

Avec le soutien de :



Resp^{haies}

Rapport n°3

Évaluation des stocks et flux de biomasse et carbone des haies

Partie 3 :

Analyse des contextes pédoclimatiques

Rapport final — Mai 2023



Auteur : Frédéric Coulon – Solagro

Table des matières

PARTIE 1 — PROBLEMATIQUE ET OBJECTIF	3
1.1 — Problématique	3
1.2 — Objectifs	3
PARTIE 2 — METHODOLOGIE ET REALISATIONS	5
2.1 – Méthodologie	5
Préambule	5
2.1.1 – Analyse par la méthode du bilan hydrique	5
2.1.2 – Sources de données mobilisées	6
2.1.3 – Méthode de calcul du bilan hydrique	9
2.2 – Déroulé du projet	13
2.2.1 – Organisation mise en place	13
2.2.2 – Étapes	14
PARTIE 3 – RESULTATS	18
3.1 – Résultats	18
3.3.1 – Impact de la durée de déficit hydrique sur la productivité	18
3.3.2 – Impact de l'intensité du stress hydrique	20
3.2 – Discussion des résultats	22
3.3 – Liste et descriptif des livrables	23
PARTIE 4 – PERSPECTIVES	24
4.1 – Suites envisagées	24
4.2 – Éléments évaluatifs	25
4.2.1 – Difficultés rencontrées	25
4.2.2 – Analyse d'impact du projet sur les différents publics cibles	25
4.2.3 – Indicateurs de suivis	26
4.2.4 – Indicateurs de résultats	26

PARTIE 1 — PROBLEMATIQUE ET OBJECTIF

1.1 — Problématique

Afin d'accompagner la transition énergétique en cohérence avec les scénarios envisagés sur le recours à la biomasse bocagère, il demeure indispensable de poursuivre le travail d'acquisition de connaissances, de suivi et d'analyses de la ressource disponible. En effet, la fabrication de bois déchiqueté pour les chaudières bois ne doit pas s'accompagner d'une destruction du bocage par excès de prélèvement, par mauvaise conduite des haies, ou par non maîtrise du marché.

Les études réalisées précédemment par l'IGN sur l'évaluation de la biomasse en Bretagne et en Normandie s'appuyaient sur des enquêtes auprès des opérateurs. Les retours d'enquête réalisés ont été peu nombreux et les résultats ont été jugés mal exploitables. Aujourd'hui il est difficile pour les acteurs locaux de donner des valeurs chiffrées des volumes récoltés et des fréquences de coupe dans les haies qu'ils rencontrent sur leur territoire. Par conséquent, le seul moyen d'estimer aujourd'hui des volumes récoltables dans les haies, est de se référer aux données de l'étude de Bouvier¹ qui datent presque de 10 ans mais qui restent utilisées à ce jour par les professionnels.

Pour évaluer de manière plus robuste la biomasse bocagère et les prélèvements possibles, il est nécessaire de disposer d'une base de données de mesures de terrain, s'appuyant sur un cubage des haies précis, par une méthodologie maîtrisée qui puisse être utilisable à grande échelle d'extrapolation statistique, en association avec un dispositif exhaustif de description du linéaire bocager.

Outre leur contribution à la substitution d'énergie fossile, les haies sont aussi une source potentielle d'augmentation des puits de carbone dans l'espace agricole. Aussi, le chiffrage du potentiel que représente ce levier dans le cadre de l'objectif de neutralité carbone à l'horizon 2050, porté par la Stratégie Nationale Bas Carbone, est indispensable. Une méthodologie Label Bas Carbone sur les haies est en cours d'élaboration. Réalisée par la Chambre d'Agriculture des Pays de la Loire, elle s'appuie sur les résultats du projet Carbocage² des bocages de l'Ouest et sur l'état de connaissances bibliographiques. Cependant, sa construction butte sur le manque de références disponibles sur le stock de carbone des haies dans les différents compartiments, suivant les types de haies et les situations pédoclimatiques en France. Pour remédier à ce manque de connaissance, de nombreux abattements sont réalisés afin de ne pas risquer de surestimer le stockage additionnel de carbone des projets de haies accompagnés dans le cadre de cette méthode. Il est donc nécessaire de poursuivre les suivis pour préciser les données de références nécessaires aux modèles.

1.2 — Objectifs

L'objectif général de l'action est de concevoir, à terme, une méthode de calcul des stocks et des flux de biomasse et de carbone dans les compartiments aériens et sols des haies :

- applicable de manière cohérente aux échelles nationales, régionales et territoriales,
- produisant des résultats par zones présentant des types de haies et d'accroissements annuels identiques (pas de prédictions locales), permettant d'avoir des synthèses de données à des échelles régionales,
- valorisant au maximum les informations disponibles (DSB, MNS, IFN, cartes pédologiques, cubage, chantiers, etc.),
- associant les structures institutionnelles et les professionnels des territoires,
- permettant de simuler des scénarios d'évolution de gestion et de conditions de croissance en fonction des évolutions climatiques des haies.

A cette fin, le projet vise spécifiquement à répondre aux deux objectifs suivants :

- Produire des premiers éléments de références chiffrés de biomasse et de stock de carbone dans les compartiments aériens et sols pour 5 grands types de haies caractéristiques, dans quatre situations de contextes pédoclimatiques différents en France : Normandie, Auvergne-Rhône-Alpes, Hauts-de-France, Bourgogne-Franche-Comté ;
- Concevoir et tester une méthode de calcul des stocks et des flux de biomasse et de carbone dans les compartiments aériens et sols des haies sur des zones d'études expérimentales.

L'objectif est d'expérimenter une démarche de caractérisation pédoclimatique des secteurs sur lesquels les haies font l'objet d'un calcul de productivité de la biomasse.

Cette action propose donc de resituer les données issues des chantiers de mesures de biomasse dans leur contexte pédoclimatique, afin de contextualiser et de tenter de comprendre les mesures d'accroissement obtenues dans des territoires différents et de proposer à terme une méthodologie de référentiels à l'échelle nationale.

PARTIE 2 — METHODOLOGIE ET REALISATIONS

2.1 – Méthodologie

Préambule

Nous soulignons en préalable des limites qui tiennent à l'échantillon même des haies étudiées.

Tout d'abord, les chantiers de mesure portent sur des haies qui font l'objet d'une valorisation économique par les agriculteurs. Aussi, on peut s'attendre à ce que ces haies puissent être de nature assez productive, et donc que leur productivité soit supérieure à la moyenne des haies du secteur.

Aussi, il se possible que le panel de haies étudiées (mesurées) ne se situent pas dans des secteurs où le sol et le climat sont défavorables à la croissance des ligneux, c'est-à-dire à la rentabilité économique du chantier d'exploitation de la haie. Les haies étudiées pourraient ainsi ne pas refléter le panel de sols/climats rencontrés sur les territoires d'étude.

Cet enjeu « économique » pourrait aussi, en raison du lien possible avec le niveau de productivité ou la facilité d'exploitation de la biomasse bocagère, se traduire par des types de haies étudiées ou de pratiques de gestion qui ne sont pas nécessairement représentatifs des haies des territoires d'étude.

2.1.1 – Analyse par la méthode du bilan hydrique

Les périodes de déficit hydrique en période de végétation (printemps-été-automne) impactent négativement la croissance des plantes, d'autant plus que le déficit se manifeste sur de périodes longues, de manière fréquente et/ou sévère.

Aussi, l'analyse des conditions pédoclimatiques a été menée en considérant que la réserve hydrique du sol est le facteur déterminant de l'accroissement annuel de biomasse des haies.

La méthode a donc consisté à évaluer la capacité du sol à approvisionner les plantes en eau tout au long de la période de végétation, et à identifier les périodes de faible stockage de l'eau dans le sol.

a. Une simplification méthodologique nécessaire

Pour un type de haies donné, la productivité de biomasse bocagère est sous l'influence de nombreux facteurs naturels :

- Facteurs d'ordre pédologique (texture du sol, profondeur du sol, fertilité du sol, taux de matière organique...)
- Facteurs d'ordre climatique (températures, pluviométrie, vent, ...);
- Facteurs d'ordre stationnel : la situation topographique des végétaux dans le paysage, c'est-à-dire leur position dans le bassin versant (haut de pente, versant, bas fond) ;
- Facteurs hydrogéologiques : la circulation latérale de l'eau dans le sol en subsurface (0-1 m) ou en profondeur (au-delà de 1 m de profondeur) peut contribuer significativement à la décharge/recharge hydrique du sol, notamment en situation de pente ou de bas de versant. Ces écoulements hydriques latéraux, impactent de manière moins significative les plantes herbacées du fait de leurs systèmes racines moins profonds, mais peut avoir un effet important dans l'approvisionnement en eau des ligneux (arbres, arbustes) ;

- Capacité d'enracinement des ligneux : les arbres peuvent explorer le sol en profondeur (y compris le sous-sol) jusqu'à plusieurs mètres, voire un dizaine de mètres. La capacité de colonisation racinaire du sol en profondeur varie selon les espèces et aussi selon la nature du substrat en sous-sol. Les arbres peuvent ainsi atteindre des couches profondes dans les horizons fissurés ou fracturés, et s'affranchir ainsi des conditions hydriques moins favorables dans les horizons superficiels du sol (nappes aquifères superficielles, veines d'eau, poche de sous-sols humides...).

Ces facteurs sont donc nombreux et il s'avère impossible de les considérer avec les moyens mobilisables dans notre étude exploratoire. Aussi, nous proposons de **simplifier l'approche en utilisant la méthode du bilan hydrique**.

b. Calcul du bilan hydrique

Le bilan hydrique est une méthode simple qui permet de suivre l'évolution de la réserve en eau dans le sol disponible pour les végétaux au cours de l'année en tenant compte des besoins en eau des plantes (évapotranspiration) et des précipitations.

Cette méthode permet d'identifier les périodes durant lesquelles le sol devient sec, c'est-à-dire quand la réserve en eau du sol devient nulle, et donc provoque un stress hydrique sur les haies.

Le bilan hydrique est donc évalué en considérant les paramètres pédologiques et climatiques suivants :

- la réserve utile du sol (RU) qui mesure la quantité maximale d'eau retenue dans le sol (après ressuyage) et disponible pour les plantes ;
- l'évapotranspiration (ETP) quotidienne qui est fonction des conditions climatiques locales (températures, vent...);
- les précipitations (P).

Ainsi, le bilan hydrique est réalisé en suivant la variation de stockage de l'eau dans le sol dans le temps, selon l'équation : **$\Delta S = P - ETP$**

avec :

- ΔS : changement de stockage dans le sol (en mm),
- P : précipitation (en mm),
- ETP : évapotranspiration (en mm).

La variation de stock d'eau dans le sol (ΔS) est calculée quotidiennement.

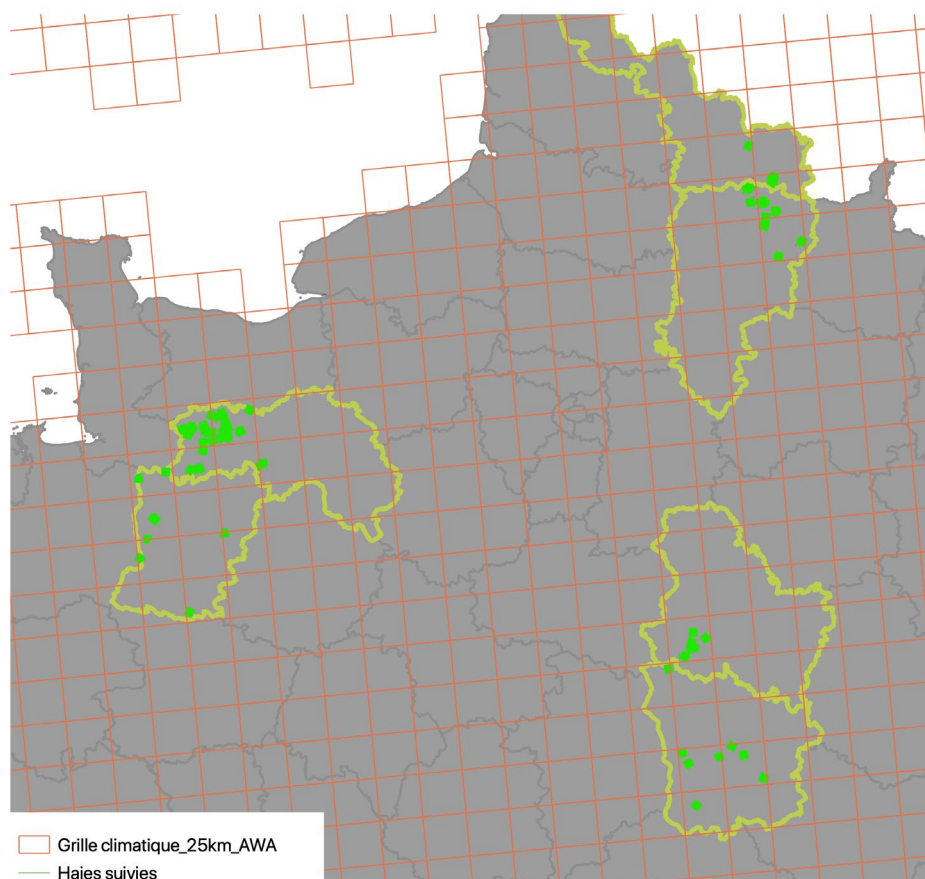
2.1.2 – Sources de données mobilisées

a. Base de données climatiques : Météo-France

Chaque chantier de prélèvement de biomasse est repositionné dans son climat, à l'échelle d'une maille de 25 km x 25 km (cf. carte infra : grille européenne AWA). Les données météorologiques d'évapotranspiration (ETP) et de précipitations (P) sont évaluées à cette échelle.

Ces données climatiques sont disponibles via les portails de Météo-France. Solagro a déjà mobilisé ces données climatiques pour réaliser des analyses sur la vulnérabilité climatique agricole dans le cadre du projet européen LIFE AgriAdapt (programme Agri4cast).

Carte 3.1 : Localisation des haies (n=97) suivies dans les territoires d'étude sur la grille climatique AWA



Les données peuvent être extraites à divers pas de temps (journalier, hebdomadaire, par décennie, mensuelle). L'analyse des données météorologiques hebdomadaires ou par décennie aurait pu sembler suffisante pour l'évaluation des situations de stress hydrique des ligneux tout au long de la période de végétation (du printemps à l'automne). Mais nous avons opté pour une analyse de l'évolution quotidienne de la réserve hydrique du sol afin d'avoir une meilleure finesse.

Les coupes de haies à des fins de production de bois-énergie sont réalisées à des intervalles de temps (cycles) généralement longs, généralement tous les 12 à 20 ans. La durée du cycle d'exploitation dépend de la structure et du mode de gestion de haies (cépées/taillis, futaie, arbres têtards ou d'émondés...) et surtout de la productivité. En effet, les agriculteurs tendent à exploiter plus fréquemment les haies qui ont une plus forte croissance.

Afin d'étudier les conditions climatiques rencontrées par les haies durant la totalité du cycle d'exploitation, les données des 20 années précédant la coupe sont mobilisées. Les haies étudiées ont été coupées durant l'hiver 2020/2021 et certaines lors de l'hiver suivant. Les données climatiques de l'année 2021 n'étant pas encore renseignées au moment du traitement des données, la période de référence pour les données climatiques est 2001-2020.

Ainsi, pour chaque grille AWA, nous disposons de l'ETP journalière et de la précipitation journalière sur la période 2001-2020.

b. Base de données pédologiques : modèle DoneSol

Les données de sols que nous avons utilisées sont issues des Référentiels Régionaux Pédologiques (RRP). Ces données sont produites par des organismes régionaux, et le programme est coordonné par le Groupement d'Intérêt Scientifique sur les Sols (GIS Sol) et le RMT Sols et Territoires. L'un des objectifs est de produire une cartographie nationale des sols consultable sur le Géoportail (en cours).

Les RRP sont une représentation des sols à l'échelle du 1/250 000^{ième}, réalisés par département ou par région dans le cadre du programme Inventaire, Gestion et Conservation des Sols (IGCS), coordonné par le GIS Sol. Il s'agit de l'information pédologique cartographique la plus précise actuellement disponible sur la quasi-totalité du territoire français. Cette cartographie des sols au 1/250 000^{ième} apporte une délimitation de portions de couverture pédologique qui présentent des caractéristiques communes en termes de paysages et de répartition des sols. Ces ensembles cohérents sont appelés unités cartographiques des sols (UCS).

A cette échelle de représentation, chaque UCS peut être présentée comme une plage cartographique caractérisée par un ou plusieurs types de sols regroupés différents, nommés Unités typologiques de sols (UTS). Le pourcentage surfacique de chaque UTS a été évalué au sein de chaque UCS. Cette cartographie des sols est complétée par une base de données décrivant de manière exhaustive les UCS et UTS du territoire concerné. Cette base est structurée selon un format national (Donesol), ce qui permet d'envisager une analyse homogène à l'échelle nationale.

Structuration des données DoneSol du RRP

Le modèle de données pédologiques spatialisées au plan national est le modèle **DoneSol**. Tous les référentiels régionaux pédologiques utilisent ce modèle unique (mêmes variables décrites), ce qui permet d'envisager des travaux à l'échelle nationale.

Les données DoneSol décrivent deux types d'unités, les unités typologiques de sol et les unités cartographiques des sols (UCS).

- *Unité typologique de sol (UTS)*

L'Unité typologique de sol (UTS) est une portion de la couverture pédologique qui présente des caractères des sols identiques (de formation et d'évolution), et en tout lieu de l'espace la même succession de couches (horizons).

Dans DoneSol, chaque UTS est définie par la succession d'une ou de plusieurs strates, et par leur organisation. La strate représente quant à elle la variation dans l'espace d'une couche de sol (paramètres physico-chimiques).

Une UTS se caractérise par une succession identique de couches (strates) dont chacune est décrite par des variables qualitatives et quantitatives (épaisseur, acidité, teneur en minéraux...).

- *Unité cartographique des sols (UCS)*

L'unité cartographique des sols (UCS) est le regroupement de plusieurs UTS et définie ainsi un groupe de sols de même nature et ayant des caractéristiques proches.

Chaque UCS fait l'objet d'une représentation cartographique qui peut être interprétée à grande échelle (1/250.000^e). Ces données SIG (format shapefile) sont disponibles pour de nombreuses régions, ce qui permet de mener des traitements géospatialisés.

Au moment de cette étude, les données au format QGIS n'étaient pas disponibles pour la Normandie et l'Auvergne. Toutefois, il a été possible de réaliser le travail à l'aide de la carte des sols dominants des UCS mise en ligne sur le site Internet Géoportail. Le classement du sol peut être confirmé par l'observation sur le terrain (relevé de haies, agriculteur).

Concrètement, les données DoneSol se composent de plusieurs tables de données pouvant être disponibles soit au format database (.mdb), soit sous forme de tables (format .csv). La base DoneSol contient une cinquantaine de tables. Une couche géolocalisée des UCS (format shapefile) est aussi disponible pour la plupart des régions administratives.

Notre travail consiste à mobiliser ces données auprès des gestionnaires-propriétaires du RRP dans chaque région et à les adapter à l'objectif, en considérant les données pédologiques et le calcul de la réserve utile (RU) par UCS ou par UTS.

A noter que le portail européen des sols propose également des données géoréférencées qui sont issues des travaux du GIS Sol pour la France.

2.1.3 – Méthode de calcul du bilan hydrique

a. Réserve utile du sol

La capacité de stockage en eau des sols, et notamment sa partie accessible à la végétation, appelée réserve utile ou réservoir utilisable maximal (RU), varie selon la texture, la structure et de la profondeur d'enracinement maximale des sols.

À profondeur égale, les sols à texture sableuse ont une réserve utile plus faible que les sols à texture limono-argileuse.

NB : La réserve utile est exprimée en millimètres pour pouvoir comparer la taille de ce réservoir utilisable maximal aux précipitations et à l'eau évapotranspirée par les plantes.

A l'aide de cette description physique d'un sol dans toutes ses composantes, strate par strate, il est possible de caractériser la qualité du sol, et notamment d'évaluer la réserve utile du sol (au niveau de l'UTS).

Malheureusement, la spatialisation d'une UTS n'est pas disponible. Ainsi, il n'est pas possible d'identifier sur quel sol se situe une haie à l'aide des outils géomatiques. Seules sont géolocalisées les unités cartographiques des sols (UCS) qui rassemblent plusieurs UTS. Il est donc obligatoire de mener l'analyse des bilans hydriques des sols à l'échelle des UCS.

L'estimation de la RU s'appuie sur les données contenues dans la base de données DoneSol, mais les données ne sont pas toujours renseignées.

- Estimation de la réserve utile par UTS

Le calcul de la réserve utile est effectué pour chacune des strates de l'UTS de la façon suivante :

$$RU_{\text{STRATE}} = H \times \text{Réserve en eau} \times (1 - (EG/100)) ;$$

avec :

- RU : Réserve utile (en mm) ;
- H : épaisseur de la strate (en cm) ;
- Réserve en eau : réserve en eau de la strate (en mm/cm) ;
- EG : part des éléments grossiers (exprimé en pourcentage).

La RU de l'unité typologique de sol (UTS) est obtenue en additionnant la RU de chaque strate de sol :

$$RU_{\text{UTS}} = \Sigma (RU_{\text{STRATE}(i)})$$

avec :

- RU_{UCS} : Réserve utile de l'UTS (en mm) ;
- RU_{STRATE} : Réserve utile de la strate(i) de l'UTS (en mm) ;

- Détermination de la réserve en eau en fonction du type de strate

La réserve en eau de la strate peut être obtenue à partir du nom de la strate (traduisant la structure) et de sa texture (classe texturale).

La réserve en eau de la strate est estimée à l'aide de table de référence (Cf. tableau infra).

Tableau 3.2 : Détermination de la réserve en eau d'une strate de surface et de profondeur selon sa texture

Texture exprimée en classe texturale (triangle de l'Aisne)	Réserve en eau (mm/cm)	
	Strate de type horizon « A » ou apparentée : strate de surface	Strate de type horizon « E, B, C » ou strate de profondeur
ALO	1,24	1,12
AL	1,36	1,13
AS	1,73	0,95
A	-	0,93
LA	1,73	1,49
LAS	1,67	1,48
LSA	1,43	1,27
LM	2,13	2,07
LMS	1,83	1,96
LS	1,62	-
LLS	-	-
LL	-	-
SA	1,28	1,03
SL	1,31	1,16
S	0,60	0,73

Détermination de la réserve en eau en fonction du type de strate et de sa texture
 Source : Bruand et al., 2004

NB : Si la classe texturale de la strate n'est pas renseignée dans le diagramme triangulaire de l'Aisne (TEXTURE AISNE), c'est-à-dire dans un autre triangle du type GEPPA, on peut la calculer à partir de la granulométrie (TAUX ARGILE, TAUX LIMON, TAUX SABLE) avec le logiciel libre R et le package soiltexture.

La classe de texture de chaque strate de sol est identifiée à l'aide du triangle de l'Aisne (cf. Figure 3.1).

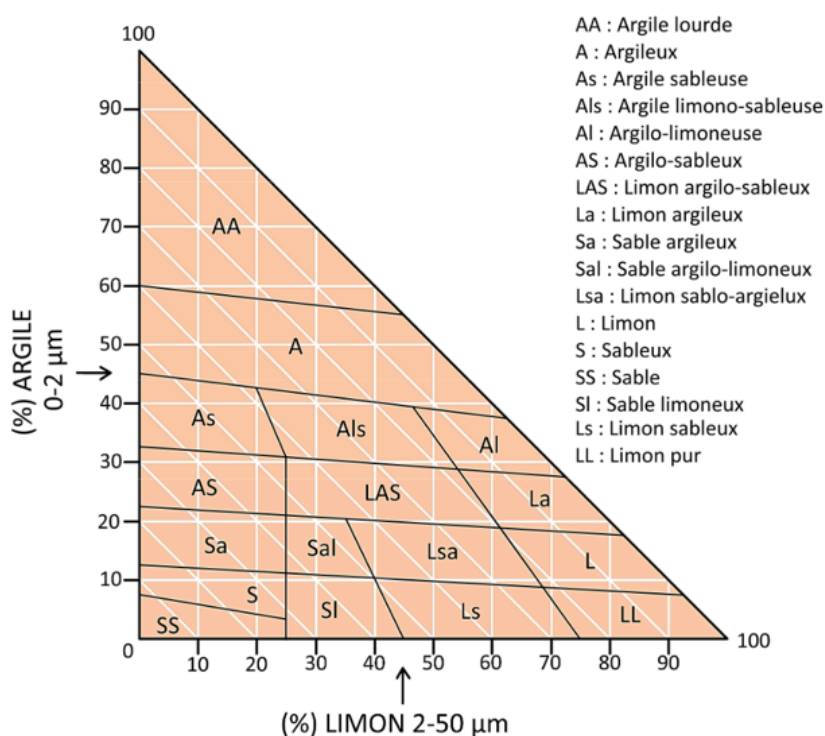


Figure 3.1 : Diagramme triangulaire de l'Aisne

- Estimation de la réserve utile à l'échelle par unité cartographique des sols
La réserve utile d'une UCS est obtenue par la somme des RU des UTS pondérée par la surface de chaque UTS dans l'UCS :

$$RU_{UCS} = \sum (RU_{UTS(i)} \times \%_{UTS(i)})$$

avec :

- RU_{UCS} : Réserve utile de l'UCS (en mm) ;
- RU_{UTS} : Réserve utile de l'UTS(i) (en mm) ;
- $\%_{UTS}$: Part de la surface de l'UTS(i) dans l'UCS.

b. Réserve facilement utilisable (RFU) et réserve de survie (RS)

La réserve utile du sol précédemment calculée est le stock d'eau entièrement exploitable par la végétation. Or, la réserve utile du sol se compose de deux compartiments : la réserve facilement utilisable (RFU) et la réserve de survie (RS).

En effet, quand la teneur en eau dans le sol est élevée, la plante absorbe facilement l'eau du sol pour compenser ses pertes par transpiration. La réserve hydrique du sol est alors facilement utilisable par elle, et sa faculté à produire de la biomasse n'est pas limitée par le facteur « eau ».

Mais, au fur et à mesure que la teneur en eau du sol diminue, la pression osmotique du sol augmente, et celle de la plante aussi doit s'élever pour extraire l'eau du sol, avec de plus en plus de difficulté. Puis, à un certain niveau de réserve en eau dans le sol, la plante doit exercer une trop forte pression pour extraire l'eau du sol pour compenser les pertes hydriques par sa partie aérienne. La pression osmotique dans les cellules végétales augmentant, les stomates se ferment, ce qui réduit les échanges gazeux (CO₂), et le métabolisme photosynthétique se réduit progressivement avec l'assèchement du sol. La plante est alors stress hydrique, c'est-à-dire en état de survie.

Les études pédologiques indiquent que la RFU varie selon l'horizon du sol (strate) considéré :

- la RFU représente environ 2/3 de la RU dans l'horizon supérieur (0-60cm) ;
- la RFU représente la moitié de la RU dans l'horizon 60-90 cm ;
- la RFU représente 1/3 de la RU au-delà de 90 cm de profondeur.

La figure suivante illustre cette variation de la RFU et de la RS en fonction de la profondeur.

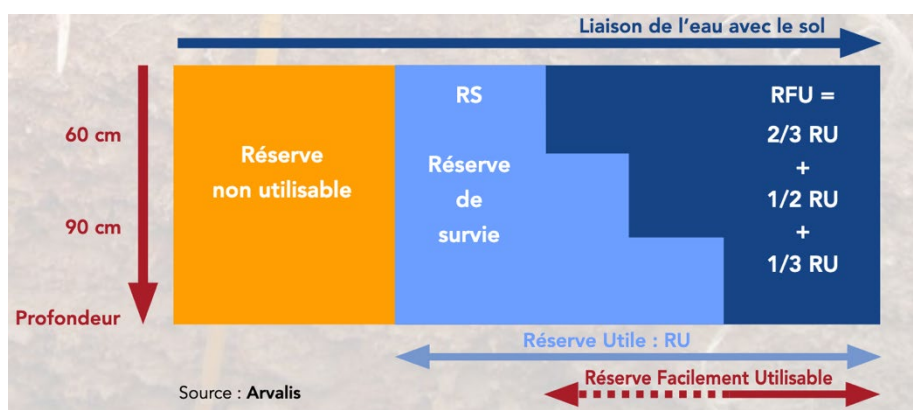


Figure 3.2 : Réserve utile et réserve facilement utilisable

Des travaux forestiers (Granier et al., 1999) indiquent également que la transpiration des arbres est réduite quand la réserve en eau du sol chute en dessous de 40% de la RU. En effet, en mesurant conjointement le contenu en eau des sols et les flux d'eau, voire de carbone des couverts forestiers, les recherches ont montré qu'il existe un seuil générique de contenu en eau du sol (fixé à 40% de la réserve utile) appelé seuil de déficit hydrique en-deçà duquel les arbres réduisent leurs échanges gazeux par fermeture stomatique, réduisant ainsi photosynthèse et transpiration.

Aussi, si l'on considère que les haies (taillis, taillis mixtes, cépées...) étudiées sont analogues à des peuplements forestiers linéaires, on peut considérer que la réserve de survie est atteinte également lorsque le stock d'eau dans le sol est inférieur à 40% de la RU (ou RFU=60% de la RU).

$$RFU_{UCS} = 60\% \times RU_{UCS}$$

avec :

- RFU_{UCS} : Réserve facilement utilisable de l'UCS (en mm) ;
- RU_{UCS} : Réserve utile de l'UCS (en mm).

c. Réserve hydrique du sol (RH)

Connaissant la réserve en eau du sol (RU), c'est-à-dire le stock maximal d'eau disponible pour la végétation, il est possible de suivre l'évolution de l'état hydrique du sol et d'apprécier les périodes durant lesquelles les plantes sont en situation de stress hydrique.

Une plante sera en stress quand la RFU sera nulle, i.e. quand la réserve hydrique du sol (RH) est inférieure à la RS (soit environ 40% de la RU).

Inversement, quand le stock d'eau dans le sol est supérieur à la RFU, la plante croît de manière optimale.

Le suivi dans le temps de la réserve hydrique du sol est réalisé à partir du bilan hydrique journalier (cf. § Calcul du bilan hydrique), comme suit :

$$RH_{n+1} = RH_n + \Delta S \quad \text{avec} \quad \Delta S = P - ETP$$

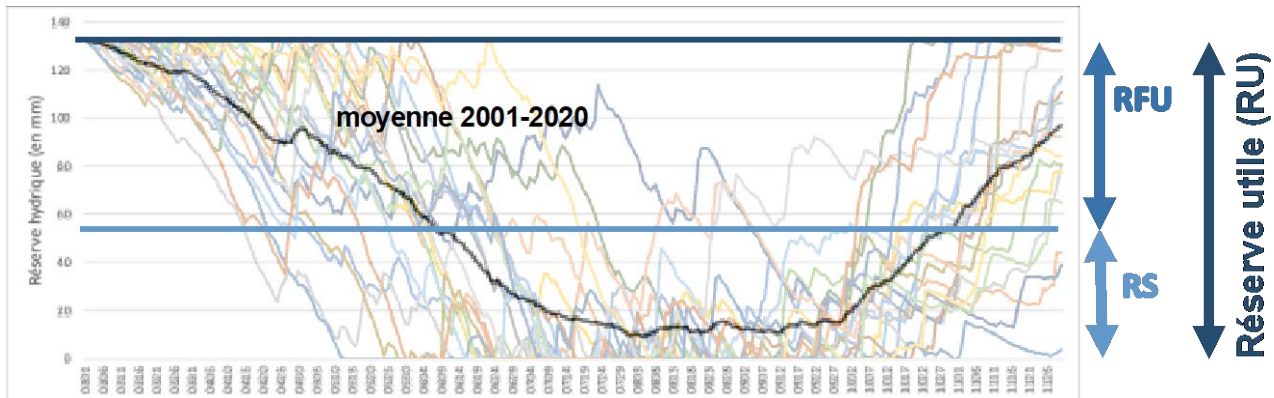
avec :

- RH_n : Réserve hydrique du sol du jour n (en mm) ;
- ΔS : variation du stock d'eau dans le sol (en mm),
- P : précipitation (en mm),
- ETP : évapotranspiration (en mm).

Le calcul de la réserve hydrique du sol quotidienne est réalisé avec l'hypothèse que le sol est saturé en eau au 1^{er} mars de chaque année, c'est-à-dire que la réserve hydrique du sol est maximale au 1^{er} mars de l'année : $RH = RU$ au 1^{er} mars.

Le suivi de l'évolution quotidien de la réserve hydrique a été réalisé pour chaque contexte pédoclimatique sur la période 2001-2020, permettant d'apprécier la fréquence et la durée des périodes de stress hydrique (nombre de jours) et selon plusieurs niveaux d'intensité de ce stress. L'évolution de la réserve hydrique du sol est généralement soumise à une grande variation interannuelle, comme l'illustre le montre le graphique suivant, avec notamment une précocité de l'entrée des végétaux en réserve de survie (RS) et une durée du stress hydrique estival très variables sur les deux décennies considérées.

Graphique 3,1 : Évolution de la réserve en eau du sol au cours de la saison de végétation – période 2001-2020 (exemple de l'UCS 16141 dans grille AWA 94078 - Orne)



Le nombre annuel de jours de stress hydrique est calculé pour chaque année (chaque année correspondant à une couleur sur le graphique précédent), et peut-être moyenné sur la période 2001-2020 (courbe noire) tout au long de la période de végétation (de mars à fin novembre).

A partir de la réserve en eau du sol ainsi évaluée, plusieurs indicateurs peuvent aider à caractériser et quantifier la sécheresse édaphique : sa durée et de son intensité.

Ainsi, nous avons mesuré pour plusieurs niveaux d'intensité de stress hydrique :

- Le nombre moyen annuel de jours par an durant lesquels les plantes sont en situation de stress, c'est-à-dire quand la RFU est nulle (réserve en eau inférieure à 40% de la RU) ;
- Le nombre moyen annuel de jours durant lesquels la réserve hydrique du sol est nulle (RS=0).

2.2 – Déroulé du projet

2.2.1 – Organisation mise en place

Pour la réalisation de l'analyse des contextes pédoclimatiques, Solagro a mobilisé ses ressources humaines internes. La collecte des données pédologiques a été réalisée par Maxime Moncamp, et le traitement et l'analyse ont été réalisés par Frédéric Coulon. Ce dernier a également réalisé la collecte, la sélection et la mise en forme des données climatiques des secteurs d'étude. Solagro a également assuré le travail de traitement des données pour caractériser les contextes pédoclimatiques du réseau de haies, notamment au travers de l'analyse de l'évolution de l'état hydrique des sols.

Solagro s'est appuyé le travail de géolocalisation des haies (données SIG) réalisé par l'Afac-Agroresteries et la SCIC Bois-Bocage Energie (Sylvain Bethelaud) pour mener ce travail de caractérisation des situations pédoclimatiques.

Solagro a aussi mobilisé la base de données des haies (logiciel Access) réalisée par l'Afac-Agroforesteries pour mener l'analyse croisée sur la productivité des haies au regard des situations pédoclimatiques.

Les résultats intermédiaires ont fait l'objet d'échanges et de discussions avec l'Afac-Agroforesteries et avec les opérateurs locaux qui ont collecté les données de terrain dans les quatre territoires d'études. Nos échanges ont pris la forme de visioconférences lors des périodes de Covid, et de réunions d'échanges sur le terrain entre tous les partenaires impliqués dans ce travail, y compris avec les services techniques de l'IGN. Une rencontre s'est notamment tenue sur le terrain entre les partenaires du projet, les 13-14 juin

2023 à Laval, qui a permis de présenter les méthodes de cubage de bois et les typologies de haies, et de discuter des résultats obtenus.

- Obtention des licences d'utilisation pour chaque région

La mobilisation des terrains d'étude du projet à nécessité de contacter chaque gestionnaire-propriétaire des données pédologiques et d'établir avec eux une licence d'utilisation. L'ensemble de ces données a donc été obtenu en contactant chaque gestionnaire propriétaire des RRP dans les régions administratives concernées (cf. tableau suivant).

Une convention de mise à disposition des données du RRP a été signée avec chacun des organismes détenteurs.

Tableau 3.1 : Organismes détenteurs des données Référentiels Régionaux Pédologiques (RRP)

Territoire	Organisme gestionnaire	Personne ressource
Normandie	SAFER Normandie	Patrick Le Gouée
Pays de la Loire	Agrocampus Angers	Cristophe Ducommun
Bourgogne	AgroSup Dijon, INRAE InfoSol Orléans	Bertrand Laroche
Hauts-de-France	ISA / JUNIA	Sébastien Détriché

2.2.2 – Étapes

Collecte et sélection des données pédoclimatiques

L'analyse a consisté à resituer les données issues des chantiers de mesures de biomasse dans leur contexte pédoclimatique, en croisant les mesures d'accroissement de biomasse des haies avec les situations édaphiques des sols dans les secteurs concernés.

- Description des sols et du climat de chaque haie de référence

La première étape a consisté à identifier le type de sol pour chaque haie, c'est-à-dire l'unité cartographique de sol (UCS) dans laquelle chaque haie se situe. Ce travail a été conduit sur la totalité des 97 haies de références (database de l'Afac-Agroforesteries au 1er janvier 2022).

L'approche pédologique a représenté un travail important de traitement de données DoneSol du RRP. En effet, l'identification de l'UCS de chaque haie a parfois nécessité des vérifications avec les gestionnaires de la donnée en raison d'incertitude cartographique (cas de haies en limite d'UCS). D'autres part, l'estimation de la RU en un point donné implique de caractériser précisément chaque strate de sol (avec 3 à 5 strates par sol), et l'agrégation pour l'ensemble des sols présents dans l'UCS (parfois 5 à 6 sols présents dans une UCS).

La complexité de l'exploitation des données DoneSol provient i) de la grande quantité de données et de la structuration (avec environ une cinquantaine de tables de données), ii) de la non homogénéité du format des données qui sont disponibles au format database (.mdb) ou sous forme de tables (format .csv) ce qui ne facilite pas l'automatisation des extractions des données désirées, et iii) le degré variable de renseignements des valeurs selon les unités de sols. Une couche géolocalisée des UCS (format shapefile) est aussi disponible pour la plupart des régions administratives.

NB : Le calcul de la RU des sols a été interrompu pour les haies bourguignonnes lorsque les opérateurs locaux ont indiqué que nous ne disposerions pas de données de cubage de ces haies.

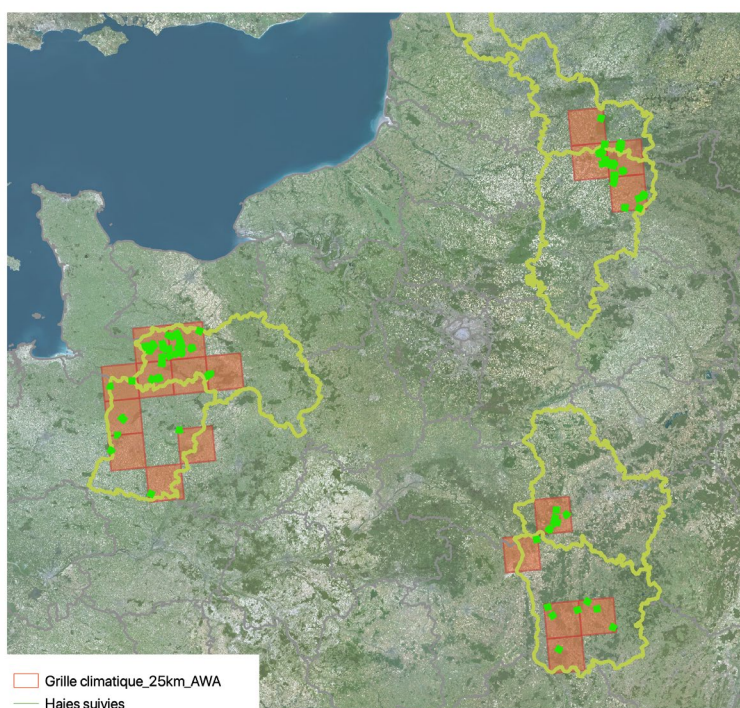
L'approche climatique a consisté en un traitement géomatique SIG pour identifier la grille AWA de chacune des haies du référentiel, puis d'extraire les données climatiques quotidiennes de chaque grille sur la période 2001-2020.

Le tableau présente de manière synthétique l'analyse des situations pédoclimatiques par territoire. L'ensemble des haies du référentiel sont distribuées dans 42 unités de sols différents et dans 19 grilles climatiques différentes (cf. carte suivante). Ce référentiel est concerné par 47 contextes pédoclimatiques différents, soit en moyenne 2 haies par contexte climatique.

Tableau 3.3 : Les haies de référence et leur contexte pédoclimatique

Territoire	Nombre de haies	Nombre d'UCS concernées	Nombre de grilles climatiques AWA	Combinaison UCS x AWA
Normandie (61)	37	14	5	21
Pays de la Loire (53)	9	7	5	7
Hauts-de-France (59, 02)	35	11	4	17
Bourgogne (58, 89)	16	10	5	12
Ensemble	97	42	19	47

Carte 3.2 : Localisation des haies de référence (n=97) dans la grille climatique AWA



- Échantillon des haies avec évaluation de l'accroissement annuel

L'échantillon des 33 haies suivies pour lesquelles nous disposons d'une estimation de l'accroissement annuel de biomasse se situe dans les territoires suivants :

- 14 haies situées en Normandie (Orne) sur les 37 haies de référence ;
- 8 haies situées en Pays de la Loire (Mayenne) sur les 9 haies de référence ;
- 11 des 35 haies de référence des Hauts-de-France (départements de l'Aisne et du Nord).

Ainsi, cet échantillon se compose de 22 haies situées dans les territoires adjacents de l'Orne et de la Mayenne, et de 11 haies dans l'Aisne et le Nord (Hauts-de-France).

La partie suivante du rapport présente les résultats du traitement des données d'accroissement de biomasse de ces 33 haies croisées avec les données climatiques et de sol (calcul de la réserve hydrique).

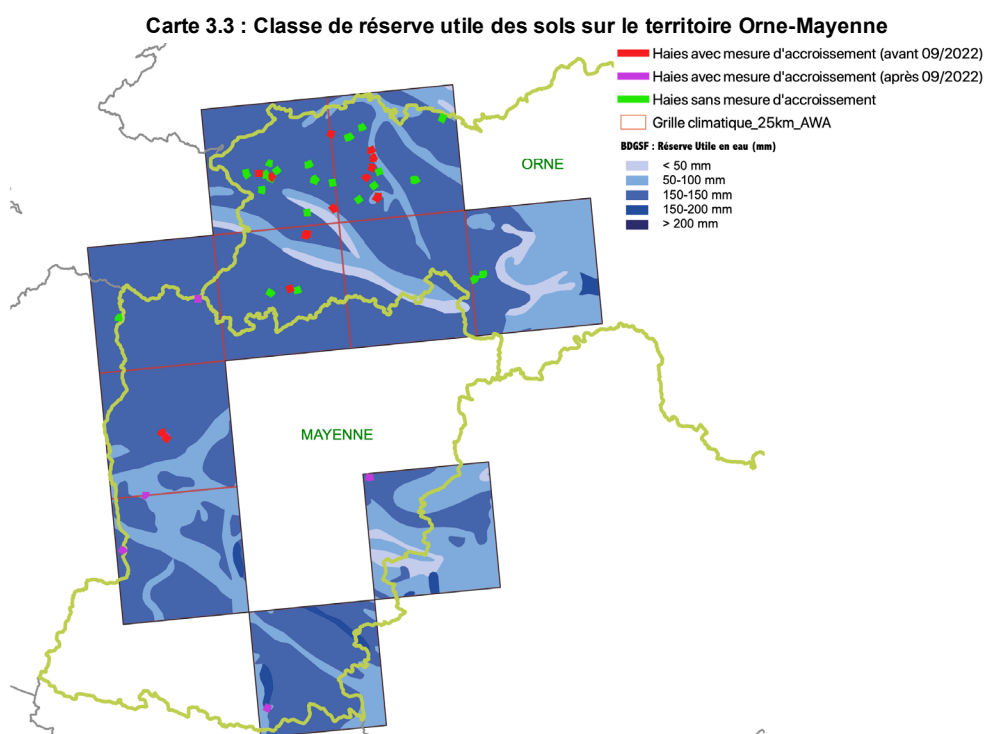
Tableau 3.4 : référentiel des haies avec mesures d'accroissement annuel par territoire

Territoire	Nombre total de haies de référence	Nombre total de haie avec mesure de l'accroissement annuel	Nombre de situations pédoclimatiques (UCS x AWA)
Normandie (61)	37	14	4 x 3 ; 5 situations
Pays de la Loire (53)	9*	8*	4 x 5 ; 7 situations
Hauts-de-France (59, 02)	35	11	3 x 2 ; 4 situations
Bourgogne (58, 89)	16	0	
Ensemble	97	33	18 situations

* une haie se situe Ille-et-Vilaine.

Estimation de la réserve utile de sols

Sur chaque territoire d'étude, la réserve utile du sol a été évaluée à partir des données du RRP obtenues auprès du GIS Sol (cf. carte ci-après, illustrant les territoires de l'Orne et la Mayenne).



- **Caractéristiques du contexte pédoclimatique des haies étudiées**
Le travail a permis de caractériser le contexte pédoclimatique de chaque haie, notamment la réserve utile du sol (constante pédologique estimée) et les conditions climatiques quotidiennes (précipitation, évapotranspiration potentielle, températures minimales et maximales...) sur la période 2001-2020. Le tableau suivant synthétise les données de réserve utile des sols (d'après l'unité cartographique de sols), des grilles climatiques AWA et des données d'accroissement annuel de biomasse pour les haies de l'Orne et de la Mayenne.

NB : La productivité moyenne de ces haies est de 1,09 t/an/100ml de bois brut (humide), avec un écart-type de 0,45. On constate que deux haies ont un accroissement annuel très faible, inférieur à 0,4 t/an/100ml : la haie 16 (0,22 t/an/100ml) et la haie 23 (0,35 t/an/100ml). Leur accroissement annuel est 4 à 5 fois inférieur à celui d'autres haies situées dans une situation pédoclimatique analogue (haies 39, 40 et 71). Leur situation (fond de vallon, versant) et leur typologie (taillis, taillis

mixte) ne permettent pas d'expliquer une aussi faible productivité. D'autres facteurs seraient à rechercher (facteurs stationnels, mode de gestion actuel ou passé...).

Tableau 3.5 : Liste des haies de référence avec mesure de l'accroissement annuel de biomasse

Identifiant haie	Typologie de la haie	Département	AWA-grid	RU de l'UCS	Accroissement annuel unitaire (thumid.an ⁻¹ .100ml ⁻¹)
3	Taillis simple, cépées d'arbres	ORNE	94079	108	0,910
4	Taillis simple, cépées d'arbustes	ORNE	94079	108	1,553
9	Taillis simple, fureté de hêtres	ORNE	94078	121	0,453
11	Taillis simple, cépées d'arbres	ORNE	94079	108	1,643
12	Taillis simple, cépées d'arbustes	ORNE	94079	108	1,119
14	Taillis simple, cépées d'arbustes	ORNE	94079	132	1,078
16	Taillis simple, cépées d'arbustes	ORNE	94078	132	0,222
18	Taillis simple, cépées d'arbres	ORNE	94079	92	0,687
19	Taillis simple, cépées d'arbres	ORNE	94079	92	0,931
20	Taillis simple, cépées d'arbustes	ORNE	94078	133	0,451
23	Taillis mixte, cépées d'arbres et d'arbustes	ORNE	94078	133	0,346
39	Taillis simple, cépées d'arbustes	ORNE	94078	133	2,099
40	Taillis simple, cépées d'arbres	ORNE	94078	133	1,950
71	Taillis mixte, cépées d'arbres et d'arbustes	ORNE	94078	133	1,273
74	Taillis sous futaie, hauts jets avec cépées d'arbres et d'arbustes	MAYENNE	92077	132	0,936
75	Taillis mixte, cépées d'arbres et d'arbustes	MAYENNE	92077	132	1,453
76	Taillis mixte, cépées d'arbres et d'arbustes	MAYENNE	90078	103	0,638
77	Taillis sous futaie, hauts jets avec cépées d'arbres et d'arbustes	MAYENNE	91077	143	1,327
96	Taillis simple, cépées d'arbres	MAYENNE	92078	114	1,137
99	Taillis sous futaie, hauts jets avec cépées d'arbres et d'arbustes	MAYENNE	91077	124	1,735
103	Taillis sous futaie, hauts jets avec cépées d'arbres et d'arbustes	MAYENNE	92077	132	1,263
104	Taillis mixte, cépées d'arbres et d'arbustes	MAYENNE	91079	103	0,982

Analyse et traitement des données

L'analyse des données a consisté à tester plusieurs variables pédoclimatiques de stress hydrique du sol évalué à partir de l'évolution quotidienne de la réserve en eau du sol.

Le suivi de l'évolution journalière de la réserve hydrique, réalisé pour chaque contexte pédoclimatique sur la période 2001-2020, permet d'apprécier la fréquence et la durée des périodes de stress hydrique (nombre de jours) et selon plusieurs niveaux d'intensité de ce stress.

Le nombre annuel de jours de stress hydrique est calculé pour chaque année, et est moyenné sur la période 2001-2020 tout au long de la période de végétation (de mars à fin novembre).

Ainsi, plusieurs variables caractérisant l'intensité des épisodes de stress hydrique ont été testées :

- Le nombre moyen annuel de jours par an durant lesquels les plantes sont en situation de stress, c'est-à-dire quand la RFU est nulle (réserve en eau inférieure à 40% de la RU) ;
- Le nombre moyen annuel de jours durant lesquels la réserve hydrique du sol est nulle (RS=0).

Plusieurs variables de stress hydrique des plantes correspondant à différents états édaphiques du sol (réserve en eau inférieure à 50% de la RU, réserve en eau inférieure à 40% de la RU...) ont été testées, et seules les variables réagissant de manière significative sont présentées dans les résultats. variables réagissant de manière significative sont présentées dans les résultats.

PARTIE 3 – RESULTATS

3.1 – Résultats

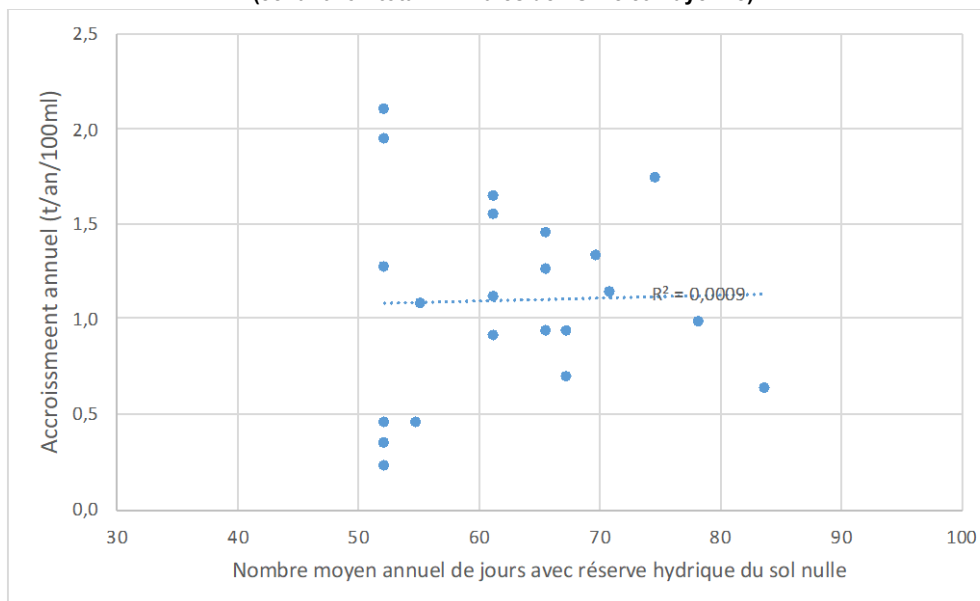
La durée et l'intensité des épisodes de sécheresse édaphique sont les indicateurs qui peuvent aider à apprécier et caractériser les impacts sur la végétation.

3.3.1 – Impact de la durée de déficit hydrique sur la productivité

Territoire de Normandie - Pays de la Loire

Si l'on prend en compte la totalité des 22 haies de l'Orne et de la Mayenne, les données indiquent une absence de corrélation entre l'accroissement annuel de biomasse (en tonne humide/km/an) et le nombre de jours moyen dans l'année où la réserve hydrique est nulle (RS=0). Le coefficient de corrélation (R^2) est inférieur 0,1 quelle que soit la courbe de tendance.

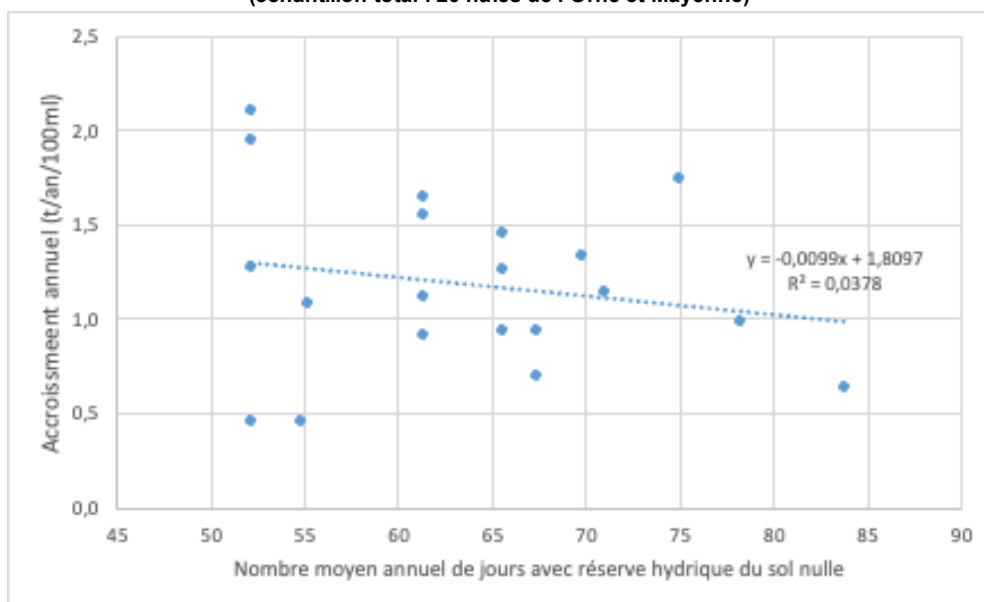
Graphique 3.2 : Accroissement annuel unitaire de biomasse et nombre de jours avec RS=0 (échantillon total : 22 haies de l'Orne et Mayenne)



L'échantillon étudié ne permet pas de mettre en évidence que l'accroissement massique annuel des haies est influencé par la durée durant laquelle le sol a une réserve hydrique nulle.

Si l'on exclut les deux haies les plus basses de productivité (haies 16 et 23), les valeurs tendent à suivre meilleur avec la courbe de tendance (cf. graphique ci-après). L'accroissement biologique des haies s'atténue avec l'augmentation du nombre de jours à réserve en eau est nulle dans le sol. Cependant, la corrélation est très faible ($R^2 = 0,038$ avec la courbe de tendance linéaire $y = 1,814 - 0,1x$) ce qui traduit une très grande dispersion des valeurs autour de la courbe, et une forte incertitude.

Graphique 3.3 : Accroissement annuel unitaire de biomasse et nombre de jours avec RS=0 (échantillon total : 20 haies de l'Orne et Mayenne)



Pour notre échantillon de haies, le nombre de jours annuels durant lesquels la réserve hydrique du sol est nulle n'est pas une variable robuste pour expliquer la productivité des haies.

Territoire des Hauts-de-France

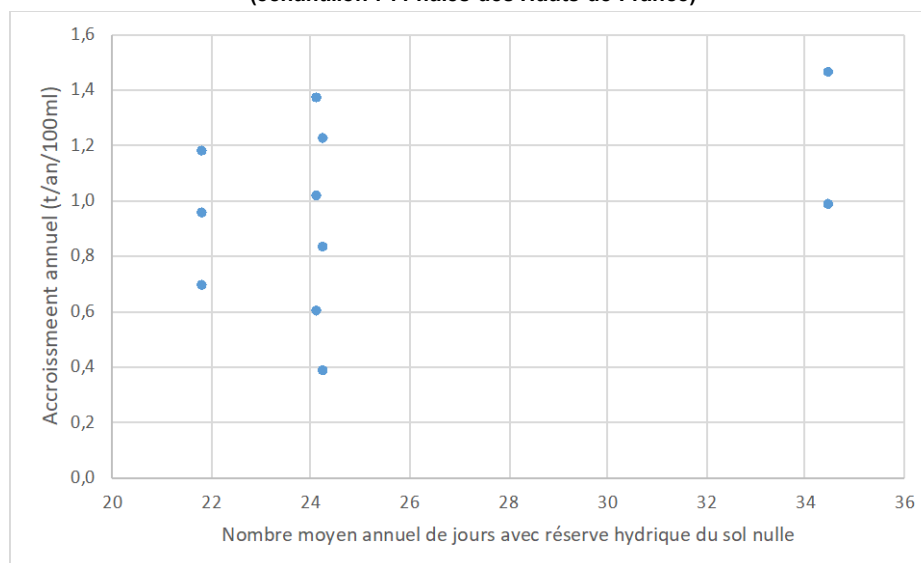
Le traitement des données pédoclimatiques sur le territoire de l'Aisne-Nord indique que les haies sont soumises à une faible durée de stress hydrique, avec seulement 21 à 35 jours durant lesquels la réserve en eau du sol est nulle, soit en moyenne deux fois moins de jours de stress hydrique qu'en Normandie.

On constate aussi la relative forte amplitude des valeurs d'accroissement moyen annuel des haies des Hauts-de-France (0,37 à 1,75 t/an/100m), soit d'un facteur 1 à 4, alors qu'elles sont confrontées à des durées de stress hydrique faibles et presque identiques pour la plupart des haies (cf. graphique suivant).

Ceci résulte du fait que les haies étudiées se trouvent dans seulement 4 situations pédoclimatiques (combinaison de 3 UCS et 2 grilles climatiques AWA).

L'amplitude de la durée de déficit hydrique extrême du sol étant très faible, aucune tendance statistique ne se dégage pour notre échantillon (11 haies).

Graphique 3.4 : Accroissement annuel unitaire de biomasse et nombre de jours avec RS=0 (échantillon : 11 haies des Hauts-de-France)



3.3.2 – Impact de l'intensité du stress hydrique

Au même titre que la durée de la période de sécheresse du sol, l'intensité du déficit hydrique est une composante climatique reconnue dans la littérature qui impacte l'activité biologique de la végétation.

Déficit hydrique cumulé en période de réserve hydrique du sol nulle

Pour apprécier l'impact négatif des périodes de stress hydrique sur la croissance des arbres, nous proposons de calculer la somme des ETP quotidien (évapotranspiration) lors des jours où le sol ne contient plus d'eau disponible pour les plantes.

Il s'agit donc d'un déficit annuel qui cumule tous les déficits en période de stress extrême. La valeur est moyennée sur la période 2001-2020. Ce déficit hydrique est exprimé en mm/an. Il est négatif par nature.

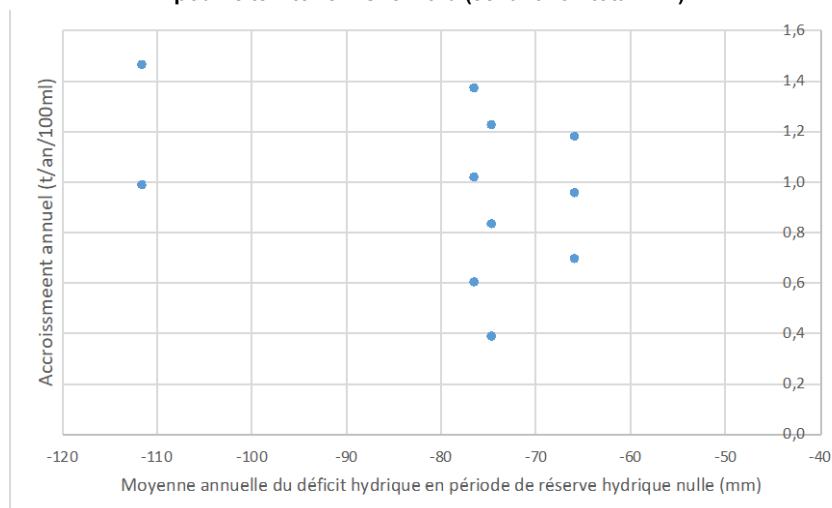
Territoire Hauts-de-France (Aisne-Nord)

L'analyse des données sur le territoire de l'Aisne-Nord révèle que les données d'accroissement annuel ont une forte amplitude de valeurs (0,37 à 1,75 t/an/100ml), comparativement à celles du déficit cumulé en période de stress hydrique qui varie faiblement (-65 à -115 mm).

En outre, les valeurs de déficit hydrique sont concentrées aux extrémités de cette plage de valeur, ce qui crée une discontinuité ne permet pas de faire une tendance avec un petit nombre d'individus.

Cette situation résulte du fait que les haies étudiées se trouvent dans seulement 4 situations pédoclimatiques (combinaison de 3 UCS et 2 grilles climatiques AWA).

Graphique 3,5 : Accroissement annuel de biomasse et intensité du déficit hydrique en période de réserve en eau nulle pour le territoire Aisne-Nord (échantillon total : 11)

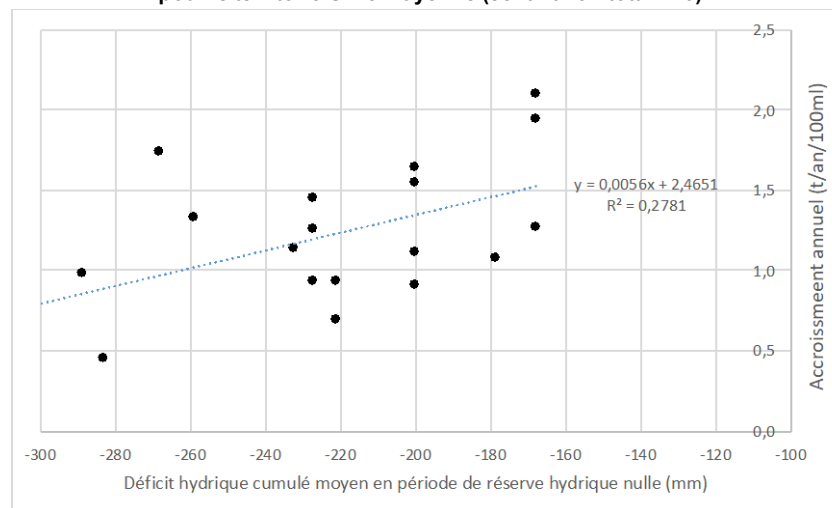


Territoire Normandie-Pays de la Loire (Orne-Mayenne)

Pour le territoire de l'Orne-Mayenne, le cumul annuel moyen du déficit hydrique journalier en période de sécheresse édaphique extrême (réserve en eau nulle) est compris entre -290 et -170 mm/an.

Pour les haies de Normandie, le croisement avec les données d'accroissement massique annuel des haies montre bien que la productivité de biomasse baisse avec l'intensité du déficit hydrique en période de sol sec (cf. graphique suivant).

Graphique 3.6 : Accroissement annuel unitaire et intensité du déficit hydrique en période de réserve en eau nulle pour le territoire Orne-Mayenne (échantillon total : 20)



Le coefficient de corrélation est le meilleur pour une courbe de tendance linéaire, bien qu'il reste assez faible ($R^2=0,278$ avec $y=2,4651+0,0056x$). Ceci traduit une certaine dispersion des valeurs par rapport à la courbe tendancielle, comme le graphique permet de le constater.

Le déficit hydrique cumulé en période de stress hydrique ressort comme la variable la mieux corrélée à l'accroissement annuel de biomasse. Cependant, il n'apparaît pas toutefois pas comme un facteur déterminant d'après les résultats obtenus pour notre échantillon de haies.

Pour mémoire, nous avons testé plusieurs variables de stress hydrique des plantes selon différents états édaphiques du sol (réserve en eau inférieure à 50% de la RU, réserve en eau inférieure à 40% de la RU...), mais nous avons présenté les variables qui réagissaient de manière plus significative.

3.2 – Discussion des résultats

Apports sur la connaissance des contextes pédoclimatiques

L'étude a permis de tester une méthode visant à caractériser le contexte pédoclimatique dans lequel se situent les haies suivies, afin d'analyser dans quelle mesure il impacte sur la productivité de la biomasse bocagère mesurée.

La méthode développée repose en l'analyse du bilan hydrique journalier qui permet d'apprécier l'évolution de la réserve hydrique du sol tout au long de la période de végétation (mars-novembre).

Ce travail a permis de mieux connaître les conditions hydriques du sol sur les secteurs d'étude et d'évaluer le niveau de stress hydrique subi par chaque haie sur une période longue (20 ans) correspondante à la durée de capitalisation de la biomasse depuis la coupe précédente.

Les caractéristiques de sécheresse du sol (édaphique) de chaque station ont ainsi été appréciées de deux indicateurs : sa durée et son intensité.

Les résultats de l'étude indiquent que la durée de la sécheresse édaphique (nombre moyen de jours par an) n'apparaît pas comme un facteur explicatif de la productivité de biomasse bocagère, aussi bien pour les situations de sécheresse marquée (réserve en eau du sol inférieure à 40% de la réserve utile) ou de sécheresse extrême (aucune réserve en eau du sol).

Par contre, les résultats semblent indiquer une corrélation entre la productivité de biomasse des haies et l'intensité de la sécheresse du sol, mesurée par la variable de déficit hydrique cumulé en situation de réserve en eau du sol nulle. Toutefois, ces résultats sont peu robustes (taux de corrélations faible).

Difficultés méthodologiques

La méthode utilisée – volontairement simplificatrice pour tenir compte du cadre de l'étude – au regard de la multitude des facteurs naturels et stationnels qui conditionnent la croissance des ligneux. Les facteurs édaphiques restent difficiles à identifier même sur le terrain en ce qui concerne la réalité hydrique du sous-sol (alimentation latérale du sol, présence de nappe superficielle...) ou de la capacité des arbres à explorer ou non le sol en profondeur (horizons facturés, couches imperméable...).

L'analyse des résultats a été rendue difficile par la taille réduite de l'échantillon des haies pour lesquelles l'accroissement annuel a pu être estimé par les opérateurs locaux, l'année de coupe précédente ayant été établie pour seulement 33 haies. Il est en effet difficile de faire apparaître des tendances statistiques ou d'identifier des corrélations entre les variables en raison du nombre insuffisant de haies par territoire.

L'analyse semble faire apparaître une diversité de l'historique d'entretien des haies d'un territoire à l'autre de nature à modifier la productivité des haies. Par exemple, les pratiques sylvicoles (recépage...) déjà mises en œuvre lors de l'exploitation précédente sur les (8) haies de Mayenne contribueraient à une meilleure reprise des brins après la coupe, ce qui pourrait donc expliquer un accroissement médian annuel supérieur à celui observé sur les autres territoires (Orne, Hauts-de-France). En effet, la mise en œuvre des plans de gestion durables des haies (PGDH) avec des cycles d'exploitation de 10-15 ans tend à améliorer la productivité des haies dans le Grand Ouest.

On constate aussi une grande dispersion des valeurs d'accroissement annuel des haies pour un type de haie donné dans un territoire et soumis à des contextes pédoclimatiques similaires. C'est notamment le cas pour des haies de cépées d'arbres (facteur 1 à 2,5) ; ceci pourrait être expliqué par une récolte

partielle ou différée de certains arbres (sélection pied à pied) lors de la coupe précédente. Ceci crée une forte incertitude sur certaines valeurs extrêmes, et les retirer de la population réduit en fortement la taille.

3.3 – Liste et descriptif des livrables

Les livrables du projet sont :

- Un webinaire de présentation des méthodes et des résultats de l'action 2.4 intitulé « Évaluation des stocks et flux de biomasse et carbone des haies - Méthodologie et premières références dans quatre régions de France » qui s'est déroulé le 19 janvier 2023. Ce webinaire a rassemblé plus de 250 inscrits, et son enregistrement est disponible sur le site de l'Afac-Agroforesteries (<https://afac-agroforesteries.fr/webinaire-3/>) ;
- Un rapport de synthèse de l'action 2.4., téléchargeable sur le site de l'Afac-Agroforesteries;
- Une note de synthèse (8 pages) de principaux résultats et discussions de l'action 2.4.

Parmi les livrables, la tâche portant sur l'analyse des contextes pédoclimatiques a permis d'expérimenter une méthodologie de mobilisation et de traitements croisés des données climatiques et des données issus du référentiels régionaux pédologiques (RRP).

PARTIE 4 – PERSPECTIVES

4.1 – Suites envisagées

La poursuite du travail de mesure de l'accroissement annuel sur les territoires d'étude, notamment sur le secteur Orne-Mayenne, pourrait aider à conclure sur l'impact de l'intensité des épisodes de sécheresse sur la productivité des haies.

Une piste d'amélioration de la méthode serait aussi d'utiliser une grille climatique plus fine (grille de Météo France de 8 km x 8 km) ce qui pourrait permettre d'identifier des variations de situation climatique plus locales.

L'étude a montré qu'il est possible et réaliste de mener un travail à grande échelle en mobilisant les données géospatialisées publiques et gratuites qui sont disponibles pour la quasi-totalité du territoire national. Aussi, ce travail mériterait d'être poursuivi sur d'autres territoires de bocage en bénéficiant des acquis de cette première expérimentation, notamment sur l'intérêt de structurer en amont l'échantillon de haies étudiées. Cela permettrait qu'il soit représentatif de la diversité des contextes pédoclimatiques, et de couvrir un nombre minimum de pédoclimat par territoire et un nombre minimum de haies par pédoclimat. Il serait notamment intéressant de disposer de mesures dans des zones de bocage ou de semi-bocage en climat continental (Bourgogne, Franche-Comté par exemple), en climat montagnard (Auvergne par exemple), semi-océanique (Sud-Ouest).

Étendre le réseau de haies dans quelques zones géographiques pourrait également permettre de tester d'autres variables climatiques. Par exemple, la précocité des épisodes de sécheresse est un facteur susceptible d'affecter notablement la croissance des végétaux. Or, les territoires considérés dans cette étude (nord Pays de la Loire, Normandie, Hauts-de-France) sont dans des situations très proches en moyenne pour cette variable, ce qui n'a pas permis de tester cette variable. Il serait ainsi intéressant de disposer de données dans des territoires bocagers soumis à des sécheresses précoces marquées, et qui surviennent plus fréquemment ces dernières années, comme dans l'Ouest (vallées de la Garonne et de la Loire), et l'Est de la France (Bourgogne, Champagne...).

4.2 – Éléments évaluatifs

4.2.1 – Difficultés rencontrées

Sélection des territoires d'études

Les partenaires du projet d'évaluation de la biomasse bocagère souhaitaient mener leurs travaux sur des territoires dans des contextes pédoclimatiques contrastées, de manière à disposer de jeux de données contrastées pour cette étude exploratoire. Il s'agissait notamment de tester les protocoles sur quatre régions correspondant à trois configurations de sous-sols (schistes, calcaire, granite) et deux zones climatiques (climat océanique et continental). La difficulté de mobiliser des opérateurs locaux compétents et disponibles sur ces territoires n'a pas permis de disposer d'un échantillonnage de haies initialement prévus. Le territoire de Mayenne (Pays de la Loire) dispose d'un contexte pédoclimatique proche de celui de l'Orne, dont il est contiguë, et les Hauts-de-France (substitué à l'Auvergne) bénéficie d'un climat océanique comparable à celui des deux précédents. La difficulté supplémentaire est qu'aucun chantier d'exploitation de haies n'a pu être réalisé par les opérateurs en Bourgogne, notre unique territoire en climat continental.

Le référentiel réalisé sur ces zones d'étude pourra cependant être potentiellement extrapolable à d'autres territoires analogues, même si le champ est moins étendu qu'envisagé au début du projet.

Faute de chantiers disponibles, il a rarement été possible de sélectionner des haies réparties dans des quadrats de 1 000 ha (à raison de 6-8 haies par quadrat) selon la méthodologie prévue à l'origine. Ainsi, l'échantillon des haies à une distribution spatiale assez variable d'une région à l'autre, ce qui nuit à l'analyse des résultats. Il s'agit malheureusement de contraintes inévitables à la confrontation de protocoles méthodologiques aux réalités de terrain et aux contraintes des acteurs locaux.

Difficultés liées à la taille de l'échantillon de haies

L'analyse des résultats a été rendue difficile par la taille réduite de l'échantillon des haies pour lesquelles l'accroissement annuel a pu être estimé par les opérateurs locaux pour seulement 33 haies. Cette situation, résulte de plusieurs éléments. Tout d'abord, en raison de difficultés (climatiques) rencontrées sur le terrain par les opérateurs locaux, les chantiers de broyage ont pu être menés seulement que sur une partie des 97 haies suivies (base de données Access). Et seulement, une partie de ces haies a pu faire l'objet de mesures : les mesures de cubage sur pied ont concerné 75 haies en 2020 et 2021, et les données de broyage de certains chantiers ne sont pas disponibles, réduisant ainsi l'échantillon des haies étudiées.

Enfin, l'agriculteur n'a pas toujours été en capacité d'indiquer avec certitude l'année de la dernière exploitation de la haie (coupe précédente), ce qui a empêché l'estimation de l'accroissement annuel de biomasse. In fine, la productivité de biomasse n'est disponible que pour 33 haies.

4.2.2 – Analyse d'impact du projet sur les différents publics cibles

Le travail mis en évidence qu'il est objectivement réaliste de mener avec une analyse sur la productivité des haies au regard des facteurs pédoclimatiques à grande échelle. Il suffit en effet de mobiliser des données locales de chantiers d'exploitation (coupe) de haies disponibles auprès des opérateurs de terrain, sous réserve de connaître le type de haies (référentiel national des types de haies de l'Afac-Agroforesteries), sa localisation, le linéaire et la quantité exploités.

Le travail a permis de valider avec des opérateurs de terrain, les protocoles de mesures et de collectes de ces données nécessaires, et définir les conditions préalables (prérequis) indispensables à la mise en œuvre d'un référentiel en grande échelle, au plan régional, voire national.

La présentation des résultats obtenus, bien qu'encore partiels et provisoires, a mis en évidence le très fort intérêt des acteurs locaux du bocage pour l'amélioration de la connaissance des effets des facteurs climatiques sur l'accroissement biologique annuel des haies. Il semble que les acteurs des territoires sont de plus en plus sensibles à l'enjeu de la biomasse (et aussi du stockage de carbone), et sont convaincus que de la valorisation de la biomasse des haies est un enjeu majeur de la préservation des haies dans les paysages.

4.2.3 – Indicateurs de suivis

Les indicateurs de suivis sont :

- Le nombre de territoires d'étude : 4 (4 initialement prévus)
- Le nombre de haies du réseau de référence : 120
- Le nombre de haies caractérisées par ses caractéristiques pédoclimatiques : 120
- Le nombre de haies de l'échantillon avec mesure d'accroissement annuel de biomasse : 120

4.2.4 – Indicateurs de résultats

Les indicateurs de résultats sont :

- Nombre de territoires d'étude : 4
- Nombre de haies du réseau de référence : 97
- Nombre de haies caractérisées par ses caractéristiques pédoclimatiques : 97
- Nombre de haies avec mesure d'accroissement annuel de biomasse : 33
- Nombre de haies incluses dans l'analyse pédoclimatique : 33

Résumé :

Élaboration de méthodes simplifiées pour mesurer la production de biomasse et le stockage de carbone des haies en vue d'établir des références France entière.

Les haies bocagères sont une source de biomasse pour développer les ressources renouvelables des territoires agricoles. Leur préservation et leur maintien sont aussi une solution pour stocker davantage de carbone dans les parcelles. Cependant les données disponibles sont faibles et ne permettent pas de réaliser des scénarios fiables pour valoriser ces services. Par ailleurs, pour collecter des références à grande échelle, les méthodes connues aujourd'hui sont souvent complexes et coûteuses à mettre en place. À partir d'un échantillon de 98 haies mesurées dans les 4 régions différentes (Normandie, Hauts-de-France, Pays de Loire et Bourgogne-Franche-Comté), les partenaires du projet ont modélisé des méthodes simplifiées de cubage des haies de taillis d'arbustes, d'arbres et de têtards, de mesure de stockage du carbone dans les sols des haies, et ont vérifié les coefficients de conversion utilisés par les opérateurs dans les mesures biomasse et ont étudié les facteurs (pédoclimatiques)

qui influent sur les résultats afin de proposer des cadres d'échantillonnage.

Par ailleurs, ils confirment ou apportent des données de références dans les territoires étudiés sur la productivité des haies (volume et accroissement, tonnage et compartiment de stockage de carbone).

À partir de ce travail, une diffusion d'une méthode simplifiée de mesure biomasse et carbone des haies peut être envisagé. Il est cependant nécessaire de poursuivre le travail pour affiner la robustesse des modèles, de compléter les méthodes biomasse sur les arbres de hauts jets et d'approfondir les mécanismes sur le stockage de carbone au pied des haies.

Pour citer ce rapport :

VIAUD Valérie, LESAINTE Lucas, INRAE, COULON Frédéric, SOLAGRO, BETOLAUD Sylvain, NEVOUX Laurent, CANONNE Dorine, SCIC B2E (Bois Bocage Energie), MORET Catherine Afac-Agroforesteries. 2022. Évaluation des stocks et des flux de biomasse et carbone des haies, tests métrologiques et premières références dans 4 régions en France. 64 pages

En savoir plus sur Resp'haies :

Le projet de recherche et développement RESP'HAIES (RESilience et Performances des exploitations agricoles liées aux HAIES) s'est déroulé de 2019-2022, avec la participation de onze organismes de la recherche, du développement et de l'enseignement dans l'objectif est de renforcer les connaissances sur la thématique des haies autour de quatre axes :

- **Action 1** - productivité et cubage des haies et apports de la géographie pour caractériser les haies,
- **Action 2** - services écosystémiques liés aux haies : biodiversité, ruissellement, carbone,
- **Action 3** - performances technico-économiques des exploitations agricoles liées aux haies,
- **Action 4** - conceptions et tests de séquences pédagogique sur les haies.

Retrouvez tous les résultats du projet sur <https://afac-agroforesteries.fr/resphaies/>

Projet soutenu par :



Le projet bénéficie également du soutien de :



Partenaires du projet :

