/parc
Carb-Calcium;60%CaO	****	1 366	9 180
Chlore-de-Potassium	Alsace	166	1 116
Dolo-19%MgO;30%CaO	****	1 888	12 687
phosphate 28 %	****	357	2 399

Cycle "Remédiation"

DETAIL INTERMEDIAIRE RAPPORT DETAILLE

DM7CE1 FP-de-Malaunay-DSitka-7CET1

1:60:00

OXYDE	Stock sol	Essence	Biomasse	Retours	Rémanant	Pluie	Humus	Drainage	Besoins
N	1 759.85	0.00	743.75	658.19	401.38	139.25	117.56	352.50	0.00
C	43 257.40	0.00	80 000.00	47 819.10	42 140.00	0.00	5 679.05	0.00	0.00
K2O	74.69	375.00	775.72	483.92	410.19	62.25	11.48	300.00	892.10
P2O5	33.58	510.00	255.26	170.15	142.53	25.00	2.62	7.50	569.03
MgO	89.06	310.00	112.44	228.68	61.17	161.00	6.52	182.50	287.20
CaO	151.16	610.00	904.17	739.75	487.23	218.00	34.52	395.00	1 018.25

DM10CE2 FP-de-Malaunay-DSitka-10CET2

1:90:00

OXYDE	Stock sol	Essence	Biomasse	Retours	Rémanant	Pluie	Humus	Drainage	Besoins
N	4 289.58	0.00	731.37	883.70	521.36	139.25	223.09	380.00	0.00
C	98 191.00	0.00	81 445.70	49 019.60	43 113.50	0.00	5 906.14	0.00	0.00
K2O	169.90	373.60	680.57	665.77	430.20	62.25	173.32	222.50	441.01
P2O5	75.81	510.00	256.12	289.77	209.31	25.00	55.46	62.50	463.05
MgO	78.42	310.00	118.35	285.05	93.47	161.00	30.57	72.50	137.39
CaO	206.58	624.00	890.11	802.11	499.21	218.00	84.91	225.00	730.43

DM10CE3 FP-de-Malaunay-DSitka-10CET3

1:90:00

OXYDE	Stock sol	Essence	Biomasse	Retours	Rémanant	Pluie	Humus	Drainage	Besoins
N	5 035.25	0.00	731.37	883.70	521.36	139.25	223.09	380.00	0.00
C	93 010.10	0.00	81 445.70	49 019.60	43 113.50	0.00	5 906.14	0.00	0.00
K2O	376.01	373.60	680.57	665.77	430.20	62.25	173.32	222.50	234.90
P2O5	98.25	510.00	256.12	289.77	209.31	25.00	55.46	62.50	440.61
MgO	119.95	310.00	118.35	285.05	93.47	161.00	30.57	72.50	95.85
CaO	708.82	624.00	890.11	802.11	499.21	218.00	84.91	225.00	228.18

DM10CE4 FP-de-Malaunay-DSitka-10CET4

1:90:00

OXYDE	Stock sol	Essence	Biomasse	Retours	Rémanant	Pluie	Humus	Drainage	Besoins
N	4 710.64	0.00	731.37	883.70	521.36	139.25	223.09	380.00	0.00
C	94 498.80	0.00	81 445.70	49 019.60	43 113.50	0.00	5 906.14	0.00	0.00
K2O	269.67	373.60	680.57	665.77	430.20	62.25	173.32	222.50	341.24
P2O5	116.88	510.00	256.12	289.77	209.31	25.00	55.46	62.50	421.98
MgO	119.89	310.00	118.35	285.05	93.47	161.00	30.57	72.50	95.91
CaO	483.73	624.00	890.11	802.11	499.21	218.00	84.91	225.00	453.28

DM17CE5 FP-de-Malaunay-DSitka-17CET5

8:20:00

OXYDE	Stock sol	Essence	Biomasse	Retours	Rémanant	Pluie	Humus	Drainage	Besoins
N	4 799.23	0.00	749.88	943.69	581.34	139.25	223.09	380.00	0.00
C	99 202.80	0.00	80 000.00	49 506.30	43 600.20	0.00	5 906.14	0.00	0.00
K2O	209.12	372.90	655.54	675.77	440.20	62.25	173.32	222.50	366.06
P2O5	99.31	510.00	270.31	323.16	242.70	25.00	55.46	62.50	420.34
MgO	54.77	310.00	124.79	301.20	109.63	161.00	30.57	72.50	151.32
CaO	215.20	631.00	904.17	808.10	505.19	218.00	84.91	225.00	736.87

DETAIL INTERMEDIAIRE RAPPORT DETAILLE

DCA11CE6 FP-Cassebreuil-DSitka-11CET6

4:85:00

OXYDE	Stock sol	Essence	Biomasse	Retours	Rémanant	Pluie	Humus	Drainage	Besoins
N	4 411.50	0.00	743.75	763.73	401.38	139.25	223.09	380.00	0.00
C	84 421.10	0.00	80 000.00	48 046.10	42 140.00	0.00	5 906.14	0.00	0.00
K2O	147.01	375.00	775.72	645.76	410.19	62.25	173.32	222.50	580.45
P2O5	177.97	510.00	255.26	222.98	142.53	25.00	55.46	62.50	426.81
MgO	36.67	310.00	112.44	252.74	61.17	161.00	30.57	72.50	205.54
CaO	96.08	610.00	904.17	790.14	487.23	218.00	84.91	225.00	852.95

DCA5PCE7 FP-Cassebreuil-DPin-5CET7

3:60:00

OXYDE	Stock sol	Essence	Biomasse	Retours	Rémanant	Pluie	Humus	Drainage	Besoins
N	3 800.85	0.00	599.38	811.99	449.65	139.25	223.09	380.00	0.00
C	83 951.80	0.00	64 000.00	40 661.10	34 755.00	0.00	5 906.14	0.00	0.00
K2O	204.63	354.50	534.73	585.16	349.59	62.25	173.32	222.50	321.95
P2O5	82.85	470.00	214.95	266.03	185.57	25.00	55.46	62.50	398.57
MgO	44.73	298.00	98.77	275.12	83.55	161.00	30.57	72.50	149.42
CaO	100.51	598.00	723.33	705.52	402.61	218.00	84.91	225.00	740.31

DCO9CCE FP-Conveau-DSitka-9CET8

3:07:00

OXYDE	Stock sol	Essence	Biomasse	Retours	Rémanant	Pluie	Humus	Drainage	Besoins
N	4 537.81	0.00	746.67	849.42	487.08	139.25	223.09	380.00	0.00
C	88 814.50	0.00	80 000.00	48 741.50	42 835.30	0.00	5 906.14	0.00	0.00
K2O	123.88	374.00	718.49	660.05	424.48	62.25	173.32	222.50	531.07
P2O5	183.90	510.00	262.42	270.69	190.23	25.00	55.46	62.50	380.34
MgO	45.61	310.00	118.32	275.82	84.24	161.00	30.57	72.50	179.39
CaO	79.39	620.00	904.17	798.69	495.79	218.00	84.91	225.00	871.08

DCO7ACE FP-Conveau-DSitka-7CET9

6:72:00

OXYDE	Stock sol	Essence	Biomasse	Retours	Rémanant	Pluie	Humus	Drainage	Besoins
N	4 089.40	0.00	743.75	763.73	401.38	139.25	223.09	380.00	0.00
C	92 602.10	0.00	80 000.00	48 046.10	42 140.00	0.00	5 906.14	0.00	0.00
K2O	182.96	375.00	775.72	645.76	410.19	62.25	173.32	222.50	544.50
P2O5	228.70	510.00	255.26	222.98	142.53	25.00	55.46	62.50	376.07
MgO	75.78	310.00	112.44	252.74	61.17	161.00	30.57	72.50	166.42
CaO	167.44	610.00	904.17	790.14	487.23	218.00	84.91	225.00	781.58

DETAIL INTERMEDIAIRE RAPPORT DETAILLE

DM7CE1 FP-de-Malaunay-DSitka-7CET1

1:60:00

OXYDE	Stock sol	Essence	Biomasse	Retours	Rémanant	Pluie	Humus	Drainage	Besoins
N	1 759.85	0.00	802.44	514.17	257.37	139.25	117.56	352.50	0.00
C	43 257.40	0.00	54 016.60	31 708.90	26 029.90	0.00	5 679.05	0.00	0.00
K2O	74.69	465.00	828.48	327.77	254.04	62.25	11.48	300.00	1 191.01
P2O5	33.58	637.00	276.95	119.80	92.18	25.00	2.62	7.50	768.07
MgO	89.06	385.00	120.72	205.86	38.34	161.00	6.52	182.50	393.30
CaO	151.16	763.60	971.92	560.33	307.81	218.00	34.52	395.00	1 419.03

DM10CE2 FP-de-Malaunay-DSitka-10CET2

1:90:00

OXYDE	Stock sol	Essence	Biomasse	Retours	Rémanant	Pluie	Humus	Drainage	Besoins
N	4 289.58	0.00	788.84	814.40	452.06	139.25	223.09	380.00	0.00
C	98 191.00	0.00	64 183.30	38 799.30	32 893.20	0.00	5 906.14	0.00	0.00
K2O	169.90	465.00	729.04	575.31	339.75	62.25	173.32	222.50	671.33
P2O5	75.81	637.00	278.19	270.20	189.74	25.00	55.46	62.50	631.68
MgO	78.42	385.00	126.99	275.57	83.99	161.00	30.57	72.50	230.51
CaO	206.58	782.19	955.53	685.67	382.76	218.00	84.91	225.00	1 070.48

DM10CE3 FP-de-Malaunay-DSitka-10CET3

1:90:00

OXYDE	Stock sol	Essence	Biomasse	Retours	Rémanant	Pluie	Humus	Drainage	Besoins
N	5 035.25	0.00	788.84	814.40	452.06	139.25	223.09	380.00	0.00
C	93 010.10	0.00	64 183.30	38 799.30	32 893.20	0.00	5 906.14	0.00	0.00
K2O	376.01	465.00	729.04	575.31	339.75	62.25	173.32	222.50	465.22
P2O5	98.25	637.00	278.19	270.20	189.74	25.00	55.46	62.50	609.25
MgO	119.95	385.00	126.99	275.57	83.99	161.00	30.57	72.50	188.98
CaO	708.82	782.19	955.53	685.67	382.76	218.00	84.91	225.00	568.24

DM10CE4 FP-de-Malaunay-DSitka-10CET4

1:90:00

OXYDE	Stock sol	Essence	Biomasse	Retours	Rémanant	Pluie	Humus	Drainage	Besoins
N	4 710.64	0.00	788.84	814.40	452.06	139.25	223.09	380.00	0.00
C	94 498.80	0.00	64 183.30	38 799.30	32 893.20	0.00	5 906.14	0.00	0.00
K2O	269.67	465.00	729.04	575.31	339.75	62.25	173.32	222.50	571.56
P2O5	116.88	637.00	278.19	270.20	189.74	25.00	55.46	62.50	590.62
MgO	119.89	385.00	126.99	275.57	83.99	161.00	30.57	72.50	189.03
CaO	483.73	782.19	955.53	685.67	382.76	218.00	84.91	225.00	793.33

DM17CE5 FP-de-Malaunay-DSitka-17CET5

8:20:00

OXYDE	Stock sol	Essence	Biomasse	Retours	Rémanant	Pluie	Humus	Drainage	Besoins
N	4 799.23	0.00	810.52	911.74	549.40	139.25	223.09	380.00	0.00
C	99 202.80	0.00	67 181.50	42 231.00	36 324.80	0.00	5 906.14	0.00	0.00
K2O	209.12	465.00	704.90	618.16	382.60	62.25	173.32	222.50	565.12
P2O5	99.31	637.00	294.47	318.98	238.52	25.00	55.46	62.50	575.68
MgO	54.77	385.00	134.21	298.39	106.82	161.00	30.57	72.50	238.55
CaO	215.20	791.49	971.92	723.14	420.24	218.00	84.91	225.00	1 050.06

DETAIL INTERMEDIAIRE RAPPORT DETAILLE

DCA11CE6 FP-Cassebreuil-DSitka-11CET6

4:85:00

OXYDE	Stock sol	Essence	Biomasse	Retours	Rémanant	Pluie	Humus	Drainage	Besoins
N	4 411.50	0.00	802.44	619.71	257.37	139.25	223.09	380.00	0.00
C	84 421.10	0.00	54 016.60	31 936.00	26 029.90	0.00	5 906.14	0.00	0.00
K2O	147.01	465.00	828.48	489.61	254.04	62.25	173.32	222.50	879.36
P2O5	177.97	637.00	276.95	172.63	92.18	25.00	55.46	62.50	625.85
MgO	36.67	385.00	120.72	229.92	38.34	161.00	30.57	72.50	311.64
CaO	96.08	763.60	971.92	610.71	307.81	218.00	84.91	225.00	1 253.72

DCA5PCE7 FP-Cassebreuil-DPin-5CET7

3:60:00

OXYDE	Stock sol	Essence	Biomasse	Retours	Rémanant	Pluie	Humus	Drainage	Besoins
N	3 800.85	0.00	647.72	776.83	414.49	139.25	223.09	380.00	0.00
C	83 951.80	0.00	52 616.70	34 083.60	28 177.40	0.00	5 906.14	0.00	0.00
K2O	204.63	441.60	574.51	530.62	295.06	62.25	173.32	222.50	503.36
P2O5	82.85	588.00	234.08	258.73	178.27	25.00	55.46	62.50	543.00
MgO	44.73	369.60	106.21	271.16	79.58	161.00	30.57	72.50	232.42
CaO	100.51	750.32	777.53	629.46	326.55	218.00	84.91	225.00	1 022.89

DCO9CCE FP-Conveau-DSitka-9CET8

3:07:00

OXYDE	Stock sol	Essence	Biomasse	Retours	Rémanant	Pluie	Humus	Drainage	Besoins
N	4 537.81	0.00	806.29	758.77	396.43	139.25	223.09	380.00	0.00
C	88 814.50	0.00	60 285.60	36 838.40	30 932.20	0.00	5 906.14	0.00	0.00
K2O	123.88	465.00	769.63	550.82	315.26	62.25	173.32	222.50	782.43
P2O5	183.90	637.00	285.29	242.32	161.86	25.00	55.46	62.50	558.58
MgO	45.61	385.00	127.14	262.52	70.95	161.00	30.57	72.50	276.51
CaO	79.39	776.88	971.92	664.25	361.35	218.00	84.91	225.00	1 230.15

DCO7ACE FP-Conveau-DSitka-7CET9

6:72:00

OXYDE	Stock sol	Essence	Biomasse	Retours	Rémanant	Pluie	Humus	Drainage	Besoins
N	4 089.40	0.00	802.44	619.71	257.37	139.25	223.09	380.00	0.00
C	92 602.10	0.00	54 016.60	31 936.00	26 029.90	0.00	5 906.14	0.00	0.00
K2O	182.96	465.00	828.48	489.61	254.04	62.25	173.32	222.50	843.41
P2O5	228.70	637.00	276.95	172.63	92.18	25.00	55.46	62.50	575.11
MgO	75.78	385.00	120.72	229.92	38.34	161.00	30.57	72.50	272.52
CaO	167.44	763.60	971.92	610.71	307.81	218.00	84.91	225.00	1 182.36

DETAIL INTERMEDIAIRE RAPPORT DETAILLE

DM7CE1 FP-de-Malaunay-DSitka-7CET1

1:60:00

OXYDE	Stock sol	Essence	Biomasse	Retours	Rémanant	Pluie	Humus	Drainage	Besoins
N	1 759.85	0.00	913.21	409.22	152.42	139.25	117.56	352.50	0.00
C	43 257.40	0.00	94 908.30	20 649.80	14 970.80	0.00	5 679.05	0.00	9 999.00
K2O	74.69	535.00	923.03	220.19	146.47	62.25	11.48	300.00	1 463.14
P2O5	33.58	700.00	318.87	82.80	55.18	25.00	2.62	7.50	909.98
MgO	89.06	440.00	136.09	189.92	22.40	161.00	6.52	182.50	479.62
CaO	151.16	875.00	1 097.64	432.99	180.47	218.00	34.52	395.00	1 783.50

DM10CE2 FP-de-Malaunay-DSitka-10CET2

1:90:00

OXYDE	Stock sol	Essence	Biomasse	Retours	Rémanant	Pluie	Humus	Drainage	Besoins
N	4 289.58	0.00	872.11	541.22	178.88	139.25	223.09	380.00	0.00
C	98 191.00	0.00	96 839.50	19 921.40	14 015.30	0.00	5 906.14	0.00	0.00
K2O	169.90	535.00	797.08	385.50	149.94	62.25	173.32	222.50	999.18
P2O5	75.81	708.40	308.81	161.23	80.77	25.00	55.46	62.50	842.66
MgO	78.42	440.00	177.43	225.50	33.93	161.00	30.57	72.50	386.01
CaO	206.58	897.40	1 052.77	493.42	190.51	218.00	84.91	225.00	1 475.18

DM10CE3 FP-de-Malaunay-DSitka-10CET3

1:90:00

OXYDE	Stock sol	Essence	Biomasse	Retours	Rémanant	Pluie	Humus	Drainage	Besoins
N	5 035.25	0.00	872.11	541.22	178.88	139.25	223.09	380.00	0.00
C	93 010.10	0.00	96 839.50	19 921.40	14 015.30	0.00	5 906.14	0.00	0.00
K2O	376.01	535.00	797.08	385.50	149.94	62.25	173.32	222.50	793.07
P2O5	98.25	708.40	308.81	161.23	80.77	25.00	55.46	62.50	820.23
MgO	119.95	440.00	177.43	225.50	33.93	161.00	30.57	72.50	344.48
CaO	708.82	897.40	1 052.77	493.42	190.51	218.00	84.91	225.00	972.93

DM10CE4 FP-de-Malaunay-DSitka-10CET4

1:90:00

OXYDE	Stock sol	Essence	Biomasse	Retours	Rémanant	Pluie	Humus	Drainage	Besoins
N	4 710.64	0.00	872.11	541.22	178.88	139.25	223.09	380.00	0.00
C	94 498.80	0.00	96 839.50	19 921.40	14 015.30	0.00	5 906.14	0.00	0.00
K2O	269.67	535.00	797.08	385.50	149.94	62.25	173.32	222.50	899.41
P2O5	116.88	708.40	308.81	161.23	80.77	25.00	55.46	62.50	801.60
MgO	119.89	440.00	177.43	225.50	33.93	161.00	30.57	72.50	344.54
CaO	483.73	897.40	1 052.77	493.42	190.51	218.00	84.91	225.00	1 198.03

DM17CE5 FP-de-Malaunay-DSitka-17CET5

8:20:00

OXYDE	Stock sol	Essence	Biomasse	Retours	Rémanant	Pluie	Humus	Drainage	Besoins
N	4 799.23	0.00	874.51	554.45	192.11	139.25	223.09	380.00	0.00
C	99 202.80	0.00	96 543.00	19 443.70	13 537.50	0.00	5 906.14	0.00	0.00
K2O	209.12	535.00	754.65	387.24	151.67	62.25	173.32	222.50	915.80
P2O5	99.31	712.60	316.53	174.03	93.57	25.00	55.46	62.50	818.30
MgO	54.77	440.00	213.88	231.26	39.69	161.00	30.57	72.50	440.35
CaO	215.20	908.60	1 050.07	498.44	195.53	218.00	84.91	225.00	1 470.03

DETAIL INTERMEDIAIRE RAPPORT DETAILLE

DCA11CE6 FP-Cassebreuil-DSitka-11CET6

4:85:00

OXYDE	Stock sol	Essence	Biomasse	Retours	Rémanant	Pluie	Humus	Drainage	Besoins
N	4 411.50	0.00	913.21	514.76	152.42	139.25	223.09	380.00	0.00
C	84 421.10	0.00	94 908.30	20 876.90	14 970.80	0.00	5 906.14	0.00	0.00
K2O	147.01	535.00	923.03	382.03	146.47	62.25	173.32	222.50	1 151.48
P2O5	177.97	700.00	318.87	135.63	55.18	25.00	55.46	62.50	767.77
MgO	36.67	440.00	136.09	213.97	22.40	161.00	30.57	72.50	397.95
CaO	96.08	875.00	1 097.64	483.37	180.47	218.00	84.91	225.00	1 618.19

DCA5PCE7 FP-Cassebreuil-DPin-5CET7

3:60:00

OXYDE	Stock sol	Essence	Biomasse	Retours	Rémanant	Pluie	Humus	Drainage	Besoins
N	3 800.85	0.00	702.92	512.63	150.29	139.25	223.09	380.00	0.00
C	83 951.80	0.00	77 094.30	16 859.00	10 952.90	0.00	5 906.14	0.00	0.00
K2O	204.63	508.00	618.15	356.46	120.89	62.25	173.32	222.50	787.56
P2O5	82.85	653.00	253.43	152.02	71.56	25.00	55.46	62.50	734.06
MgO	44.73	423.00	164.44	221.84	30.27	161.00	30.57	72.50	393.36
CaO	100.51	862.00	844.13	458.04	155.14	218.00	84.91	225.00	1 372.59

DCO9CCE FP-Conveau-DSitka-9CET8

3:07:00

OXYDE	Stock sol	Essence	Biomasse	Retours	Rémanant	Pluie	Humus	Drainage	Besoins
N	4 537.81	0.00	894.78	533.66	171.32	139.25	223.09	380.00	0.00
C	88 814.50	0.00	95 686.70	20 194.40	14 288.30	0.00	5 906.14	0.00	0.00
K2O	123.88	535.00	842.85	384.51	148.95	62.25	173.32	222.50	1 091.96
P2O5	183.90	706.00	317.76	153.92	73.46	25.00	55.46	62.50	748.44
MgO	45.61	440.00	173.14	222.21	30.63	161.00	30.57	72.50	417.82
CaO	79.39	891.00	1 074.99	490.55	187.64	218.00	84.91	225.00	1 621.05

DCO7ACE FP-Conveau-DSitka-7CET9

6:72:00

OXYDE	Stock sol	Essence	Biomasse	Retours	Rémanant	Pluie	Humus	Drainage	Besoins
N	4 089.40	0.00	913.21	514.76	152.42	139.25	223.09	380.00	0.00
C	92 602.10	0.00	94 908.30	20 876.90	14 970.80	0.00	5 906.14	0.00	0.00
K2O	182.96	535.00	923.03	382.03	146.47	62.25	173.32	222.50	1 115.53
P2O5	228.70	700.00	318.87	135.63	55.18	25.00	55.46	62.50	717.03
MgO	75.78	440.00	136.09	213.97	22.40	161.00	30.57	72.50	358.84
CaO	167.44	875.00	1 097.64	483.37	180.47	218.00	84.91	225.00	1 546.83

Région	Bretagne
Département	Côtes d'Armor (22)
Forêt	Malaunay
Parcelle	7,02
Pluviométrie	861,03 mm/an
Température	11,06 °C
Altitude	139 m
Long/Lat	-3,0553, 48,5531
Pente	< 10 %
Exposition	Sud
Topographie	Plane
Installation essai	



Peuplement	
Actuel :	Futaie d'Epicéa de Sitka (100%) 1,6 ha / Plantation en hiver 2010/2011
Travaux de reboisement :	Mise en andains - dessouchage Dégagement manuel et mécanisé
Antécédent :	Futaie d'Epicéa de Sitka Exploité à 40 ans, ø35/40, vol moy. 0,889 m3 Densité (circ. >70 cm) : 537

Sol	
Roche mère :	granitoïdes et migmatites
Sol :	Pseudogley podzolique
Texture :	Limono sableux
Humus :	Dysmoder - Mor
Type de station :	C7
	Pauvre tempo.engorgée à végét. de lande

Dernières mesures et observation (mai-juin 2016)

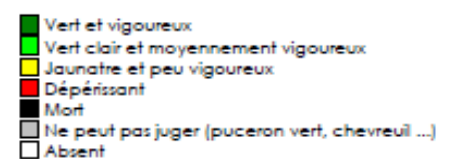
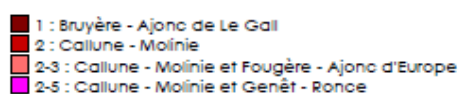
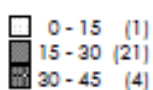
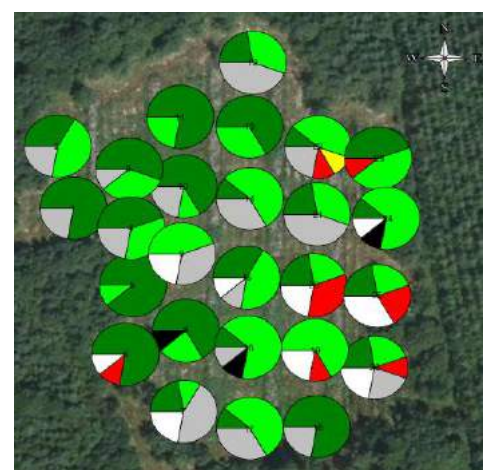
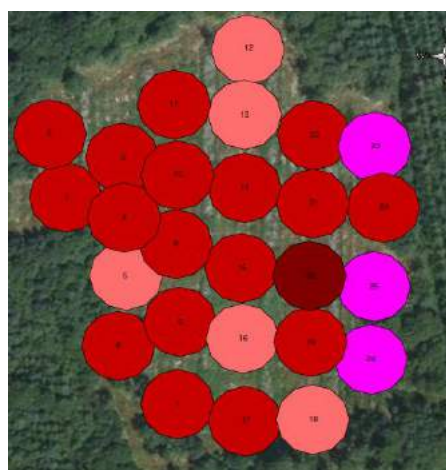
1 échantillon de sol a été fait sur la parcelle (5 prélèvements/échantillon)



Accroissement moyen N-1 (cm)

Groupe(s) floristique(s) dominant(s)

Etat sanitaire



Résultats des analyses de sol

pH eau	N (g/kg)	C (g/kg)	K (cmol+ /kg)	P2O5 (g/kg)	Mg (cmol+ /kg)	Ca (cmol+ /kg)	Na (cmol+ /kg)	Mn (cmol+ /kg)	CEC (cmol+ /kg)	Cx (%)	Argile (g/kg)	Limons (g/kg)	Sables (g/kg)
4,52	1,31	32,2	0,118	0,025	0,329	0,401	0,097	0,018	4,99	3	128	649	223

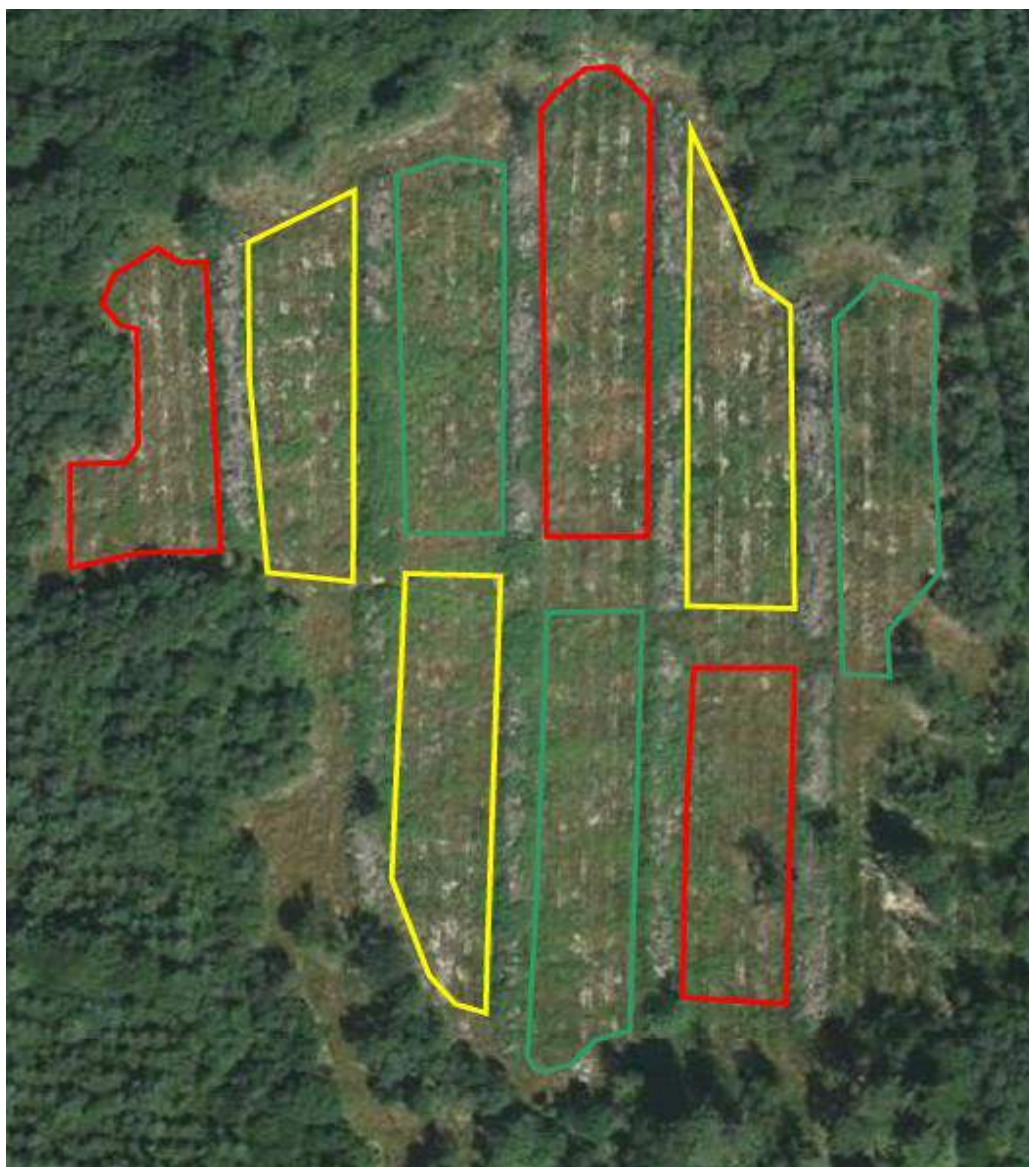
P2O5 : Méthode Duchaufour

Modalités de l'amendement

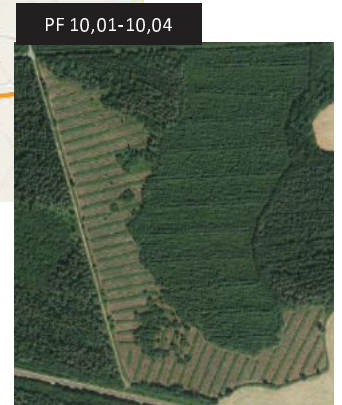
Témoin (T)	Traitement sans engrais
PK CaMg	100 kg/ha de P2O5 + 200 kg/ha de CaO + 67 kg/ha de K2O (666 kg/ha de Physalg 15-10) 1215 kg/ha de CaO + 351 kg/ha de MgO (2700 kg/ha de Qualibreiz 45-13)
PK	100 kg/ha de P2O5 + 200 kg/ha de CaO + 67 kg/ha de K2O (666 kg/ha de Physalg 15-10)

Implantation des dispositifs

-  Témoin
-  PK CaMg
-  PK



Région	Bretagne
Département	Côtes d'Armor (22)
Forêt	Malaunay
Parcelle	10,01-10,04 Nord
Pluviométrie	846,74 mm/an
Température	11,05 °C
Altitude	145 m
Long/Lat	-3,0500 / 48,5501
Pente	< 10 %
Exposition	Nord
Topographie	Plane
Installation essai	



Peuplement	
Actuel :	Futaie d'Epicéa de Sitka (72 %) - Douglas (28 %) 9,2 ha / Plantation en hiver 2010/2011
Travaux de reboisement :	Mise en andains - dessouchage Dépouillage manuel et mécanisé
Antécédent :	Futaie d'Epicéa de Sitka-Douglas dominants Exploité il y a 40 ans, âge 45, vol moy. 1,833 m3 Densité (circ. >70 cm) : 658

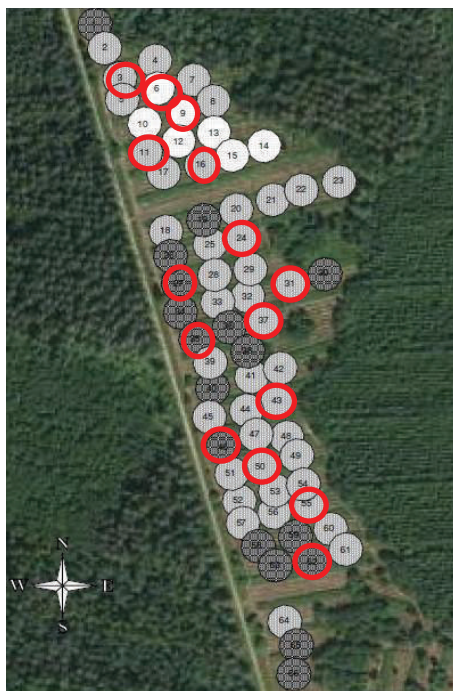
Sol	
Roche mère :	Protérozoïque supérieur, granitoïdes et migmatites
Sol :	brun ocreux
Texture :	Limono sableux
Humus :	Dysmoder - Mor
Type de station :	C10 Assez pauvre bien drainée

Dernières mesures et observation (mai-juin 2016)

3 échantillons de sol ont été fait sur la parcelle (5 prélèvements/échantillon)

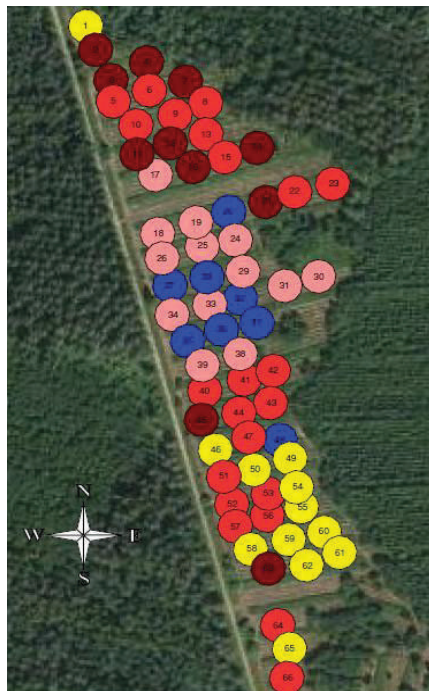


Accroissement moyen N-1 (cm)



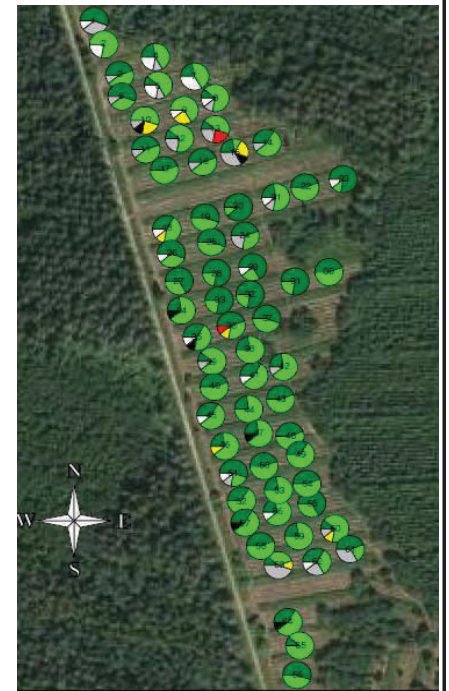
- 0 - 20 (7)
- 20 - 40 (42)
- 40 - 60 (17)

Groupe(s) floristique(s) dominant(s)



- 2 : Callune - Molinie (11)
- 2-3 : Callune - Molinie et Fougère - Ajonc d'Europe (22)
- 2-5 : Callune - Molinie et Genêt - Ronce (13)
- 3 : Fougère - Ajonc d'Europe (12)
- 5 : Genêt - Ronce (8)

Etat sanitaire



- Vert et vigoureux
- Vert clair et moyennement vigoureux
- Jaunâtre et peu vigoureux
- Dépérissant
- Mort
- Ne peut pas juger (puceron vert, chevreuil ...)
- Absent

Résultats des analyses de sol

pH eau	N (g/kg)	C (g/kg)	K (cmol+/kg g)	P2O5 (g/kg)	Mg (cmol+/kg g)	Ca (cmol+/kg g)	Na (cmol+/kg g)	Mn (cmol+/kg g)	CEC (cmol+/kg g)	Cx (%)	Argile (g/kg)	Limons (g/kg)	Sables (g/kg)
4,39	1,01	29,7	0,0755	0,024	0,173	0,181	0,0663	0,0052	4,4	1,2	124	664	212
4,68	1,27	27,7	0,165	0,042	0,241	0,657	0,0689	0,0711	4,33	0,8	128	633	239
4,57	1,15	28	0,119	0,042	0,261	0,459	0,0834	0,0185	5,3	1,4	141	649	210

P2O5 : Méthode Duchaufour

Modalités de l'amendement

Témoin (T)	Traitement sans engrais
PK CaMg	100 kg/ha de P2O5 + 200 kg/ha de CaO + 67 kg/ha de K2O (666 kg/ha de Physalg 15-10)
Zone 1	870 kg/ha de CaO + 251 kg/ha de MgO (1933 kg/ha de Qualibreiz 45-13)
Zone 2	368 kg/ha de CaO + 106 kg/ha de MgO (817 kg/ha de Qualibreiz 45-13)
Zone 3	593 kg/ha de CaO + 171 kg/ha de MgO (1318 kg/ha de Qualibreiz 45-13)
PK	100 kg/ha de P2O5 + 200 kg/ha de CaO + 67 kg/ha de K2O (666 kg/ha de Physalg 15-10)

Implantation du dispositif



Témoin



PK CaMg



PK

ZONE 1

ZONE 2

ZONE 3



Région	Bretagne
Département	Côtes d'Armor (22)
Forêt	Malaunay
Parcelle	17,02
Pluviométrie	896,91 mm/an
Température	10,99 °C
Altitude	185 m
Long/Lat	-3,0645, 48,5269
Pente	< 10 %
Exposition	Sud
Topographie	Milieu de versant
Installation	



Peuplement	
Actuel :	Futaie d'Epicéa de Sitka (48 %)- Douglas (52 %) 8,2 ha / Plantation en hiver 2011/2012
Travaux de reboisement :	Mise en andains - dessouchage Dégagement manuel et mécanisé
Antécédent :	Futaie adulte d'Epicéa de Sitka Exploité à 35-40 ans, ø40, vol moy. 1,432 m3 Densité (circ. >70 cm) : 1979

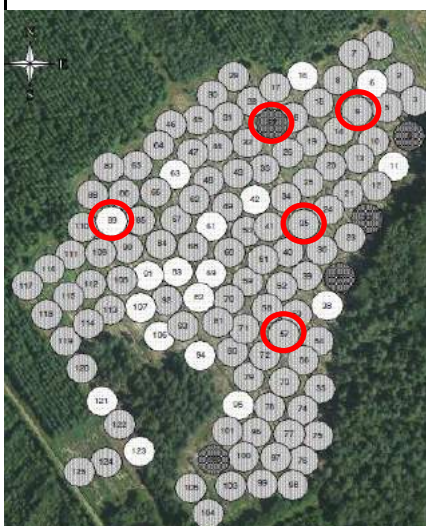
Sol	
Roche mère :	Leucogranite de Plouisy
Sol :	Brun ocreux
Texture :	Limono-sableux
Humus :	Dysmoder - Mor
Type de station :	C10
	Assez pauvre bien drainée

Dernières mesures et observation (mai-juin 2016)

1 échantillon de sol a été fait sur la parcelle (5 prélèvements/échantillon)

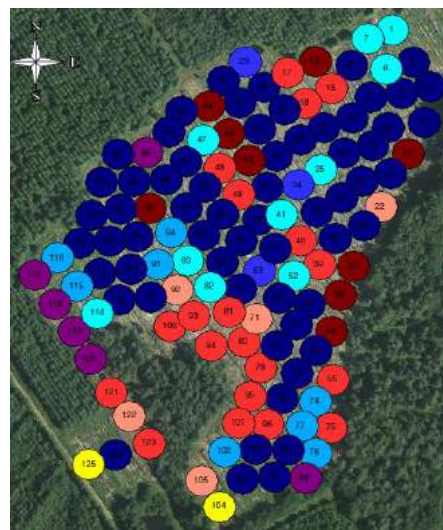


Accroissement moyen N-1 (cm)



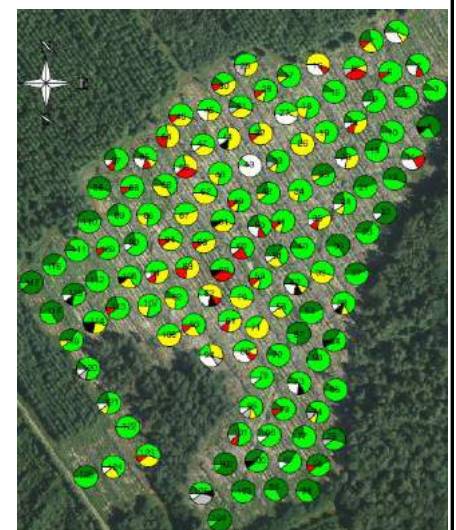
- 0 - 25 (18)
- 25 - 50 (102)
- 50 - 75 (5)

Groupe(s) floristique(s) dominant(s)



- 2-1 : Callune - Molinie et Bryère - Ajonc de Le Gall
- 2 : Callune - Molinie
- 2-3 : Callune - Molinie et Fougère - Ajonc d'Europe
- 5-2 : Genêt - Ronce et Callune - Molinie
- 3 : Fougère - Ajonc d'Europe
- 5-3 : Genêt - Ronce et Fougère - Ajonc d'Europe
- 5-4 : Genêt - Ronce et Espèces forestières
- 5 : Genêt - Ronce
- 6 : Houque Molle et Chèvrefeuille

Etat sanitaire



- Vert et Vigoureux
- Vert clair et moyennement vigoureux
- Jaunâtre et peu vigoureux
- Dépérisant
- Mort
- Ne peut pas juger (puceron vert, chevreuil ...)
- Absent

Résultats des analyses de sol

pH eau	N (g/kg)	C (g/kg)	K (cmol +/-kg)	P2O5 (g/kg)	Mg (cmol +/-kg)	Ca (cmol +/-kg)	Na (cmol +/-kg)	Mn (cmol +/-kg)	CEC (cmol +/-kg)	Cx (%)	Argile (g/kg)	Limons (g/kg)	Sables (g/kg)
4,35	1,94	47,1	0,14	0,045	0,177	0,301	0,078	0,019	6,47	17,2	158	356	486

P2O5 : Méthode Duchaufour

Modalités de l'amendement

Témoin (T) Traitement sans engrais

PK CaMg 100 kg/ha de P2O5 + 200 kg/ha de CaO + 67 kg/ha de K2O (666 kg/ha de Physalg 15-10)
850 kg/ha de CaO + 245 kg/ha de MgO (1889 kg/ha de Qualibreiz 45-13)

PK 100 kg/ha de P2O5 + 200 kg/ha de CaO + 67 kg/ha de K2O (666 kg/ha de Physalg 15-10)

Implantation des dispositifs



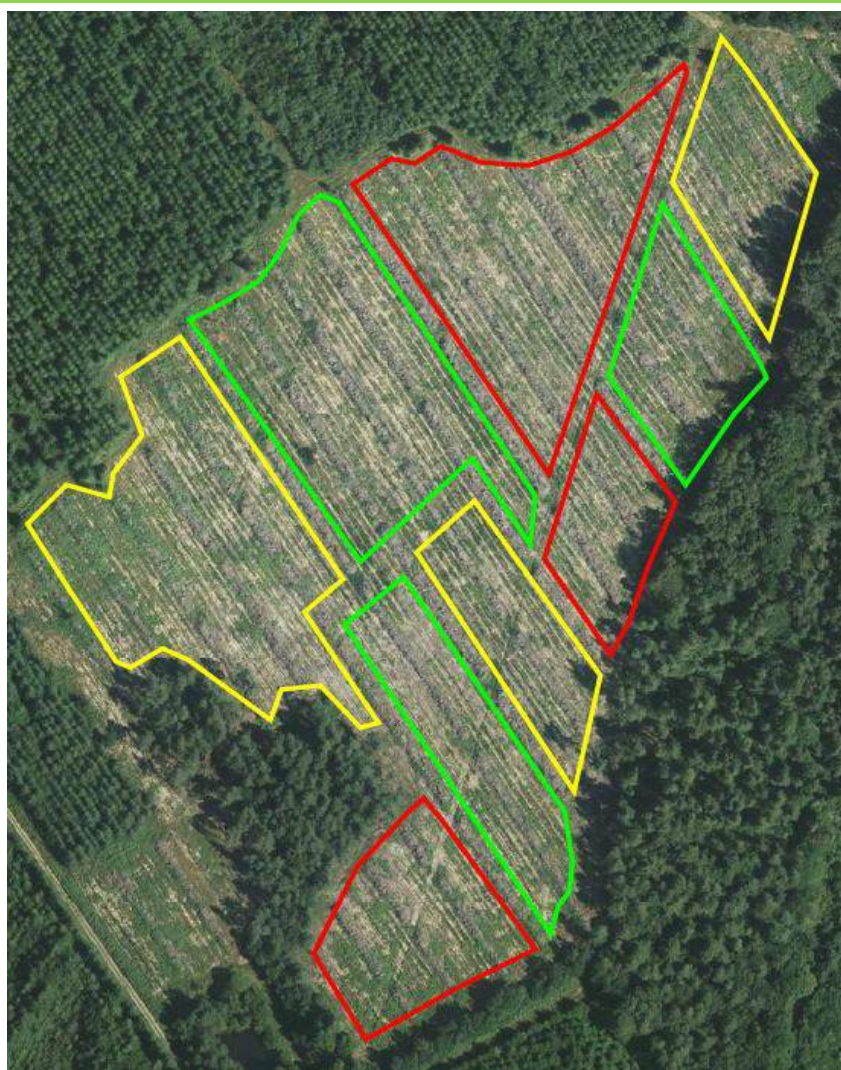
Témoin



PK CaMg



PK



Région	Bretagne
Département	Côtes d'Armor (22)
Forêt	Cassebreuil
Parcelle	11
Pluviométrie	971,23 mm/an
Température	10,86 °C
Altitude	220 m
Long / Lat	-2,6692, 48,2294
Pente	< 10 %
Exposition	Sud - Est
Topographie	Milieu de versant
Installation	



Peuplement	
Actuel :	Futaie d'Epicéa de Sitka (100%) - 4,85 ha Plantation en hiver 2011/2012
Travaux de reboisement :	Mise en andains - dessouchage Dégagement manuel et mécanisé
Antécédent :	Futaie adulte d'Epicéa de Sitka Exploité à 40-45 ans, ø40, vol moy. 1,146 m3 Densité (circ. >70 cm) : 1370

Sol	
Roche mère :	Schistes épimétamorphiques à biotite et muscovite
Sol :	brun ocreux
Texture :	Linono-sableux
Humus :	Dysmoder - Mor
Type de station :	C10 Assez pauvre bien drainée

Dernières mesures et observation (mai-juin 2016)

1 échantillon de sol a été fait sur la parcelle (5 prélèvements/échantillon)



Accroissement moyen N-1 (cm)



0 - 25 (11)
25 - 50 (66)
50 - 75 (15)

Groupe(s) floristique(s) dominant(s)



2 : Callune - Molinie
2-3 : Callune - Molinie et Fougère - Ajonc d'Europe
3 : Fougère - Ajonc d'Europe
3-6 : Fougère - Ajonc d'Europe et Houlique molle - Chèvrefeuille
5 : Genêt - Ronce

Etat sanitaire



Vert et vigoureux
Vert clair et moyennement vigoureux
Jaunâtre et peu vigoureux
Dépérissant
Mort
Ne peut pas juger (puceron vert, chevreuil ...)
Absent

Résultats des analyses de sol





pH eau	N (g/kg)	C (g/kg)	K (cmol +/kg)	P2O5 (g/kg)	Mg (cmol +/kg)	Ca (cmol +/kg)	Na (cmol +/kg)	Mn (cmol +/kg)	CEC (cmol +/kg)	Cx (%)	Argile (g/kg)	Limons (g/kg)	Sables (g/kg)
4,41	1,39	31,3	0,081	0,062	0,093	0,089	0,07	0,056	4,31	14	193	602	205

P2O5 : Méthode Duchaufour

Modalités de l'amendement

Témoin (T)	Traitement sans engrais
PK CaMg	100 kg/ha de P2O5 + 200 kg/ha de CaO + 67 kg/ha de K2O (666 kg/ha de Physalg 15-10) 1034 kg/ha de CaO + 304 kg/ha de MgO (2342 kg/ha de Qualibreiz 45-13)
PK	100 kg/ha de P2O5 + 200 kg/ha de CaO + 67 kg/ha de K2O (666 kg/ha de Physalg 15-10)

Implantation des dispositifs

-  Prélèvements de sol non effectué
-  Témoin
-  PK CaMg
-  PK



Région	Bretagne
Département	Côtes d'Armor (22)
Forêt	Cassebreuil
Parcelle	5p
Pluviométrie	921,73 mm
Température	10,92 °C
Altitude	180 m
Long / Lat	-2,6559, 48,2422
Pente	10-15 %
Exposition	Nord
Topographie	Milieu versant
Installation	



Peuplement	
Actuel :	Futaie d'Epicéa de Sitka (60 %) - Douglas (40 %) 3,60 ha / Plantation en hiver 2013/2014
Travaux de reboisement :	Mise en andains - dessouchage Dégagement manuel et mécanisé
Antécédent :	Futaie adulte de Pin maritime Exploité à 50-60 ans, ø40/45, vol moy. 1,221 m3 Densité (circ. >70 cm) : 354

Sol	
Roche mère :	Micaschistes à muscovite & chlorite
Sol :	Brun ocreux
Texture :	Linono-sableux
Humus :	Dysmoder - Mor
Type de station :	C11
	Pauvre bien drainée - molinie & fougère aigle




Résultats des analyses de sol

pH eau	N (g/kg)	C (g/kg)	K (cmol+ /kg)	P2O5 (g/kg)	Mg (cmol+ /kg)	Ca (cmol+ /kg)	Na (cmol+ /kg)	Mn (cmol+ /kg)	CEC (cmol+ /kg)	Cx (%)	Argile (g/kg)	Limons (g/kg)	Sables (g/kg)
4,25	0,932	25,4	0,097	<0,02	0,102	0,083	0,044	0,022	4,21	8,5	186	655	159

Modalités de l'amendement

Témoin (T)	Traitement sans engrais
PK CaMg	100 kg/ha de P2O5 + 200 kg/ha de CaO + 67 kg/ha de K2O (666 kg/ha de Physalg 15-10) 823 kg/ha de CaO + 237 kg/ha de MgO (1829 kg/ha de Qualibreiz 45-13)
PK	100 kg/ha de P2O5 + 200 kg/ha de CaO + 67 kg/ha de K2O (666 kg/ha de Physalg 15-10)

Implantation des dispositifs

	Témoin
	NP CaMg
	NP



Région	Bretagne
Département	Côtes d'Armor/Morbihan
Forêt	Conveau
Parcelle	9c
Pluviométrie	1181,62
Température	11
Altitude	175-190
Long / Lat	-3,5446, 48,1797
Pente	< 10 %
Exposition	Nord
Topographie	Milieu de versant
Installation	



Peuplement	
Actuel :	Futaie d'Epicéa de Sitka (70 %) - Douglas (30 %) 3 ha / Plantation en hiver 2013/2014
Travaux de reboisement :	Mise en andains - culti sous-soleur Dégagement manuel
Antécédent :	Futaie adulte d'Epicéa de Sitka Exploité à 45-50 ans, ø45/50, vol moy. 1,610 m3 Densité (circ. >70 cm) : 1537

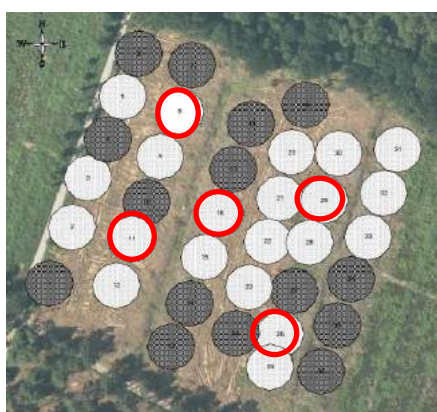
Sol	
Roche mère :	schistes ardoisiers sombres à passées gréseuses
Sol :	brun ocreux
Texture :	Limono-sableux
Humus :	Dysmoder - Mor
Type de station :	C11
	Pauvre bien drainée à molinie & fougère aigle

Dernières mesures et observation (mai-juin 2016)

1 échantillon a été fait sur la parcelle (5 prélèvements/échantillon)

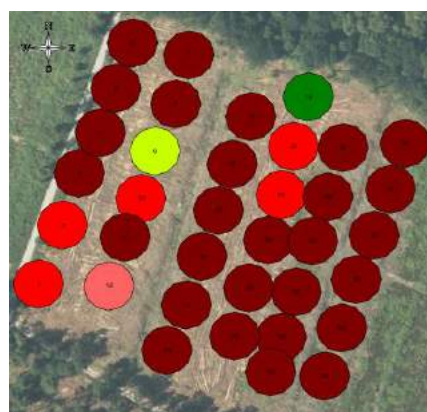


Accroissement moyen N-1 (cm)



□ 0 - 15 (20)
■ 15 - 30 (15)

Groupe(s) floristique(s) dominant(s)



■ 2 : Callune - Molinie
■ 2-3 : Callune - Molinie et Fougère - Ajonc d'Europe
■ 2-4 : Callune - Molinie et Espèces forestières
■ 3-4 : Fougère - Ajonc d'Europe et Espèces forestières
■ 4 : Espèces forestières

Etat sanitaire



■ Vert et vigoureux
■ Vert clair et moyennement vigoureux
■ Jaunâtre et peu vigoureux
■ Déperissant
■ Mort
■ Ne peut pas juger (puceron vert, chevreuil ...)
□ Absent

Résultats des analyses de sol

pH eau	N (g/kg)	C (g/kg)	K (cmo l./kg)	P2O5 (g/kg)	Mg (cmo l./kg)	Ca (cmo l./kg)	Na (cmo l./kg)	Mn (cmo l./kg)	CEC (cmo l./kg)	Cz (%)	Argile (g/kg)	Limons (g/kg)	Sables (g/kg)
4,05	1,81	42,1	0,09	0,07	0,16	0,1	0,07	0,01	6,71	14	188	548	264

P2O5 : Méthode Duchaufour

Modalités de l'amendement

Témoin (T) Traitement sans engrais

PK CaMg 100 kg/ha de P2O5 + 200 kg/ha de CaO + 67 kg/ha de K2O (666 kg/ha de Physalg 15-10)
1030 kg/ha de CaO + 297 kg/ha de MgO (2289 kg/ha de Qualibreiz 45-13)

PK 100 kg/ha de P2O5 + 200 kg/ha de CaO + 67 kg/ha de K2O (666 kg/ha de Physalg 15-10)

Implantation des dispositifs

Témoin



PK CaMg



PK



Région	Bretagne
Département	Côtes d'Armor/Morbihan
Forêt	Conveau
Parcelle	7a
Pluviométrie	1178,53 mm
Température	10,67 °C
Altitude	260-230
Long / Lat	-3,5463, 48,1747
Pente	10-15 %
Exposition	Nord Ouest
Topographie	Milieu de versant
Installation	



Peuplement	
Actuel :	Futaie d'Epicéa de Sitka (100 %) 3,13 ha / Plantation en hiver 2014/2015
Travaux de reboisement :	Evacuation totale des souches Dégagement manuel
Antécédent :	Futaie adulte d'Epicéa de Sitka Exploité à 45-50 ans, ø45/50, vol moy. 1,640 m ³

Sol	
Roche mère :	quartzites blanc massifs
Sol :	Ocre podzolique
Texture :	Limono-sableux
Humus :	Dysmoder - Mor
Type de station :	C10
	Assez pauvre bien drainée




Résultats des analyses de sol

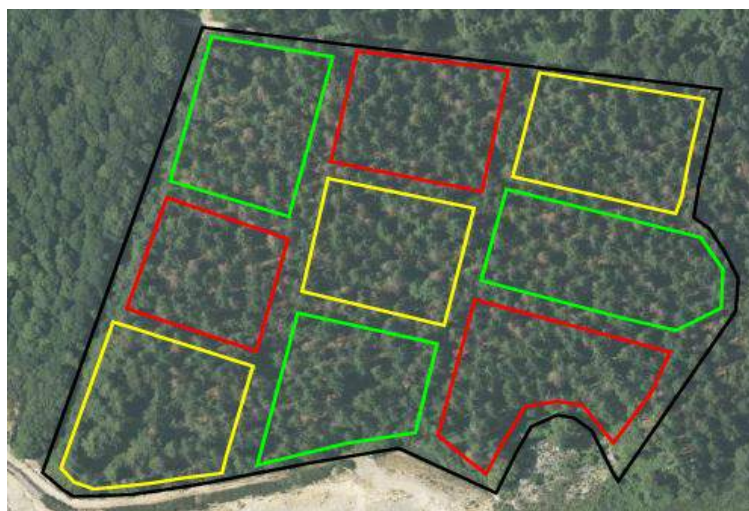
pH eau	N (g/kg)	C (g/kg)	K (cmol+ /kg)	P2O5 (g/kg)	Mg (cmol+ /kg)	Ca (cmol+ /kg)	Na (cmol+ /kg)	Mn (cmol+ /kg)	CEC (cmol+ /kg)	Cx (%)	Argile (g/kg)	Limons (g/kg)	Sables (g/kg)
3,97	1,82	52,1	0,146	0,082	0,301	0,252	0,093	0,041	6,75	16,9	187	540	273

Modalités de l'amendement

Témoin (T)	Traitement sans engrais
PK CaMg	100 kg/ha de P2O5 + 200 kg/ha de CaO + 67 kg/ha de K2O (666 kg/ha de Physalg 15-10) 982 kg/ha de CaO + 283 kg/ha de MgO (2182 kg/ha de Qualibreiz 45-13)
PK	100 kg/ha de P2O5 + 200 kg/ha de CaO + 67 kg/ha de K2O (666 kg/ha de Physalg 15-10)

Implantation des dispositifs

	Témoin
	NP CaMg
	NP





Restauration des sols forestiers

EXPÉRIMENTATION

04 JUILLET 2016

AVANT - PROPOS

Depuis 2016, le CETEF des Côtes d'Armor a défini trois axes d'études, dont un sujet sur la restauration de la qualité des sols. Dans le cadre de cette étude, le CETEF 22 et le CRPF de Bretagne ont pour mission de mettre en place des expérimentations répondant aux préoccupations des propriétaires forestiers vis-à-vis de cette thématique.

Cependant, pour faire avancer les choses, nous avons besoin de vous ...

La bonne nutrition minérale

La fertilité est la capacité d'un sol à fournir les ressources nécessaires à la croissance des végétaux.

Or, de manière générale, les sols bretons ont une fertilité minérale faible.

Cette pauvreté ajoutée à l'intensification des exportations d'éléments minéraux lors de l'exploitation et aux pertes par drainage ne compensent pas les « flux entrants » qui proviennent des dépôts atmosphériques et de l'altération des minéraux du sol. Ceci conduit à un appauvrissement et une acidification des sols, notamment ceux situés sur roche granitique ou grès armoricain.

Ainsi, cela mérite que l'on

suive attentivement l'évolution du phénomène.



Sylviculture, CFHL


peuplements et les rendent plus sensibles à des agressions externes (climat, parasites, pollution, etc.).


Depuis quelque temps, des signaux d'alarme sont lancés sur la santé de la forêt au vu du mauvais état sanitaire, principalement sur les épicéas : déficit foliaire, décoloration du feuillage et faible croissance ; c'est ce qu'on appelle «dépérissement».

Pour éviter ces dépérissements et conserver la richesse minérale de nos sols et donc une production future, il existe une solution : l'apport d'éléments minéraux par amendement et/ou fertilisation.


Les bénéfices d'une nutrition active

L'acidité trop élevée des sols forestiers est une des causes du dépérissement des arbres en Bretagne. Ainsi, par son apport en éléments nutritifs (phosphore, potassium, magnésium, calcium etc.) la fertilisation peut avoir un impact important sur :

 **La fertilité des sols** : évolution de l'humus, amélioration des valeurs du pH, et de l'activité biologique, disparition de la toxicité aluminique etc.

 **Le peuplement** : augmentation de la masse de racine fine, de la masse

foliaire et par conséquent de la production ligneuse, meilleure résistance aux aléas et aux stress et favorisation de l'installation et de la régénération du peuplement

 **La strate herbacée** : amélioration de la biodiversité

Des essais ont montré que l'apport d'éléments minéraux au sol pouvait non seulement améliorer la nutrition minérale mais aussi augmenter significativement la production de bois. Plusieurs expériences montrent que le gain moyen en accroisse-

ment est de **2,4 m³/ha/an** pour l'Epicéa (commun et Sitka), de **4 m³/ha/an** pour le Pin Laricio et de **1,2 m³/ha/an** pour le Pin Sylvestre.

Ainsi, dans certains cas, il est important d'améliorer les potentialités du sol par une fertilisation minérale.



Essai de fertilisation sur douglas dans les Côtes d'Armor

REDACTION

Michel Colombet

Laurent Le Mercier

Jean-Pierre Drougard

Camille Queinnec

Apporter des minéraux OUI, mais RAISONNABLEMENT ...



**Big Bag
Timac**

Il doit se faire suivant plusieurs critères comme le niveau de fertilité de la parcelle et donc ses besoins en éléments fertilisants, la forme de l'engrais, la qualité de l'épandage...

correspondent souvent à des habitats rares et protégés, menacés ou vulnérables à conserver en tant que tels.

L'évaluation de la fertilité des stations forestières peut se faire par différents moyens allant d'une simple observation à une analyse scientifique (prélèvement de sol et analyses foliaires).

Ces diagnostics permettent d'estimer la richesse « naturelle » du sol et ses éventuels besoins en amendement.

Dans tous les cas, il s'agit d'une démarche qui doit être parfaitement raisonnée.

Tous ces éléments additionnés conditionnent le choix d'une formule d'apport.

Le choix de l'amendement et de la fertilisation peut être déterminé par son prix, mais pas seulement !

Il faut bien avoir en tête qu'il ne s'agit en aucune manière d'intervenir sur tous les sols pauvres, car certaines stations

« En foresterie, comme en agriculture, il peut être opportun d'apporter au sol certains éléments minéraux qui n'y sont présents qu'en quantité insuffisante »

M. Bonneau, 1995

Amendement & Fertilisation

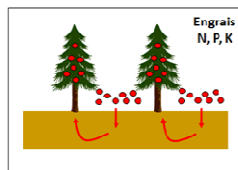
Les besoins en éléments nutritifs des arbres doivent être respectés tout au long de leur vie afin d'obtenir une bonne croissance et des arbres sains. Ainsi, les réserves du sol en ces éléments doivent être périodiquement réapprovisionnées.

La fertilisation : action rapide mettant en jeu l'absorption directe des éléments apportés par les racines. Une fertilisation initiale, de correction ou de tonification peut se pratiquer pour dynamiser la croissance.

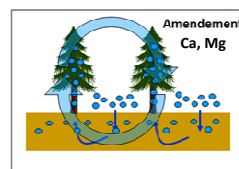
Des engrais naturels ou synthétiques ont donc été développés pour fournir ces éléments majeurs. L'apport de nutriments peut se faire de deux façons différentes :

L'amendement : action lente visant à corriger un appauvrissement des sols, à améliorer l'activité biologique et à rétablir le cycle biogéochimique. Son but premier n'est pas d'augmenter la production des forêts mais c'est une conséquence observée.

Différence entre engrais et amendement
Claude Nys



**Productivité
Action rapide**



**Gestion durable
Action lente**

Sondage / Réponse souhaitée au plus tard le lundi 8 août 2016

A ce jour, nous aimerions estimer le nombre de propriétaires et gestionnaires forestiers qui seraient intéressés, dans les années à venir, pour entreprendre des travaux de fertilisation/amendement. Pour ce faire, nous vous demandons de bien vouloir remplir ce coupon- réponse et nous le renvoyer.

Nom et Prénom Commune de situation de la forêt

Je suis : Propriétaire Gestionnaire Autre :

La restauration minérale des sols en forêt ... :

M'intéresse Ne m'intéresse pas Je souhaite plus d'information avant de me prononcer

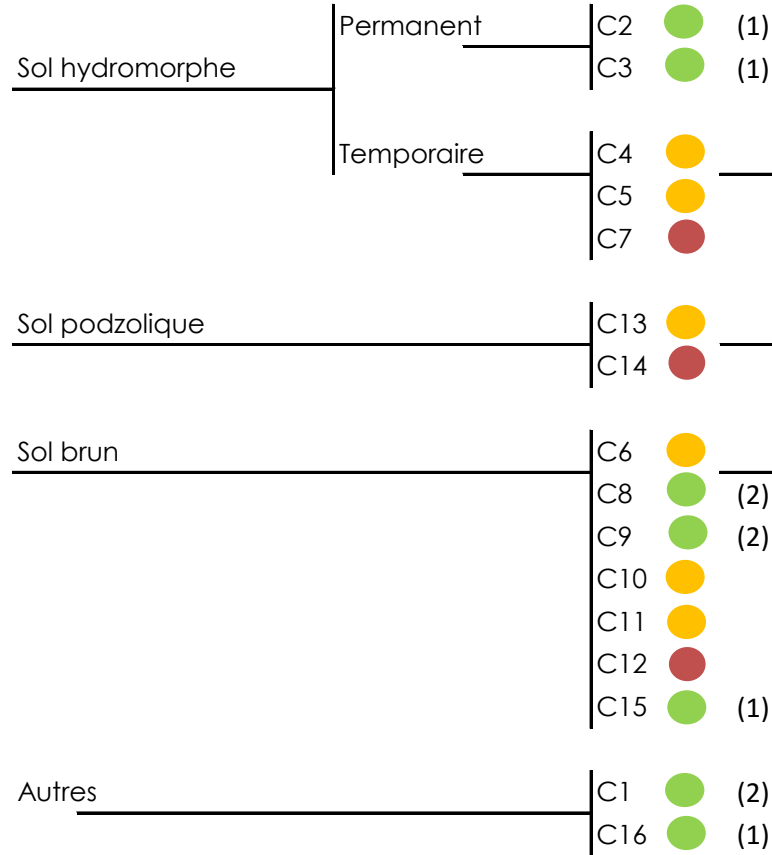
Vous pouvez nous retourner ce coupon à l'adresse : CRPF des Côtes d'Armor, 4 rue de la passerelle, 22200 Guingamp

OU

nous donner une réponse par e-mail à l'adresse : camille.queinnec@etu.ecoledubois.fr

Identification du besoin en amendement pour des reboisements d'Epicéa de Sitka et Douglas

Type de station (Guide COB)



Végétations dominantes

- Bruyère et Ajonc de Le Gall
- Molinie et Callune
- Fougère et Ajonc d'Europe
- Germandrée, Polytric et Digitale
- Genêt et Ronce
- Houlque Molle et Chèvrefeuille



Sylviculture

- Exportation totale des rémanents
- Dessouchage
- Mise en andains
- Sous-solage
- Culti-sous-solage

- Pas (besoin) d'apport
- Besoin d'apport éventuel
- Besoin d'apport
- (1) Station inadaptée
- (2) Station à mieux valorisée
- (3) Masse foliaire, accroissement etc.

Etat sanitaire du peuplement

- Vert et vigoureux (3)
- Vert clair et moyennement vigoureux
- Jaunâtre et peu vigoureux
- Forte attaque parasitaire

Si beaucoup de "feu" rouge ou orange :

Apport d'amendement/Fertilisation

En plein
(Avant ou après plantation)

- Remédiation
- Dynamique
- Bois énergie

- Peuplement adulte (10-15 ans avant la coupe rase)
- A la plantation et décapage du sol (andain etc.)
- Peuplement adulte (10-15 ans avant la coupe rase)
- A la plantation et décapage du sol (andain etc.)
- Peuplement adulte (10-15 ans avant la coupe rase)
- A la plantation et décapage du sol (andain etc.)

K2O = 100 kg/ha	P2O5 = 100 kg/ha
MgO = 95 kg/ha	CaO = 500 kg/ha
K2O = 100 kg/ha	P2O5 = 100 kg/ha
MgO = 160 kg/ha	CaO = 710 kg/ha
K2O = 100 kg/ha	P2O5 = 100 kg/ha
MgO = 180 kg/ha	CaO = 730 kg/ha
K2O = 100 kg/ha	P2O5 = 100 kg/ha
MgO = 260 kg/ha	CaO = 1060 kg/ha
K2O = 100 kg/ha	P2O5 = 100 kg/ha
MgO = 250 kg/ha	CaO = 940 kg/ha
K2O = 100 kg/ha	P2O5 = 100 kg/ha
MgO = 400 kg/ha	CaO = 1450 kg/ha

Restauration minérale des sols forestiers bretons

Le « Projet de Fin d'Etudes », d'une durée de 26 semaines, est le dernier stage de mon cursus à l'Ecole Supérieure du Bois. Il vient compléter ma formation par la mise en pratique des compétences que j'ai pu acquérir au cours des trois années de cycle ingénieur. Il s'agit d'une expérience d'ingénieur, qui exige de la rigueur, de l'analyse et de la prise de recul.

Mon stage s'est déroulé sous la double direction du Centre d'Etudes Techniques et d'Expérimentations Forestières des Côtes d'Armor (CETEF - financeur du stage) et du Centre National de la Propriété Forestière – délégation de Bretagne (CNPF) à l'antenne des Côtes d'Armor à Guingamp (encadrement technique).

Durant ces six mois, la restauration minérale des sols forestiers bretons a été au cœur de mon projet.

Le présent document est destiné à vous présenter les tenants et aboutissants de l'étude.

Après une introduction consacrée au contexte socio-économique de la Bretagne et à la présentation des organismes pour qui j'ai travaillé, le cadre de mon étude et ses objectifs vous seront exposés.

Vous pourrez apprécier le déroulement de l'étude avec ses différentes étapes ainsi que les outils utilisés pour répondre à la problématique.

Enfin, vous terminerez par les résultats de l'étude et une ouverture sur d'autres perspectives.

Rédactrice : Camille Queinnec

DEPERISSEMENT - EPICEA DE SITKA – FERTILISATION - RESTAURATION MINERALE - AMENDEMENT

Organismes d'accueil :

CETEF des Côtes d'Armor

CNPF - délégation de Bretagne, Côtes d'Armor

