

Sujet de thèse 2016-2017 (Fiche des éléments à renseigner pour mémoire)

(Volume une dizaine de pages)

Intitulé Français et Anglais (à renseigner dans IrsteAccueil):

Durabilité de l'exploitation de la ressource bois dans un environnement changeant

Sustainable exploitation of wood resources in a changing environment

Résumé Fr et Anglais:

Les forêts de la région Centre couvrent un quart de sa superficie totale. Majoritairement privées, elles recèlent une ressource bois importante mais sous-exploitée. Gérer durablement ces forêts et renforcer la compétitivité de la filière bois constitue un enjeu fort pour le développement économique des territoires à dominante forestière. Cependant, la filière est face à deux défis : augmentation de la demande en bois, avec diversification des usages ; changements climatiques menaçant sérieusement les forêts de la région à l'horizon 2050. En dépit des incertitudes, ce contexte nouveau impose des mutations de la part des gestionnaires forestiers et des entreprises ce qui soulève des interrogations sur l'investissement des entreprises, l'impact des récoltes supplémentaires sur le sol. Le projet de thèse s'intègre au projet Defiforbois (PSDR4) qui propose, pour la région Centre, de faire un diagnostic environnemental, économique et « Ressources humaines » des entreprises de mobilisation des bois et de leurs nouvelles pratiques de récolte, et de concevoir des options sylvicoles et une offre d'essences mieux adaptées aux enjeux et au climat futur.

Le travail de thèse s'articule autour de la durabilité de la récolte de bois énergie avec deux volets environnementaux, qui concerne l'identification des critères de sensibilité, la caractérisation de la biomasse exportée, la validation de nouveaux indicateurs de sensibilité à l'exploitation accrue de biomasse, et un volet économique avec une évaluation de certains risques environnementaux (perte de fertilité et de productivité notamment) et leur mise en relief avec les choix possibles de coupe. La finalité du projet est de fournir des outils d'aide à la décision et des recommandations pour garantir la durabilité de la gestion forestière sous l'angle de la mobilisation du bois. Ainsi, ce travail de thèse permettra de fournir des recommandations pour la préservation de la qualité des sols et un outil d'aide à la décision afin d'arbitrer entre durabilité et rentabilité.

The PhD project focuses on the sustainability of the wood harvesting with environmental aspects: the identification of sensibility soil characteristics, characterization of exported biomass, validation of new indicators, and an economic component with an assessment of certain environmental risks (loss of fertility and productivity in particular) and their highlighting with the choices wood exploitation. The purpose of the project is to provide the decision and recommendations using tools to ensure the sustainability of forest management in terms of mobilization of wood. Thus, this thesis will provide recommendations for preserving soil quality and a decision support tool to arbitrate between sustainability and profitability.

1. Contexte et enjeux :

Les gestionnaires forestiers sont face à plusieurs défis : produire plus de bois pour répondre à la demande croissante, assurer le renouvellement des forêts, préserver la qualité des sols et la biodiversité, tout en assurant l'adaptation des forêts aux changements climatiques. Ce contexte nouveau impose **des mutations de la part des gestionnaires forestiers et des entreprises qui auront une incidence sur l'ensemble de la filière forêt-bois.**

Le premier défi vise à accroître la mobilisation des bois en forêt privée pour répondre aux nouveaux besoins et en particulier augmenter l'offre d'énergies renouvelables (bois énergie) et de matériaux bio-sourcés. En effet, les politiques énergétiques et environnementales favorisant l'utilisation du bois en tant que source d'énergie renouvelable ou de matériau de construction se sont traduites, en région Centre, par une augmentation des récoltes de bois d'industrie et bois d'énergie (BI et BE) de 22% entre 2008 et 2012. Face à cette évolution, les exploitants de la région se tournent de plus en plus vers des systèmes d'abattage mécanisés, offrant de nouvelles possibilités (ex. récolte en arbres entiers). **L'impact socio-économique de l'essor du secteur bois énergie est un sujet de préoccupation à l'échelle des territoires et le développement de ces systèmes d'exploitation mécanisés représente un challenge pour les entreprises et les écosystèmes.** Son incidence sur l'environnement à l'échelle des parcelles concernées par les coupes ne doit pas être négligée. Or, les recommandations existantes (guide ADEME 2016, issues du travail du projet Résobio) ont été rédigées à une échelle nationale et comme première tentative de cadrage de l'exploitation accrue de biomasse. A ce jour, ces recommandations ne sont pas toujours connues ou prises en compte par les exploitants ou propriétaires, et surtout sont perçues comme réalisées à une échelle trop grossière et comme étant une nouvelle contrainte à l'exploitation. La filière amont du bois est en demande de recommandations plus fines et plus adaptée à leur dilemme éco-environnemental.

Le deuxième défi est lié aux changements climatiques. Les experts du GIEC prévoient une augmentation de 2,5 à 3°C de la température annuelle moyenne, un régime des pluies perturbé et une accentuation des événements extrêmes. L'évolution du climat fait peser des risques sur la forêt directement en terme de vulnérabilité des essences (aire de distribution) et indirectement sur les peuplements via les événements extrêmes (ex. tempêtes), les pullulations de ravageurs qui se répercutent inévitablement sur les revenus des produits bois tout au long de la filière. Les gestionnaires sont tentés de modifier leurs pratiques pour réduire ces risques, comme réduire les rotations (exploiter avant la totale maturité du peuplement) ou favoriser les essences à forte croissance. Mais, ces pratiques imposent des passages plus réguliers d'engins, une exportation plus importante et régulière de biomasse et donc de nutriments qui peuvent être à l'encontre de la durabilité environnemental mais aussi en conséquence de rentabilité des peuplements in fine.

Pour surmonter ces deux défis, la filière doit pouvoir adopter des **options techniques appropriées au contexte environnemental et social et acceptables par les acteurs** (propriétaires et les entreprises) de la région concernant l'**exploitation forestière** et la **silviculture**.

La valorisation et la gestion durable de la ressource bois constitue donc un enjeu majeur pour les territoires forestiers, dont la région Centre-Val de Loire. Cette région présente tout le potentiel pour mener une étude d'envergure sur la durabilité de l'exploitation des forêts, tant au niveau environnemental qu'économique. Ses forêts sont importantes au niveau économique (plus des trois quarts des revenus de la forêt en région Centre-Val de Loire proviennent de l'exploitation du bois et environ 20% des activités liées à la chasse et la pêche), mais également au niveau de leur diversité biologique. Présentes sur une surface de

900 000 ha, les forêts de la région Centre-val de Loire occupent une place marquante dans le paysage de la région, avec notamment la forêt domaniale d'Orléans qui couvre à elle seule 35000 ha et dans laquelle on rencontre majoritairement du chêne sessile et du pin sylvestre, deux essences emblématiques pour toute la filière au niveau régional et aussi français. Par ailleurs, de nombreux peuplements forestiers présentent des caractéristiques de sensibilité des sols à l'exploitation accrue de biomasse et permettent donc d'affiner les recommandations à des cas sensibles, voir critiques. Nombreux sols forestiers de la région sont en effet sensibles à la perte de fertilité, car ce sont des sols pauvres en nutriments, soit sensible au tassement et à l'orniérage, en raison de leur caractère argileux et hydromorphe. Toutefois, le niveau réel de sensibilité, tant en intensité qu'en nombre de peuplements concernés, ainsi que leur répartition est aujourd'hui une donnée approximative et définie localement par les gestionnaires. La région est donc idéale pour acquérir des connaissances scientifiques, notamment sur l'impact de l'exploitation accrue de biomasse, afin d'affiner les recommandations pour permettre la durabilité de ces nouvelles pratiques de gestion forestière. Au-delà de l'aspect scientifique, la prise en compte des exigences socio-économiques sont des conditions indispensables au déploiement d'une filière bois-énergie et à la préservation des services écosystémiques des peuplements forestiers.

Le principal enjeu vise à adapter les systèmes d'exploitation forestière pour répondre aux sollicitations actuelles de développement du BE tout en préservant la qualité du sol. L'association de la durabilité du service de production de bois, de la qualité environnementale (respect des sols et de la biodiversité) et économique (faisabilité des opérations de récolte pour répondre aux attentes des marchés) est nécessaire pour atteindre un compromis satisfaisant pour les différents acteurs et pour préserver la multifonctionnalité de la forêt.

2. Etat de l'art (sur connaissances théoriques et aspects méthodologiques) / caractère innovant :

Les nouveaux modes de récolte du bois-énergie, qui prélèvent davantage de biomasse et augmentent les passages d'engins dans les parcelles sont susceptibles d'avoir des effets particuliers sur la fertilité des sols (Cacot *et al.*, 2006) et la biodiversité (Landmann *et al.*, 2009). Si l'effet des opérations sylvicoles conventionnelles sur la biodiversité a déjà été étudié et en partie synthétisé (Bergès, 2004, Paillet *et al.* 2010), les nouveaux modes de récolte du bois-énergie sont encore peu étudiés en région tempérée (Bouget *et al.*, 2012 ; Lassauce *et al.*, 2012). Des recherches sur leurs impacts sont conduites au plan international surtout en régions boréales (Thiffault *et al.*, 2011 ; Kaarakka *et al.*, 2014). Au plan national, des expertises et synthèses ont été réalisées par un collectif de chercheurs auquel ont participé les partenaires FCBA, ONF et Irstea (Cacot *et al.*, 2009, Landmann *et al.*, 2014).

Ces travaux concluent au besoin fort de suivis des impacts en contexte tempéré car les écosystèmes boréaux diffèrent des forêts tempérées sur les plans écologique et historique. Ils soulignent également le besoin de suivi régionalisé, adapté aux pratiques et peuplements locaux car l'effet sur la fertilité et la croissance varie selon les modalités de récolte et le type de station.

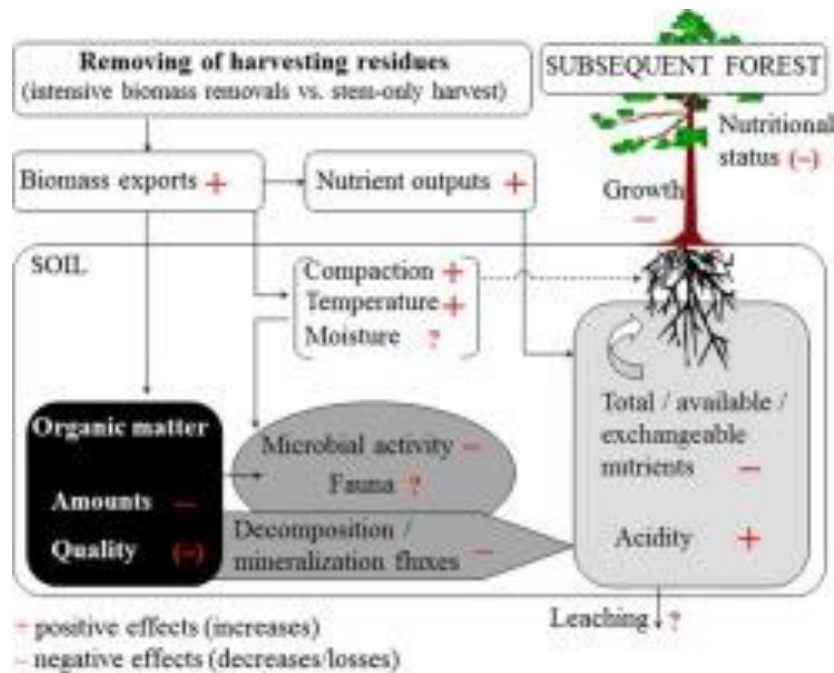
Une première approche pour l'analyse de chantiers bois-énergie sous un angle environnemental, économique et social menée par FCBA dans le projet BENEFITS a permis de construire une grille de Critères et Indicateurs qualitatifs (Le Meur *et al.*, 2011). Mais pour apporter des réponses sur la pertinence de tel ou tel système d'exploitation, il faut disposer de données quantitatives fiables à la fois sur les peuplements, les sols, la biodiversité et le bilan économique et pouvoir recueillir l'avis des opérateurs sur l'organisation des

chantiers. De plus si des recommandations et des outils d'aide à la décision existent déjà sous la forme de guides, clés dichotomiques, progiciels de modélisation, ils ne couvrent souvent qu'un seul champ spécifique : choix des matériels et organisations techniques (Laurier, 2010 ; Pannetier, 2010), prise en compte des contraintes pédologiques (Pischedda, 2009 [guide PROSOL], Cacot *et al.*, 2006 [guide ADEME], Grovel *et al.*, 2014), chaînes logistiques à développer (Acuna, 2014; Roser, 2014). Il n'y a pas encore eu d'approche multicritère.

Le projet Defiforbois (DEveloppement et durabilité de la Filière FORêt-BOIS en région Centre) propose spécifiquement pour la région Centre de faire un diagnostic social, économique et environnemental (dont la biodiversité) de la situation actuelle de la mobilisation des bois, des pratiques associées à la récolte de bois énergie. Le travail de thèse présenté s'ancre au cœur de ce projet. Concernant le volet écologique, le travail de thèse s'inscrit dans la continuité du projet RÉSOBIO (Gestion des rémanents forestiers : préservation des sols et de la biodiversité, Landmann et Nivet, 2014) qui a permis d'identifier les pistes de recommandations pour la révision du guide ADEME (Cacot, 2006) sur la « récolte raisonnée des rémanents en forêt ». Il met notamment en avant le besoin d'un observatoire des pratiques de récolte, d'une meilleure appréciation quantitative et qualitative des rémanents restants en fonction des systèmes d'exploitation, et des indicateurs pour mieux qualifier la sensibilité et la résilience d'une forêt. La mise en place de cet observatoire, ainsi que la révision du guide Ademe 2006 au niveau national est en cours et fait l'objet du projet Gerboise. Le projet de thèse mené en parallèle complètera ce réseau de parcelles de l'observatoire, permettra d'apporter des données sur la qualification des rémanents nécessaires pour calculer les exports de nutriments et de valider des indicateurs envisagés dans INSENSE. En effet, le projet INSENSE, mais aussi RESPIRE financés par l'appel REACTIF de l'ADEME et qui sont en cours, ont pour objet l'élaboration d'indicateurs, mais la durée des projets ne leur permet pas de les valider. De plus, le présent projet de thèse contribuera à affiner le travail de révision du guide ADEME 2006 et celui de David Achat sur l'identification des indicateurs de sensibilité des sols, ainsi qu'au transfert aux professionnels. Une partie du travail de thèse proposée est donc également mené en parallèle dans le projet GERBOISE (2016-2018) mais sur un petit nombre de chantiers répartis sur toute la France. Etant positionné à une maille régionale, donc plus fine, et en associant étroitement les acteurs, le travail de thèse permettra une meilleure adéquation avec les préoccupations régionales et un transfert rapide, avec notamment :

- L'élaboration de recommandations et préconisations pour adopter des bonnes pratiques pour mobiliser les bois (BI et BE) efficacement et durablement, et préciser localement les conditions dans lesquelles on peut mobiliser du bois-énergie de manière durable.
- L'établissement d'outils d'aide à la décision pour développer la récolte mécanisée de bois dont la biomasse en région Centre.

Du point de vue de la recherche académique, une méta-analyse récente (Achat *et al.*, 2015) a mis en évidence que l'exportation des rémanents pouvait entraîner une réduction de la croissance des arbres de 3 à 7% à court ou moyen termes suite à des modifications sur le fonctionnement de l'écosystème. Le projet de thèse permettra d'améliorer la compréhension de cet impact au niveau des effets sur les sols et les relations sols-plantes, notamment à travers les flux de nutriments (figure ci-dessous). Sachant que la fertilité d'un sol est principalement lié à son stock de nutriments, sa réserve en eau et aux flux associés, une meilleure compréhension des mécanismes et des flux suites à une exploitation de bois énergie (unique ou répétée) est primordiale pour le maintien de la qualité des sols dans le contexte de l'intensification de ces pratiques.



Représentation graphique de l'effet de l'exportation des résidus sur la fertilité des sols forestiers (Achat et al. 2015).

Enfin, le projet de thèse abordera un aspect économique non traité par ces différents projets. Il permettra d'évaluer les pertes possibles de l'exploitation accrue de biomasse selon les différents scénarios de gestion possible (nombre de coupes par ex.) et du peuplement. Si certains risques ont déjà été étudiés (Terreaux et Chavet, 2016 ; Rakotoarison, 2016), celui de l'exploitation du bois-énergie est très lacunaire (Terreaux, 2016).

Actuellement, la politique forestière pour l'adaptation aux changements climatiques est peu déclinée à l'échelle des régions et encore moins à l'échelle des sylvoécorégions (SER) qui représentent des entités de gestion unitaire. L'analyse conjointe des aspects environnementaux et économiques de l'exploitation accrue du bois n'a jamais été mise en œuvre à l'échelle des SER. De plus, la déclinaison à l'échelle des SER, d'un cahier des charges va permettre aux gestionnaires de posséder des outils pour ajuster l'exploitation aux prévisions météorologiques et du cours des bois.

Ce projet est conçu comme un projet de recherche directement opérationnel avec des liens forts avec les utilisateurs finaux. Il entend ainsi faire bénéficier les acteurs amont de la filière forêt-bois régionale de l'innovation de la recherche et les aider à se saisir des questions sociétales (bio-économie, énergie et changements climatique et ressources identifiées dans le programme H2020) en lien avec des préoccupations de développement durable à l'échelle territoriale.

3. Descriptif des travaux :

Les questions scientifiques font écho aux objectifs et enjeux du projet afin de donner des orientations et des recommandations pour garantir la durabilité de la gestion forestière sous l'angle de la mobilisation du bois (dont le bois-énergie). Le projet permettra d'aborder les questions suivantes :

- Quel est le niveau de sensibilité des stations forestières régionales vis à vis de l'exportation répétée et/ou accrue de biomasse et de la mécanisation, en fonction de facteurs déterminants tels que la texture du sol ou le pH ?

- Quels sont les impacts de ces pratiques sur la fertilité et les perturbations des sols ?

Les réponses aux questions précédentes permettront de conclure sur les systèmes de récolte à favoriser d'un point de vue environnemental et les situations à risque.

Le travail se fonde sur deux hypothèses de travail : 1/ la mécanisation et les prélèvements de bois vont s'accroître, ce qui est prédit par les prévisions d'évolution de la filière, 2/ les risques dépendent de la diversité des stations forestières, des peuplements et des pratiques. Un état des lieux s'impose, ainsi qu'une étude multicritère (économique et environnementale) pour proposer des recommandations, des outils de diagnostic et d'aide à la décision pour garantir la durabilité de la gestion forestière. Il s'agit notamment de bien définir quelle est la nature de la durabilité recherchée (par exemple soutenabilité, à savoir stabilité du système, ou viabilité, à savoir fluctuation possible entre des contraintes préétablies) et de définir le niveau de risque acceptable.

Action 1 : Identification des critères de sensibilité environnementale de l'exploitation accrue de biomasse

Un premier travail sera d'affiner et d'élargir les critères de sensibilité des parcelles forestières de la région Centre-Val de Loire à l'exploitation accrue de biomasse. Ce projet de thèse va s'appuyer sur le travail réalisé dans le premier volet du projet DEFIFORBOIS qui a identifié des critères de sensibilité du sol, en termes de risque de perte de fertilité et de dommage physique au sol (tassement, orniérage). Le doctorant devra élargir ce travail à d'autres critères, comme les zones de protection ou le type de peuplement qui conditionne les outils et la fréquence de passage d'engins.

Ce premier travail pourra être valorisé par la publication d'un premier article sur les critères de sensibilité pertinent à évaluer et une certaine hiérarchisation selon les situations contrastées des stations forestières de la région Centre-Val de Loire. D'un point de vue pratique, cette action devrait aboutir à l'élaboration de recommandations affinées pour les spécificités (risques) de la région Centre-Val de Loire, pour une exploitation de la biomasse forestière tout en respectant la qualité des sols et l'environnement, mais également à l'élaboration d'un arbre de décision pour l'exploitation en considérant les caractéristiques pédologiques et dendrométriques des peuplements.

Action 2 : Étude environnementale de chantiers

Il s'agit, d'une part, de caractériser quantitativement et qualitativement la biomasse exportée et restante au sol ainsi que les impacts sur le sol (fertilité et dommages physiques), en comparant autant que possible des situations d'exploitation pour le bois-énergie à des exploitations conventionnelles. Pour cela, la Sté Unisylva est partenaire du projet Defiforbois s'est montrée favorable à cette expérimentation ce qui nous permettra de faire une étude synchronique des deux modes d'exploitation. Les mesures porteront sur la quantification de la biomasse et des nutriments exportés et des dommages au sol. Le suivi d'une douzaine de chantiers est prévu et commencera dès le début de 2017, avant le début de la thèse afin d'assurer l'observation d'un nombre suffisant de chantier dans le cadre de la thèse. Les données recueillies seront les premières données en France réellement quantitatives des exports supplémentaires entre l'exploitation conventionnelle et l'exploitation accrue de biomasse, et compléteront celles acquises en parallèle dans le projet connexe Gerboise réalisé dans d'autres régions et situations pédo-climatiques. Les atouts de ce présent projet par

rapport à Gerboise est d'étudier plus de chantiers dans une région donnée, et comparera sur les mêmes sites des chantiers conventionnelles et d'exploitation de bois-énergie. La puissance et la représentativité sera d'autant plus grande et permettra d'élaborer des outils d'aide à la décision plus fiable et sensible. Ces données tant sur la fertilité du sol que les exportations devraient à la fois permettre de mieux comprendre les flux de nutriments et le fonctionnement sol-plante des écosystèmes forestiers subissant un export important et dans des conditions pédologiques spécifiques et contraignantes de la région, mais aussi d'un point de vue pratique d'estimer la perte de fertilité potentielle du sol et de productivité du peuplement en fonction de l'état initial des sols, et du nombre et de la fréquence des passages.

Ce travail fera le lien avec l'angle économique de la thèse. Il s'agit en particulier d'aider à la décision en évaluant les pertes de productivité potentielle, en volume, mais aussi en valeur, intégrant le prix des bois, les coûts induits sur la sylviculture dans le futur, différentes valeurs liées à la forêt, et en tenant compte du fait que ces pertes peuvent apparaître dans un futur plus ou moins proche, s'étaler sur une période plus ou moins longue.

D'autre part, le doctorant devra mettre en place des protocoles de test de certains indicateurs d'impact de l'exploitation qui sont en fin d'élaboration dans le projet INSENSE porté par Laurent Augusto. Pour être diffusé et utilisé à bon escient, un indicateur doit être correctement validé (Niemelä, 2000). Selon l'avancée des indicateurs et de leur mise en œuvre, une sélection pourra être réalisée. Cette action permettra d'évaluer ces tous nouveaux indicateurs et ainsi d'assurer la possibilité d'un suivi de sites, les instances ad hoc ou les propriétaires. D'autre part, certains tests pourront porter sur l'évaluation de fonction de l'écosystème, et ainsi entrer en parallèle à l'évaluation de l'impact, dans la compréhension fine de l'impact de l'exploitation sur le fonctionnement de l'écosystème au niveau du compartiment sol et des relations sols-plantes.

Action 3 : Synthèse et développement d'un outil d'aide à la décision multi-critère et évolutif pour une exploitation de bois énergie durable d'un point de vue économique et environnemental

Cette action consistera à associer les résultats des actions précédentes et des simulations pour aboutir à un outil d'aide à la décision pour une exploitation durable de bois énergie dans le contexte des changements climatiques. Pour répondre à la demande sociétale d'augmentation de la demande de bois énergie, tout en prenant en compte la qualité des sols sans que cela soit vu comme une contrainte forte et rigide (ce qui pose des problèmes d'acceptabilité et de prise en compte de cette dimension environnementale), il est primordial d'associer deux approches : une approche économique et une approche environnementale. Toutes deux vont permettre d'asseoir la durabilité de l'exploitation de la ressource bois, et notamment de la ressource énergétique, dans le cadre d'une forêt dont la productivité sera maintenue, et dont les aménités et externalités associées contribueront à la même hauteur aux trois piliers environnementaux, sociaux et économiques de la durabilité. Les quantifications réalisées dans le cadre de cette thèse permettront de mieux comprendre les différents arbitrages à réaliser (par exemple entre une exploitation énergétique accrue au présent et une dégradation de la productivité dans le futur, ou entre différentes natures et niveaux de risques associés à différentes opérations d'exploitation),

Le travail pourra être découpé en plusieurs phases :

1/ évaluation des risques (intensité x fréquence) selon les conditions pédo-climatiques et les implications économiques sur la productivité du peuplement.

En se fondant sur des simulations du climat futur, soit en termes de périodes pluvieuses ou de durée, ou encore en fréquence d'occurrence plusieurs années de suite, le doctorant estimera les pertes économiques de non récolte, ou les risques de dommages en cas de récolte. Ce travail sera abordé au niveau parcelle dans un premier temps, mais pourra être élargi à l'échelle d'une SER ou du territoire de la région Centre-Val de Loire.

2/ Confronter les risques environnementaux aux choix possibles de coupe pour élaborer un outil d'aide à la décision afin d'arbitrer entre le présent et le futur, lors des décisions de sylviculture, avec deux aspects :

- laisser ou pas les rémanents en place, sachant que les enlever peut à terme diminuer la productivité des parcelles concernées,
- profiter ou pas d'une augmentation conjoncturelle de la demande, ou des prix du bois, et augmenter les mises en marché, au détriment de la régularité des récoltes futures (ce que cherchent en général à obtenir les aménagements forestiers ou les plans simples de gestion).

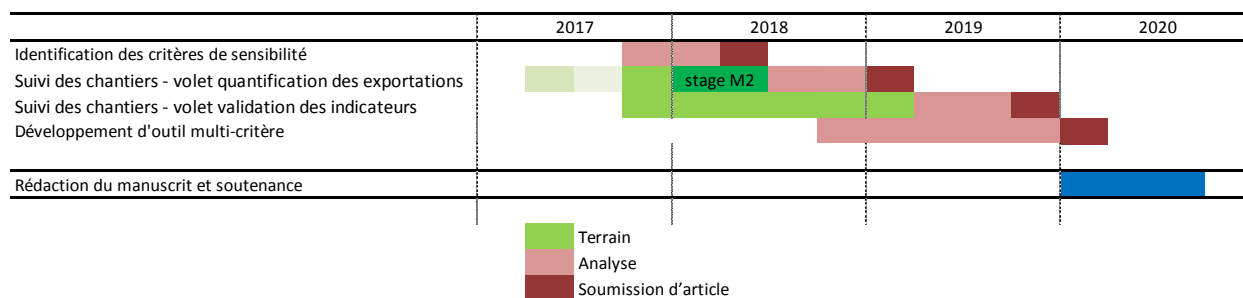
On retrouve en quelque sorte, dans les deux cas, un problème d'arbitrage entre durabilité et rentabilité.

L'outil pourra être élargi à une échelle pluri-annuelle en modulant le nombre de récolte (si le choix a été de profiter d'une augmentation conjoncturelle, combien de fois peut-il faire cette opération sans risques de la durabilité ?), et/ou les prévisions climatiques (nombres d'années exceptionnelles humides ou sèches) à lier avec la demande de la filière (hiver froid, demande plus importante par ex.).

Cette recherche finalisée est innovante par plusieurs aspects :

- Méthode pluri-disciplinaire qui aboutit à une acceptabilité des contraintes environnementales : Le risque de dommage environnemental n'est pas vu que par une contrainte fixe mais est modulable avec les bénéfices économiques
- L'outil attendu qui intègre cette notion de modularité et permet de s'adapter tant aux conditions environnementales changeantes qu'aux opportunités économiques.

4. Planning :



5. Collaborations externes

Le doctorant bénéficiera des collaborateurs du projet DEFIFORBOIS, et du projet connexe GERBOISE, avec qui les échanges sont réguliers. Concernant les travaux de thèse, le doctorant sera amené à

collaborer avec Emmanuel Cacot (FCBA), Eric de LaRochère (ArboCentre), Laurent Augusto (INRA Bordeaux), Laurent Saint-André (INRA Nancy).

6. Valorisation :

- Publications envisagées avec choix des journaux (IF)
 - Action 1 : Critères de sensibilité des sols à l'exportation de bois énergie en région Centre-Val de Loire. Annals of Forest Sciences (IF=2,086), et Rendez-vous Technique de l'ONF ou Revue Forestière Française.
 - Action 2 : Caractérisation de la biomasse exportée lors des exploitations de BE. Plant & Soil (2,952).
 - Action 2 : Validation des indicateurs de sensibilité. Forest Ecology and Management (IF= 2,826)
- Action 3 : Dualité entre risque environnementaux et gain économique – durabilité de la filière bois énergie en région Centre. Forest Policy and Economics (IF = 1.552) ou Journal of Forest Economics (IF = 1.185)
- Applications prévues :
 - Outils d'aide à la décision : arbre de décision pour l'exploitation accrue de biomasse
 - Liste d'indicateurs de sensibilité des sols à l'exploitation de biomasse
 - outil d'aide à la décision multi-critère et évolutif pour une exploitation de bois énergie durable d'un point de vue économique et environnemental

7. Organisation :

Directeur de thèse : Nathalie KORBOULEWSKY (Dr HDR), irstea UR EFNO, département territoire

Co-encadrement : Jean-Philippe TERREAUX (HDR), irstea, UR ETBX, département territoire

Nom de l'équipe : équipe Forêts Hétérogènes

Nom du HDR de l'équipe : Korboulesky Nathalie, Balandier Philippe

Financement (pm à renseigner dans Irsteaccueil) :

Allocation de thèse : demi bourse irstea + demi bourse région Centre-Val de Loire

Fonctionnement de la thèse : projet DEFIFORBOIS (jan 2016- dec 2020)

Profil du candidat recherché :

Ingénieur forestier, ou écologue avec des connaissances en écologie forestière, et avec une sensibilité pour la recherche finalisée. Un atout certain serait qu'il/elle ait touché aux sciences économiques (formation parallèle, 1ere année d'étude ou stage).

8. Références Bibliographiques :

Achat, D., Deleuze, C., Landmann, G., Pousse, N., Ranger, J., Augusto, L. (2015). Quantifying consequences of removing harvesting residues on forest soils and tree growth – A meta-analysis. *Forest Ecology and Management*, 348: 124-141.

Acuna, M. (2014). *Integrated transportation tools to optimise timber and biomass supply logistics*. Conference paper. 5th Forest Engineering Conference. Gerardmer.

Bergès, L. (2004). Rôle des coupes, de la stratification verticale et du mode de traitement dans la conservation de la biodiversité. In M. Gosselin & O. Laroussinie (Eds.), *Gestion Forestière et Biodiversité: connaître pour préserver - synthèse bibliographique* (pp 149-216). Antony: Cemagref.

Bouget, C., Lassauce, A., & Jonsell, M. (2012). Effects of fuelwood harvesting on biodiversity - a review focused on the situation in Europe. *Canadian Journal of Forest Research-Revue canadienne de Recherche Forestière*, 42(8), 1421-1432.

Cacot, E., Eisner, N., Charnet, F., Léon, P., Nicolleau, C., & Ranger, J. (2006). *La récolte raisonnée des rémanents en forêt. Guide pratique* (Plaquette): Ademe, AFOCEL, IDF, INRA, Union de la Coopération Forestière Française (pp36).

Cacot, E., Gosselin, M., & Bouget, C. (2009). Préconisations pour limiter les impacts locaux sur la biodiversité et les ressources. In G. Landmann, F. Gosselin & I. Bonhême (Eds.), *Bio2. Biomasse et biodiversité forestières. Augmentation de l'utilisation de la biomasse forestière : implications pour la biodiversité et les ressources naturelles* (pp. 135-43).

Cacot, E., Magaud, P., Grulois S, Thivolle-Cazat, A. (à paraître). Enjeux et perspectives de la mécanisation en exploitation forestière à l'horizon 2020 (Méca 2020). FCBA

Karakka, L., Tamminen, P., Saarsalmi, A., Kukkola, M., Helmisaari, H.-S., & Burton, A. J. (2014). Effects of repeated whole-tree harvesting on soil properties and tree growth in a Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) stand. *Forest Ecology and Management*, 313, 180-187.

Landmann, G., & Gosselin, F. (2009). Utilisation de la biomasse forestière, biodiversité et ressources naturelles: synthèse et pistes d'approfondissement. In G. Landmann, F. Gosselin & I. Bonhême (Eds.), *Bio2 - Biomasse et Biodiversité Forestière - Augmentation de l'utilisation de la biomasse forestière: implications pour la biodiversité et les ressources naturelles* (pp. 177-91). Paris: GIP Ecofor, MEEDM.

Landmann, G., & Nivet, C. (coord.). (2014). *Projet Resobio. Gestion des rémanents forestiers : préservation des sols et de la biodiversité*. Angers, Paris: ADEME, Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt - GIP Ecofor. Rapport final, 243p.

Lassauce, A., Lieutier, F., & Bouget, C. (2012). Woodfuel harvesting and biodiversity conservation in temperate forests: Effects of logging residue characteristics on saproxylic beetle assemblages. *Biological Conservation*, 147(1), 204-212.

Laurier, J.-P. (2010). *L'organisation des chantiers, comment faire ?* (260p): Educagri éditions/CNPR/FCBA.

Le Meur, F., Fuhr M., Cacot, E. (2011). *Elaboration d'une grille d'évaluation Elaboration d'une grille d'évaluation multifonctionnelle des chantiers forestiers Bois-Energie. Rapport final* (60p)

Niemelä, 2000. Biodiversity monitoring for decision-making. *Ann. Zool. Fennici*. 37: 307-317.

Paillet, Y., Bergès, L., Hjältén, J., Ódor, P., Avon, C., Bernhardt-Römermann, B., et al. (2010). Biodiversity differences between managed and unmanaged forests: meta-analysis of species richness in Europe. *Conservation Biology*, 24(1), 101-112.

Pannetier, P. (2010). *Les matériels, comment ça marche ?* (180p): Educagri éditions/CNPR/FCBA.

Pischedda, D. (Ed.). (2009). *Pour une exploitation forestière respectueuse des sols et de la forêt : "PROSOL". Guide pratique* (110p). Paris: Office National des Forêts.

Roser, D. (2014). *Improving the efficiency of forest biomass supply chains in Canada*. Conference paper. 5th Forest Engineering Conference. Gerardmer.

Thiffault, E., Hannam, K. D., Paré, D., Titus, B. D., Hazlett, P. W., Maynard, D. G., et al. (2011). Effects of forest biomass harvesting on soil productivity in boreal and temperate forests — A review. *Environmental Reviews*, 19(NA), 278-309

Rakotoarison H., J.Ph. Terreaux, 2016, Le projet de recherche Ecorisques : De quoi s'agit-il ? Rendez-Vous Techniques, n° 51-52, 30 - 32.

Terreaux J. Ph., M. Chavet, 2016a, Risque tempête et viabilité : une approche économique de l'aménagement forestier, Rendez-Vous Techniques, n° 51-52, 49-52.

Terreaux J. Ph. 2016, Les risques économiques pèsent-ils sur les forêts ? in Y. Birot Ed., La forêt et le bois en France en cent questions, Académie d'Agriculture de France, ch. 5.10.