

Action du projet RESP'HAIES bénéficiant du soutien financier de :

Avec  
la contribution  
financière du compte  
d'affectation spéciale  
développement  
agricole et rural  
CASDAR



MINISTÈRE  
DE L'AGRICULTURE  
ET DE LA SOUVERAINETÉ  
ALIMENTAIRE

Liberté  
Égalité  
Fraternité



Resp'haies

# Évaluation des stocks et flux de biomasse et carbone des haies - Méthodologie et premières références dans quatre régions de France

Webinaire n°3

19 janvier 2023

## Intervenants :

- MORET Catherine Afac-Agroforesteries.
- BETOLAUD Sylvain SCIC Bois Bocage Energie,
- LESAINTE Lucas et VIAUD Valérie, INRAE - UMR SAS
- COULON Frédéric, Solagro

Partenaires du projet :



UNIVERSITÉ  
CAEN  
NORMANDIE

## OBJECTIFS DE L'ETUDE

- ✓ **Concevoir, tester et simplifier les méthodes** 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
- ✓ **Produire des premiers éléments de références chiffrés de biomasse et de stock de carbone** dans les compartiments aériens et sols pour quelques grands types de haies caractéristiques, dans 4 contextes pédoclimatiques en France : Normandie, Pays de Loire, Haut de France, Bourgogne-Franche-Comté

## MÉTHODOLOGIES ET TÂCHES

1 - Choix des zones d'études et définition de l'échantillonnage

2 - Quantifier la biomasse des haies et leur capacité de stockage de carbone dans la partie aérienne par des mesures de cubage

**Temps d'échange**

3 - Evaluation du potentiel de stockage de carbone additionnel dans les sols

**Temps d'échange**

4 - Caractérisation pédoclimatique des sites étudiés

**Temps d'échange**

## LES INTERVENANTS



### PARTIE 1 et 2

**Sylvain Betolaud du Colombier**

Chargé de mission Bocage  
SCIC Bois Bocage Energie

[sylvain.betolaud@boisbocageenergie.com](mailto:sylvain.betolaud@boisbocageenergie.com)



### PARTIE 3

**Lucas Lesaint**

Doctorant  
INRAE UMR SAS

[lucas.lesaint@inrae.fr](mailto:lucas.lesaint@inrae.fr)



**Valérie Viaud**

Chercheur  
INRAE UMR SAS

[Valerie.viaud@inrae.fr](mailto:Valerie.viaud@inrae.fr)



### PARTIE 4

**Frédéric Coulon**

Chargé de projets Agroforesteries-Paysage  
SOLAGRO

[frederic.coulon@solagro.asso.fr](mailto:frederic.coulon@solagro.asso.fr)

## PARTIES 1 ET 2

**1 - Choix des zones d'études et définition de l'échantillonnage**

**2 - Quantifier la biomasse des haies et leur capacité de stockage de carbone dans la partie aérienne par des mesures de cubage**

**Pilotes** : Bois Bocage Energie, Afac-Agroforesteries et structures territoriales

Sylvain Betolaud du Colombier



## Etat des connaissances

### LE CONTEXTE

**Enjeu : évaluer la biomasse et les stocks de carbone dans les haies bocagères en France**

#### A l'échelle de la haie :

- Conversions utilisées (étude Bouvier 2008 et étude SOLAGRO-IGN / Ademe 2009) avec des différences importantes entre opérateurs et régions par rapport à ces données moyennes
- Références utilisées sur données chantiers métiers ou études anciennes comme en Normandie (1985) → Etude se basant sur le calcul de la surface terrière permettant une comparaison avec nos données
- Etude Carbocage pour label bas carbone mais uniquement Bretagne-Pays de la Loire

CONVERTION	m3 bois	Stère	MAP humide	T humide	MAP sec	T sèche	MW.h
m3 bois	1,00	1,50	3,00	1,00	2,50	0,65	2,48
Stère	0,67	1,00	2,00	0,67	1,67	0,43	1,65
MAP humide	0,33	0,50	1,00	0,33	0,83	0,22	0,83
T humide	1,00	1,50	3,00	1,00	2,50	0,65	2,48
MAP sec	0,40	0,60	1,20	0,40	1,00	0,26	0,99
T sèche	1,54	2,31	4,62	1,54	3,85	1,00	3,81
MW.h	0,40	0,61	1,21	0,40	1,01	0,26	1,00

#### A des échelles territoriales :

- Des études réalisées en Bretagne (2017) et Normandie (2019) pour les Plan Régionaux Biomasse mobilisation d'informations locales (chantiers d'exploitation)

## Etat des connaissances

### LE CONTEXTE

**Enjeu : évaluer la biomasse et les stocks de carbone dans les haies bocagères en France**

### LIMITES

- Des données d'accroissement et de stockage carbone des haies peu documentées en France
- Des hypothèses et coefficients techniques différents entre région et vieillissants. **l'IGN mettait en évidence en 2019 la nécessité de travailler un tableau de conversion commun entre les régions afin de pouvoir comparer les études régionales**
- Des méthodologies de cubage et mesure carbone lourdes à mettre en place

**→ nécessité d'une base de données de mesures, s'appuyant sur un cubage des haies précis, par une méthodologie maîtrisée, utilisable à grande échelle**

# LES HAIES BOCAGÈRES



- Agricoles, homogènes
- Sans discontinuité de houppier à houppier > 5m

Choix des  
échantillons



Têtards et cépées d'arbustes

L. Nevoux



Cépées d'arbustes

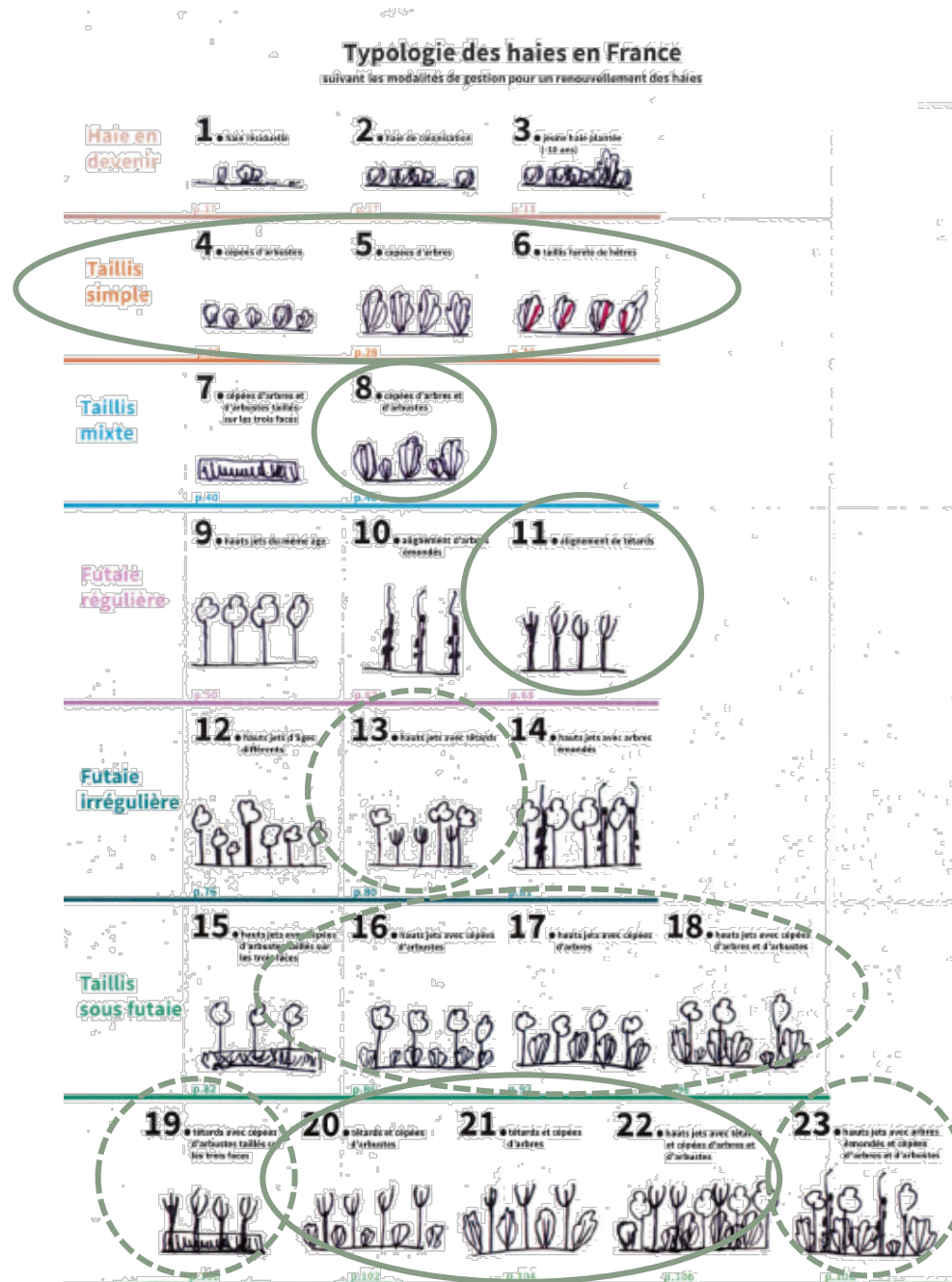
D. Canonne



Cépées d'arbres

D. Canonne





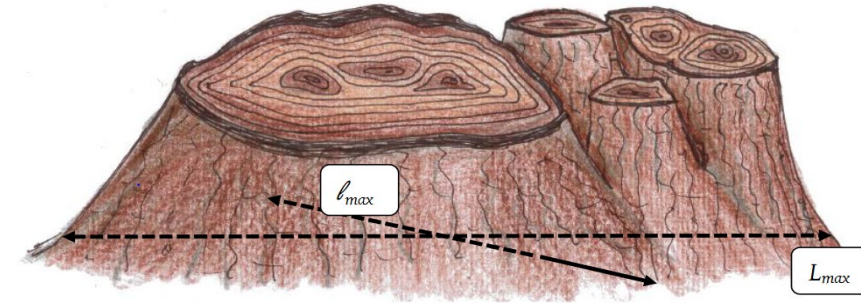
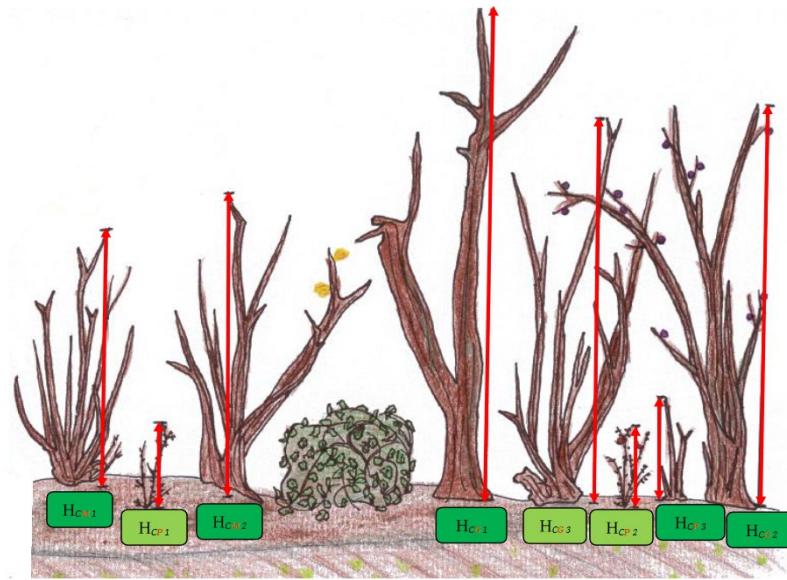
### 3 périodes de relevés terrain :

- Avant abattage ;
- Après abattage ;
- Pendant déchiquetage.

### Méthodologie :

- Mesure du volume de bois sur pied
- Vérification des volumes par suivi des chantiers d'exploitation
- Mesure de l'âge des bois
- Mesure du poids anhydre

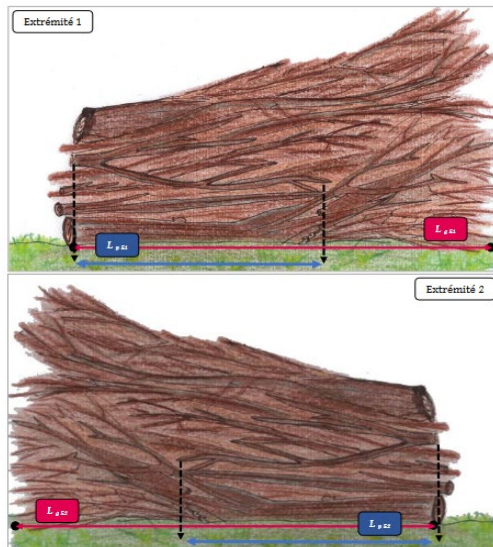
Données à récupérer



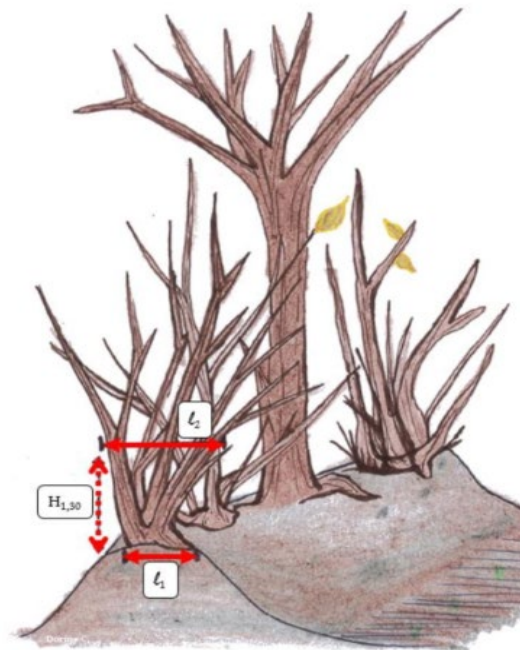
$L_{max}$  Longueur de la souche maximale, correspondant à la mesure de l'emprise de la souche sur une orientation face à la haie

$l_{max}$  Largeur de la souche maximale, correspondant à la mesure de l'emprise de la souche sur orientation latérale de la haie

Données à récupérer



$L_{g11}$  Longueur de la plus grande tige abattue visible à l'extrémité 1  
 $L_{g12}$  Longueur de la plus petite tige abattue visible à l'extrémité 1  
 $L_{p11}$  Longueur de la plus grande tige abattue visible à l'extrémité 2  
 $L_{p12}$  Longueur de la plus petite tige abattue visible à l'extrémité 2

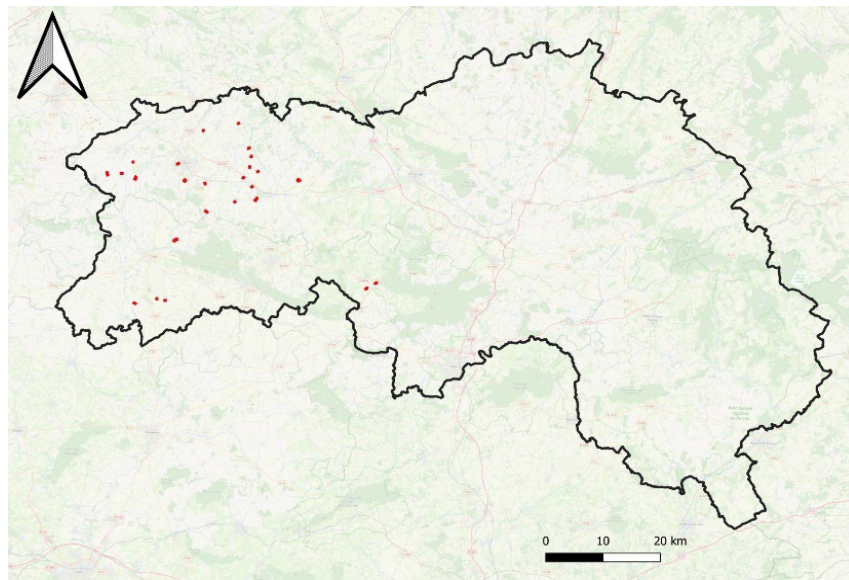


Plusieurs échelles de prises de données :

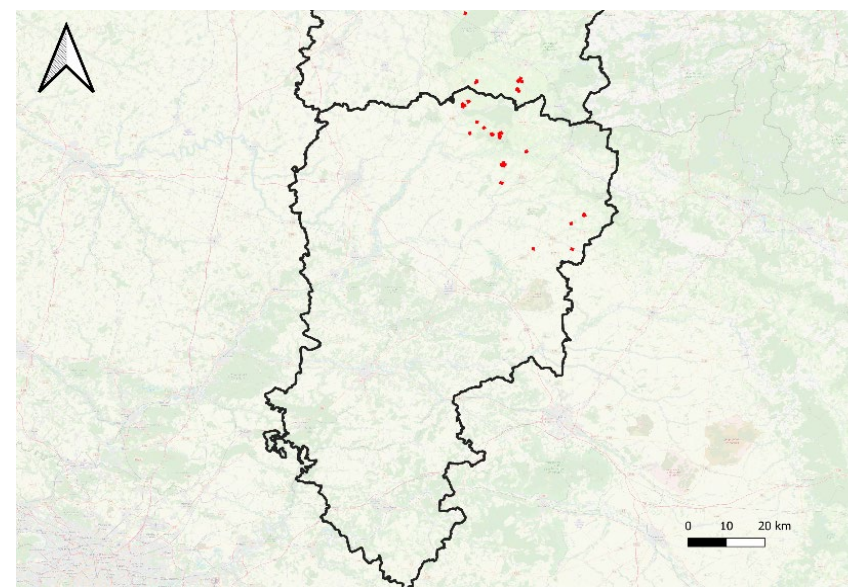
- L'Individu (seuil arbitraire : au minimum 1 cépée tous les 25 mètres linéaires) ;
- La Haie ;
- Le Lieu de localisation ;
- L'Abattage ;
- Le Chantier d'exploitation

Nombre de données à prendre environ : 70 minimum

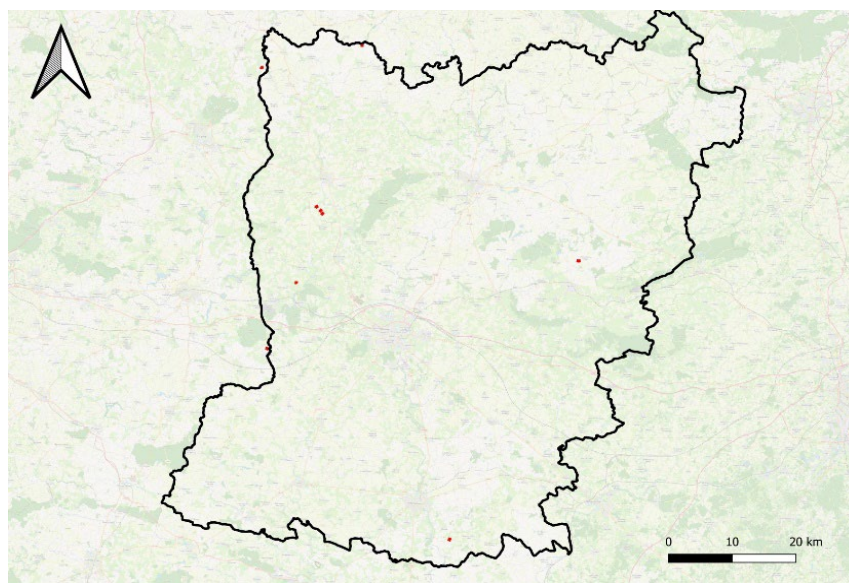
*Localisation  
des haies  
mesurées*



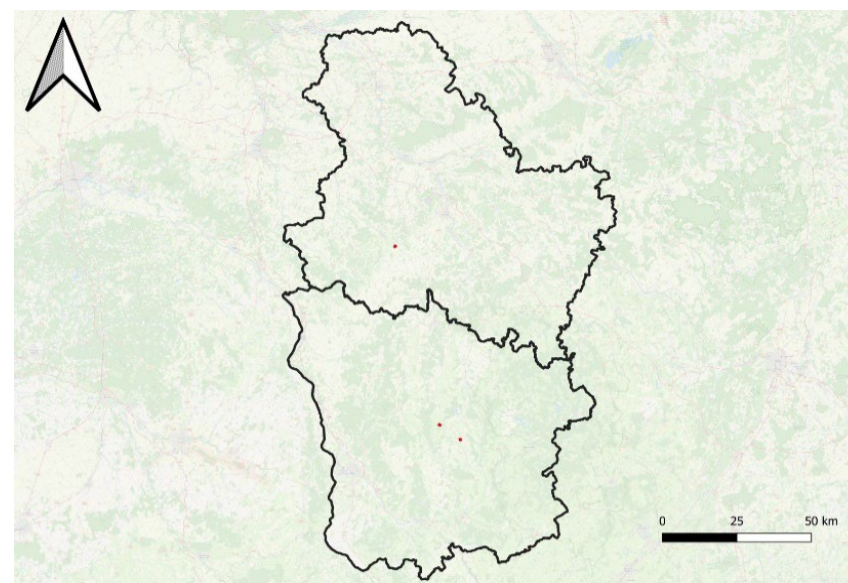
Normandie (Orne)



Haut de France (Aisne et Nord)



Pays de la Loire (Mayenne)



Bourgogne (Nièvre et Yonne)

# Nombre de références enregistrées : 98 haies

Normandie	Orne	BOIS Jean-Boris
Normandie	Orne	DAVY Christophe
Normandie	Orne	DAVY Maxime (1)
Normandie	Orne	DAVY Maxime (2)
Normandie	Orne	DELAUNAY Gilles (1)
Normandie	Orne	DELAUNAY Gilles (2)
Normandie	Orne	DELAUNAY Gilles (4)
Normandie	Orne	DEMAINE Germain (1)
Normandie	Orne	DEMAINE Germain (2)
Normandie	Orne	DUTERTRE Julien (1)
Normandie	Orne	DUTERTRE Julien (2)
Normandie	Orne	FERET Nicolas (1)
Normandie	Orne	FERET Nicolas (2)
Normandie	Orne	FOUCHER Cédric
Normandie	Orne	GIGANT Serge
Normandie	Orne	GONTIER Vincent (1)
Normandie	Orne	GONTIER Vincent (2)
Normandie	Orne	GONTIER Vincent (3)
Normandie	Orne	HARDOUIN Samuel (1)
Normandie	Orne	HARDOUIN Samuel (2)
Normandie	Orne	HÉBERT Jean-François (1)
Normandie	Orne	HÉBERT Jean-François (2)
Normandie	Orne	LAFONTAINE Joël
Normandie	Orne	LANGLOIS Anthony
Normandie	Orne	LEMANCEL Fabien (2)
Normandie	Orne	LEROYER Francis (2)
Normandie	Orne	LEROYER Francis (3)
Normandie	Orne	LETELLIER Hervé (1)
Normandie	Orne	LETELLIER Hervé (2)
Normandie	Orne	MAUNOURY Hervé
Normandie	Orne	OUVRY Didier
Normandie	Orne	POULAIN Jean-Luc
Normandie	Orne	POUSSIÉ Sylvain
Normandie	Orne	ROBILLARD Alain
Normandie	Orne	ROUSSEL Patrick
Normandie	Orne	THIERRY Gilles
Normandie	Orne	Ville de Chemu

Hauts-de-France	Aisne	CARON Christophe
Hauts-de-France	Aisne	CARON Christophe
Hauts-de-France	Aisne	CARON Christophe
Hauts-de-France	Aisne	CARON Christophe
Hauts-de-France	Nord	CONTESSE Christelle
Hauts-de-France	Aisne	COULBEAUT François
Hauts-de-France	Aisne	COULBEAUT François
Hauts-de-France	Aisne	FAVRESSE Thierry
Hauts-de-France	Aisne	FAVRESSE Thierry
Hauts-de-France	Aisne	GODFRIN Benoit
Hauts-de-France	Aisne	GODFRIN Benoit
Hauts-de-France	Aisne	GODFRIN Benoit
Hauts-de-France	Aisne	HALLEUX Didier
Hauts-de-France	Aisne	HALLEUX Didier
Hauts-de-France	Aisne	HALLEUX Didier
Hauts-de-France	Nord	HARBONNIER
Hauts-de-France	Aisne	LAMOTTE Jean-Marc
Hauts-de-France	Aisne	LAMOTTE Jean-Marc
Hauts-de-France	Aisne	LEMOINE Frédéric
Hauts-de-France	Aisne	LEMOINE Frédéric
Hauts-de-France	Aisne	LEMOINE Frédéric
Hauts-de-France	Nord	LEPRETE
Hauts-de-France	Nord	LEPRETE
Hauts-de-France	Nord	LEPRETE
Hauts-de-France	Nord	LEPRETE
Hauts-de-France	Nord	LEPRETE
Hauts-de-France	Nord	LEPRETE
Hauts-de-France	Nord	LEPRETE
Hauts-de-France	Nord	LEPRETE
Hauts-de-France	Aisne	MILLET Gaston
Hauts-de-France	Aisne	MILLET Gaston
Hauts-de-France	Aisne	MILLET Jean-Pierre
Hauts-de-France	Aisne	MILLET Jean-Pierre
Hauts-de-France	Aisne	VILLAIN-LEFEVRE
Hauts-de-France	Aisne	VILLAIN-LEFEVRE

Résultats :  
base de données

## Gabarits moyens de haies par typologie

Sur 95  
références

	3 Taillis simple, cépées d'arbustes	4 Taillis simple, cépées d'arbres	5 Taillis simple, fureté de Hêtres	10 Futaie régulière, alignement de têtards	7 Taillis mixte, cépées d'arbres et d'arbustes	15 Taillis sous futaie, hauts jets avec cépées d'arbustes	16 Taillis sous futaie, hauts jets avec cépées d'arbres	17 Taillis sous futaie, hauts jets avec cépées d'arbres et d'arbustes	18 Taillis sous futaie, têtards avec cépées d'arbustes taillés sur les 3 faces	19 Taillis sous futaie, têtards et cépées d'arbustes	21 Taillis sous futaie, hauts jets avec têtards et cépées d'arbres et d'arbustes
hauteur médiane	7,41	10,00	12,28	12,70	11,70	15,00	12,00	10,84	13,93	13,67	11,23
larg_sol médiane	0,74	1,57	1,20	1,18	1,22	1,80	1,40	0,86	1,00	0,90	0,72
larg_houp médiane	7,08	7,66	8,80	11,05	7,61	14,87	8,80	6,86	9,70	9,30	8,52
Nombre de haies	20	7	3	8	11	1	1	18	7	12	7

Résultats :  
Gabarits  
des haies

## Résultats : Accroissements annuels médians en tonnes humides pour 100 ml de haie par région

Sur 33  
références

*Résultats :  
Productivité  
moyenne*

	Normandie	Pays de la Loire	Bourgogne	Haut de France
Accroissement annuel médian en tonne humide pour 100 ml de haie	1,00	1,20	?	0,98

# Résultats des productivités par typologie issues de notre étude

Sur 33 références

	3 Taillis simple, cépées d'arbustes	4 Taillis simple, cépées d'arbres	5 Taillis simple, fureté de Hêtres	10 Futaie régulière, alignement de têtards	7 Taillis mixte, cépées d'arbres et d'arbustes	15 Taillis sous futaie, hauts jets avec cépées d'arbustes	16 Taillis sous futaie, hauts jets avec cépées d'arbres	17 Taillis sous futaie, hauts jets avec cépées d'arbres et d'arbustes	18 Taillis sous futaie, têtards avec cépées d'arbustes taillés sur les 3 faces	19 Taillis sous futaie, têtards et cépées d'arbustes	21 Taillis sous futaie, hauts jets avec têtards et cépées d'arbres et d'arbustes
Accroissement annuel median en tonne humide pour 100 ml de haie	1,10	1,03	0,45	0,95	0,90	NA	NA	1,30	1,18	1,17	NA

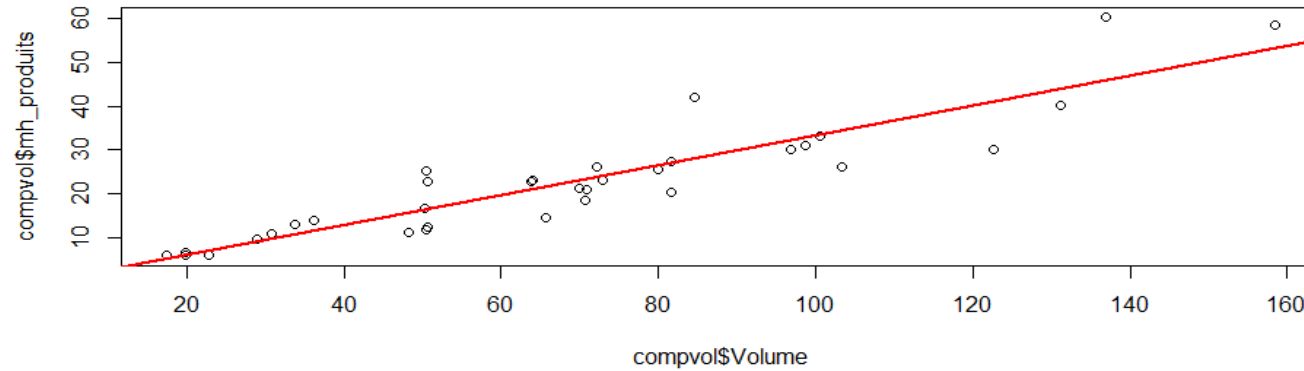
Résultats : Productivité moyenne

Comparaison avec résultats des productivités par typologie issues d'études antérieures dans le Grand Ouest

Type de haies	Productivité en MAP sec/an/100 ml continus	Productivité en tonne humide/an/100 ml continu (avec coef bouvier)
Taillis d'arbustes	0.85	0,34
Futaies : Hauts jets et/ou émondés	1	0,4
Haies mixtes : Futaies avec taillis	1.5	0,6
Taillis d'arbres	2	0,8

## Conversion Volume apparent (MAP)/ tonnage vert (tonne)

Sur 34 références



P_value	R <sup>2</sup>	Coefficient de corrélation
6.412e-14	0.8263	0.34025

**1 MAP vaut 0,34025 tonne humide**

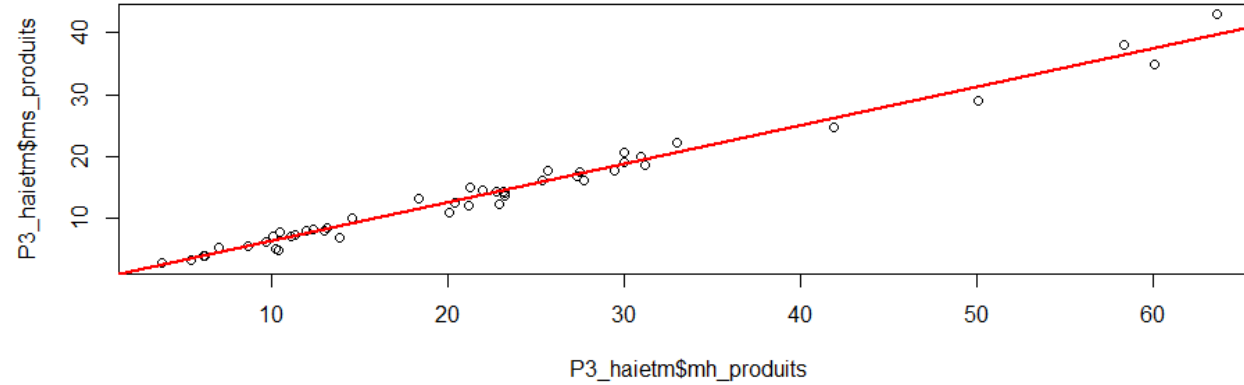
CONVERTION	m3 bois	Stère	MAP humide	T humide	MAP sec	T sèche	MW.h
m3 bois	1,00	1,50	3,00	1,00	2,50	0,65	2,48
Stère	0,67	1,00	2,00	0,67	1,67	0,43	1,65
MAP humide	0,33	0,50	1,00	0,33	0,83	0,22	0,83
T humide	1,00	1,50	3,00	1,00	2,50	0,65	2,48
MAP sec	0,40	0,60	1,20	0,40	1,00	0,26	0,99
T sèche	1,54	2,31	4,62	1,54	3,85	1,00	3,81
MW.h	0,40	0,61	1,21	0,40	1,01	0,26	1,00

Résultats :  
Vérification  
éléments de  
conversion



## Conversion tonnage vert / tonnage anhydre

Sur 47 références



P_value	R <sup>2</sup>	Coefficient de corrélation
2.2e-16	0.9814	0.62522

**1 tonne humide vaut 0,625 tonne anhydre**

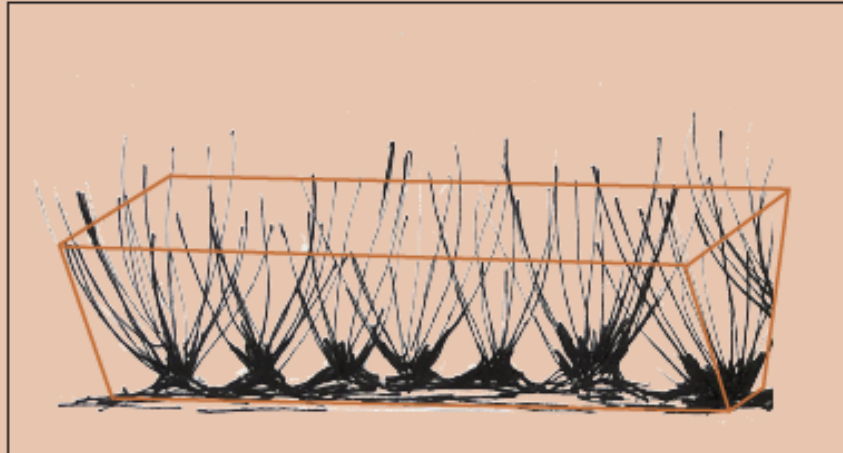
**Résultats :  
Vérification  
éléments de  
conversion**

CONVERTION	m3 bois	Stère	MAP humide	T humide	MAP sec	T sèche	MW.h
m3 bois	1,00	1,50	3,00	1,00	2,50	0,65	2,48
Stère	0,67	1,00	2,00	0,67	1,67	0,43	1,65
MAP humide	0,33	0,50	1,00	0,33	0,83	0,22	0,83
T humide	1,00	1,50	3,00	1,00	2,50	0,65	2,48
MAP sec	0,40	0,60	1,20	0,40	1,00	0,26	0,99
T sèche	1,54	2,31	4,62	1,54	3,85	1,00	3,81
MW.h	0,40	0,61	1,21	0,40	1,01	0,26	1,00

Sur 29  
références

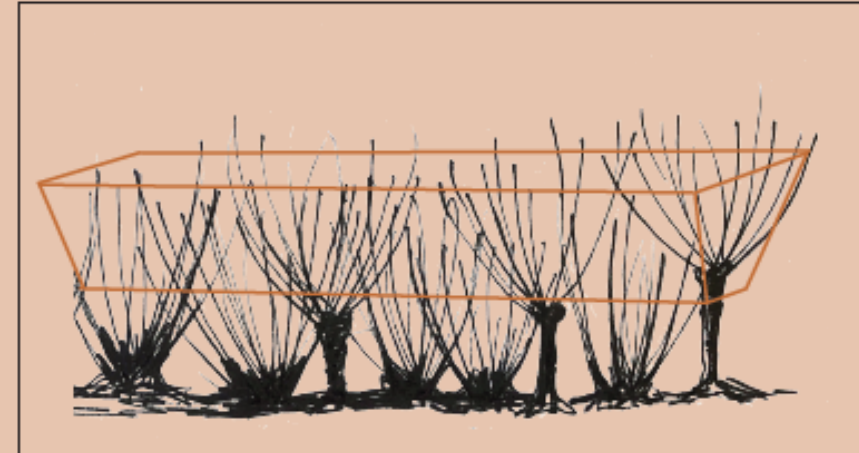
Sur 46  
références

**Modèle 1 : Mesures permettant de cuber les cépées basses**



$$m_{humide} = 17,83503 \times larg_{sol} + 0,05601 \times longueur$$

**Modèle 2 : Mesures permettant de cuber les cépées basses et têtards**

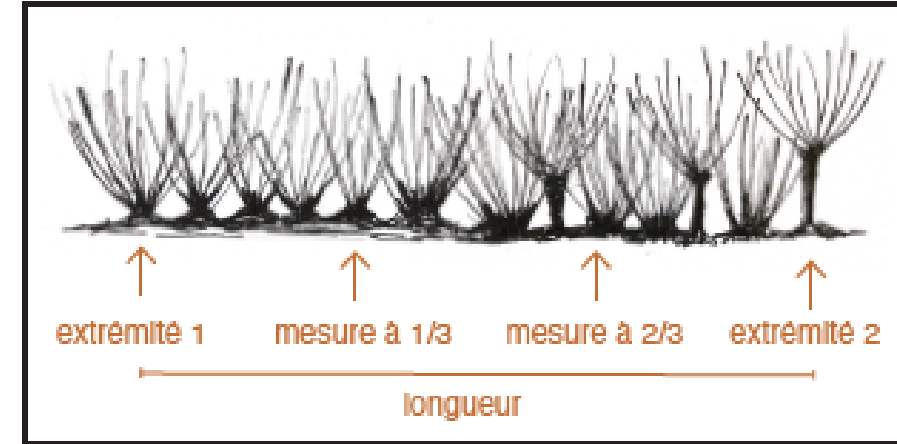
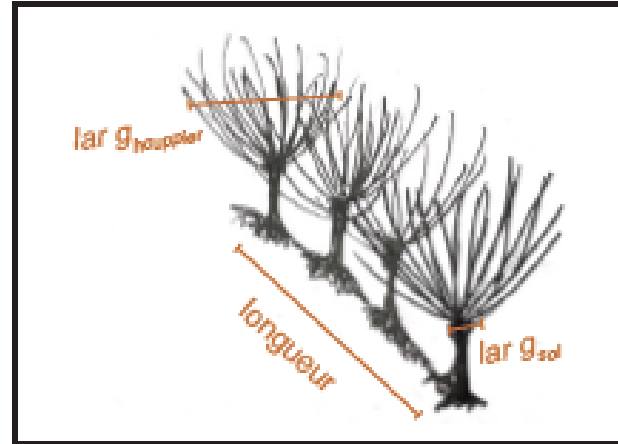
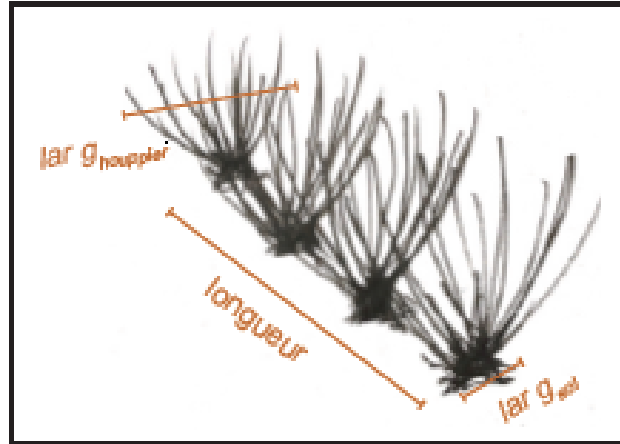


$$m_{humide} = 10,04251 \times larg_{sol} + 0,06809 \times longueur + 0,82625 \times larg_{houppier}$$

Résultats :  
Modèles de cubage

P value	R <sup>2</sup>
0.0001218	0,4749

P value	R <sup>2</sup>
4.326e-07	0,5087



## Résultats : Modèles de cubage

**Longueur de la haie (*longueur*)** → mesure de la distance aux sections extrêmes de la haie, à l'aplomb des houppiers.

**Largeur moyenne au sol de la cépée ou de la tête du têtard (*lar g<sub>sol</sub>*)** → mesure de la largeur la plus grande de la base de la cépée ou de la tête du têtard qui représentent la zone d'implantation des brins.

**Largeur moyenne du houppier de la haie (*lar g<sub>houppier</sub>*)** → Placer un jalon sur le plan de projection de la partie la plus large du houppier étudié, et mesurer à partir du plan de projection de son extrémité opposée.

## Stock de carbone médian en tonne de CO2 par km de haie et par an

	Normandie	Pays de la Loire	Bourgogne	Haut de France
<b>Dans la biomasse aérienne exploitée des taillis d'arbustes, d'arbres et de têtards</b>	9,6	11,4	??	9,3

**Résultats :**  
**Biomasse**  
**carbone**

### Comparaison : Références Carbocage

<b>Stock de carbone médian en tonne de CO2 par km de haies et par an (en teq CO2/km/an)</b>	Région Bretagne, Normandie, Pays de la Loire
<b>Dans la biomasse aérienne exploitée des taillis</b>	11,40
<b>Dans la biomasse aérienne exploitée des arbustes</b>	0,00

## Perspectives étude biomasse-carbone sur méthodologies de cubage et référentiels

**Communication, formation avec la méthode de cubage simplifiés « taillis » construite dans projet Resp'haies-ADEME pour les valorisations actuelles :**

- Restituer largement les résultats
- Mettre en place des journées d'échanges et de formation
- Transfert méthode

**Consolidation modèle de cubage simplifié des taillis et établissement d'un tarif sur les arbres de hauts jets :**

- Acquérir de nouvelles données exhaustives de comparaison cubages / chantiers
- Voir si possible de simplifier la vérification données chantiers
- Faire un travail similaire sur les arbres de hauts jets
- Perte de biomasse / haies dégradées

**Référentiel France biomasse – production et accroissement :**

- Échantillonnage - localisation
- Mobilisation des acteurs – capacité d'organisation
- Phasage
- Niveau de précision référentiel produit

**Outillages des opérateurs et capitalisation des données:**

- Collecte de la données biomasse à différentes échelles de production fines (mesures maîtrisées) et générales (données chantier agriculteurs)
- Hébergement, accès base de données
- Création application calcul automatique

## PARTIE 3



### 3 - Evaluation du potentiel de stockage additionnel dans les sols

**Pilote** : INRAE UMR SAS

Valérie VIAUD  
Lucas LESAIN  
Appui technique : Sylvain Busnot



## Objectifs spécifiques de la tâche



- **Acquérir des références** : premier référentiel d'accroissement du stockage de carbone dans les sols dans différentes situations régionales
  - Définir une stratégie d'échantillonnage des sols dans les sites
  - Acquérir les données : échantillonner les sols, réaliser les mesures sur les sols, caractériser les situations (haies, parcelle)
  - Calculer le stockage additionnel de carbone au regard des caractéristiques des haies et des propriétés des sites
- **Proposer une simplification de l'évaluation** du stockage additionnel de carbone dans les sols dans une perspective d'évaluation à plus grande échelle

## Sites retenus

- **3 régions sur les 4** : Normandie, Bourgogne (Nièvre et Yonne), Hauts de France (Aisne et Nord)



- **Critère de sélection des sites de la tâche 4 :**
  - Pas de situation de forte érosion
  - Haies anciennes
  - Absences d'artéfacts pouvant impactés le stockage de C dans les parcelles (vergers, ancien chemin,...)



## Sites retenus

Région	Nombre de haies étudiées	Type de haies principaux	Nombre de parcelles échantillonnées	Occupation du sol dans les parcelles	Nombre d'échantillons de sol
Normandie (Orne)	8	Cépées d'arbres et d'arbustes	16	6 prairies permanentes, 5 rotations prairies-cultures, 5 rotations de cultures annuelles	246
Bourgogne (Nièvre et Yonne)	7	Hauts-jets, cépées d'arbres et d'arbustes	14	8 prairies permanentes, 4 rotations prairies-cultures, 3 rotations de cultures annuelles	212
Hauts de France (Aisne et Nord)	8	Alignements de têtards, futaies irrégulières	15	11 prairies permanentes, 2 rotations prairies-cultures, 1 rotation de cultures annuelles	187

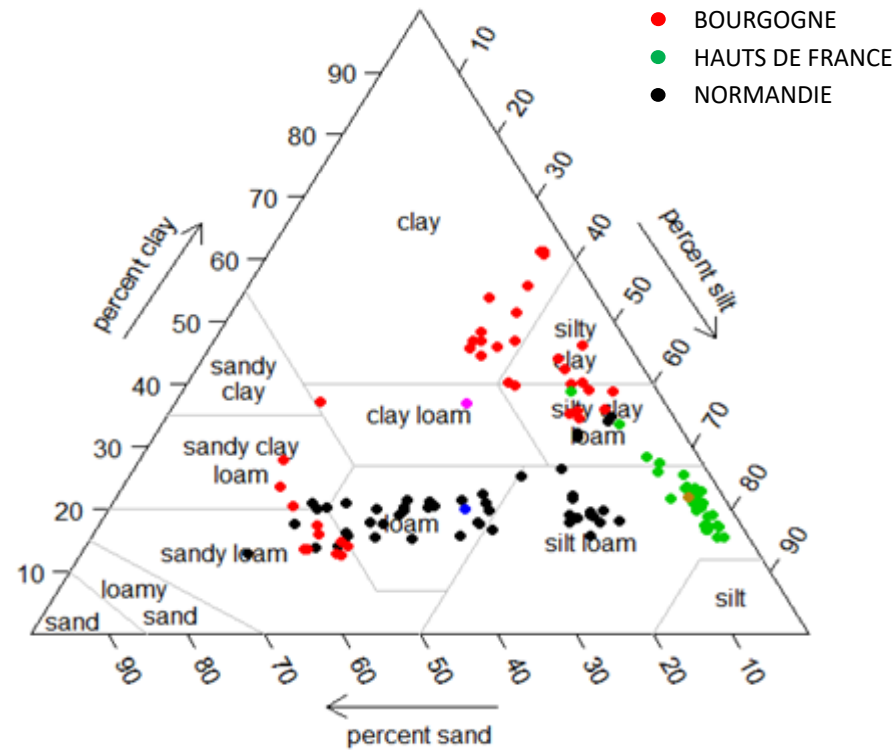
⇒ Diversité de haies mais pas de redondances des types entre les régions

⇒ Systèmes de culture assez homogènes, associés à l'élevage

⇒ Diversité de sols : types pédologiques similaires, gradient de texture des sols important

## Sites retenus

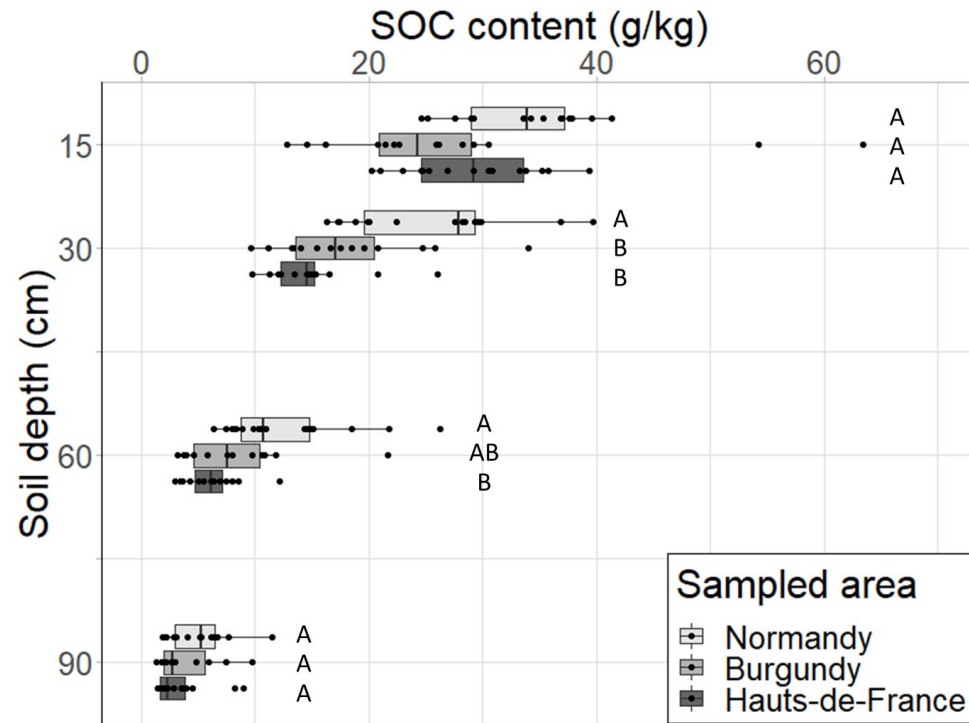
Positionnement des points d'échantillonnage pour l'estimation du stockage de C dans les sols sur le triangle des textures de l'USDA (United States Department of Agriculture / département d'agriculture des Etats-Unis).



Clay = argile, sandy clay = argile sableux, sandy clay loam = limon argilo-sableux, sandy loam = limon sableux, loamy sand = sable limoneux, sand=sable, clay loam = limon argileux, loam= limon, silty clay = argile limoneuse, silty clay loam = limon argileux fin, silt loam = limon fin, silt = limon très fin.

## Sites retenus

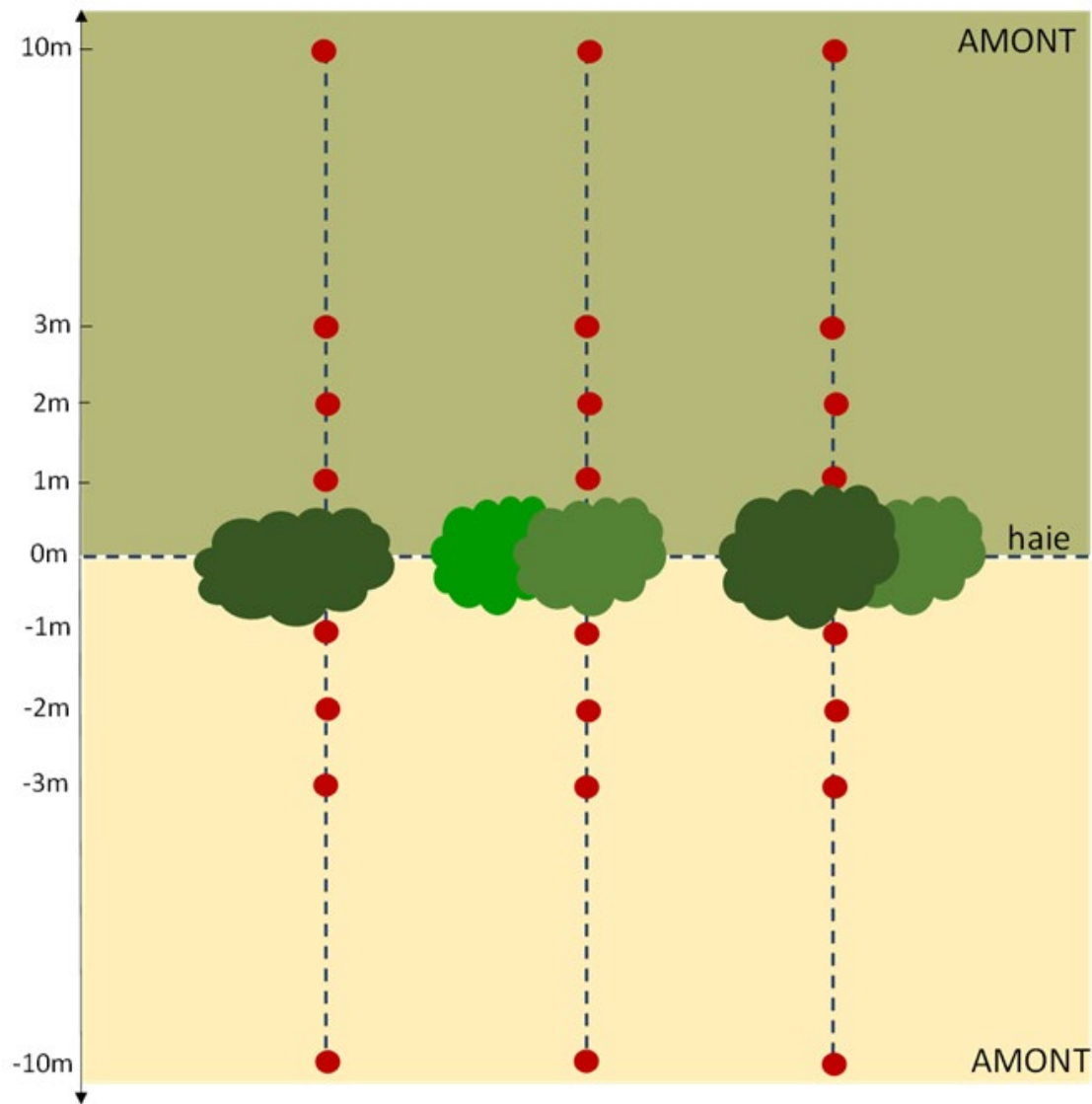
Variabilité des teneurs et stocks de C de référence dans les régions échantillonnées



Moyenne des stocks sur 0-90 cm :

- Hauts-de-France : 138.3 Mg/ha
- Bourgogne : 143.7 Mg/ha
- Normandie : 184.1 Mg/ha


## Stratégie d'échantillonnage sur chaque site



4 profondeurs par point :

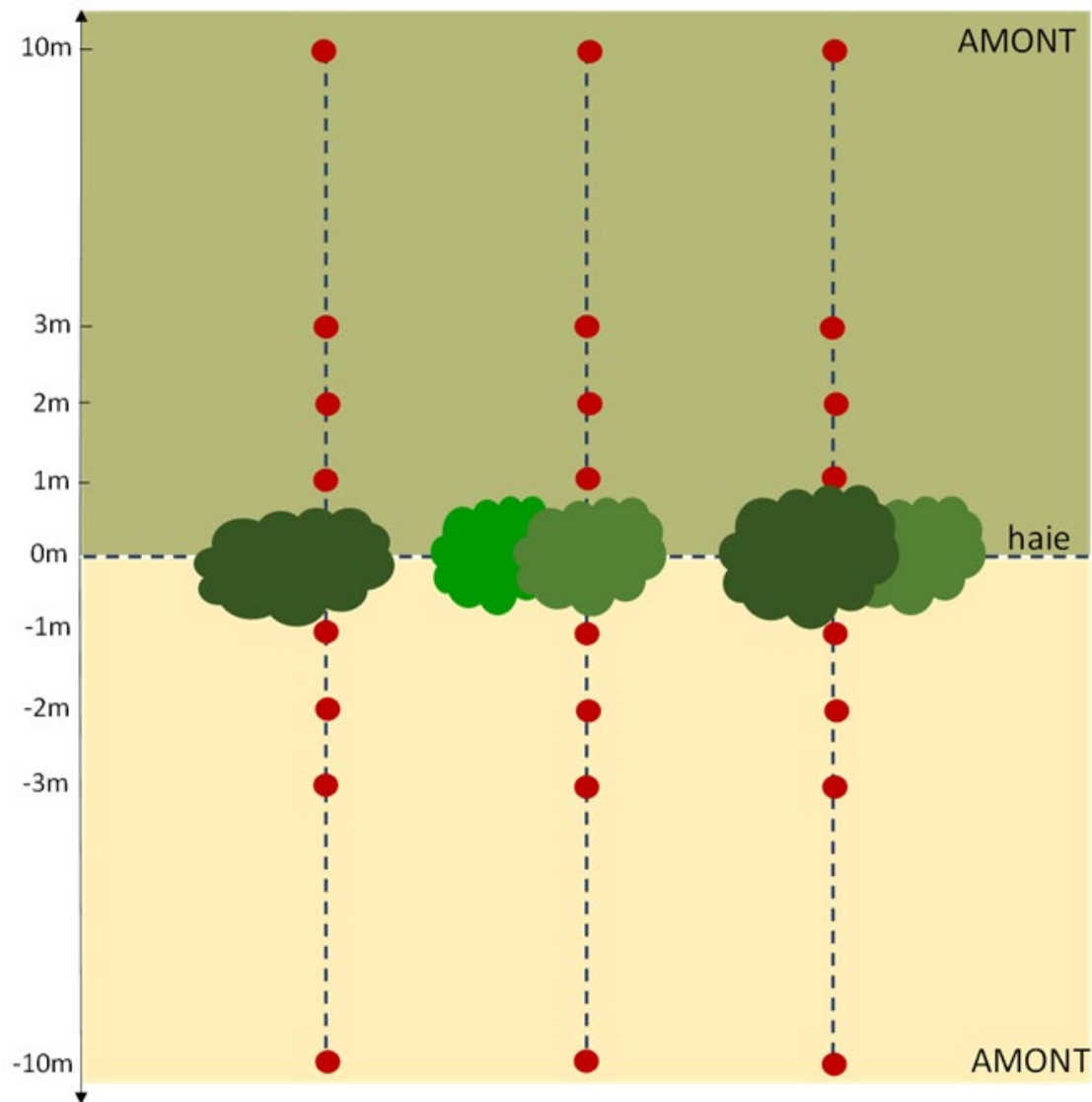
- 0-15 cm
- 15- 30 cm
- 30-60cm
- 60-90 cm

Da      Teneur en C





## Stratégie d'échantillonnage sur chaque site



4 profondeurs par point :

- 0-15 cm
- 15- 30 cm
- 30-60cm
- 60-90 cm

Da

Teneur en C





## Analyse des sols

Analyses	Nombre d'échantillons		
	Normandie	Bourgogne	Hauts-de-France
Teneurs en calcaires, C organique et N total	246	212	187
Granulométrie 5 fractions	246	212	187
Densité apparente	381	346	322

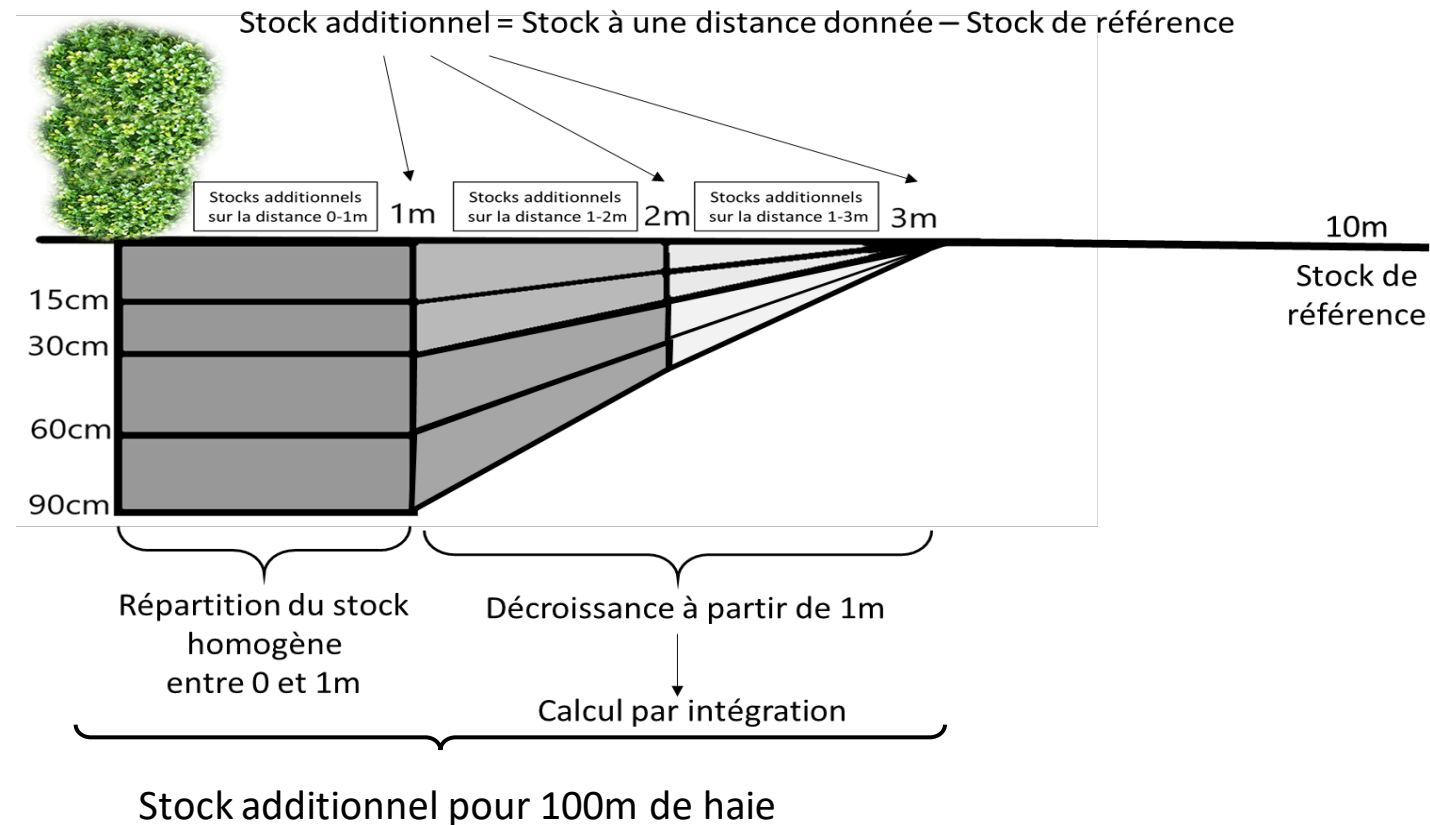


## Calcul des stocks additionnels de C dus aux haies

- Stocks de C en chaque point

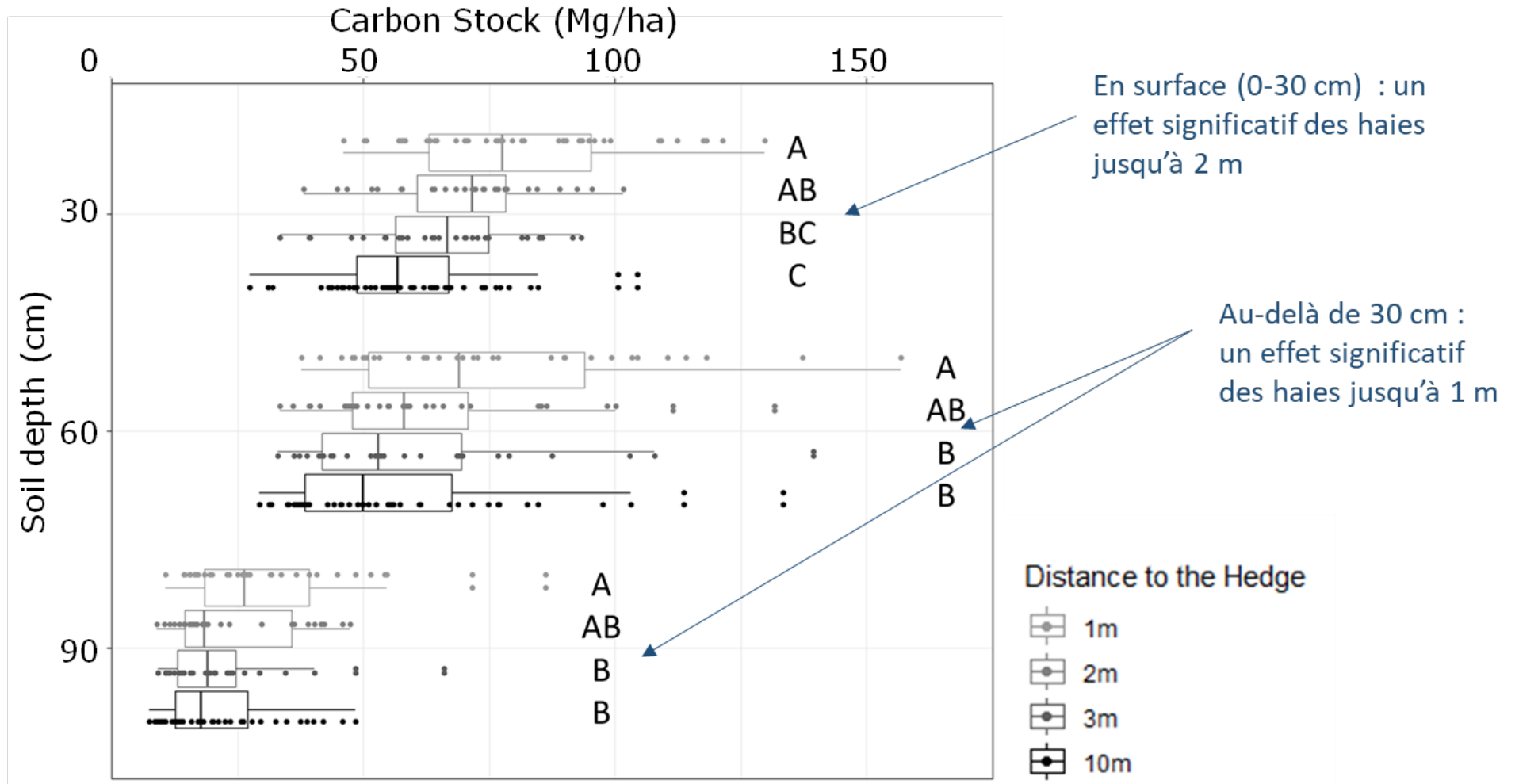
$$S_d^Z = \text{teneur en C} * DA * \text{épaisseur} \left(1 - \frac{\text{Volume}_{EG}}{100}\right) / 10$$

- Stocks additionnels par rapport à un stock de référence



# Résultats

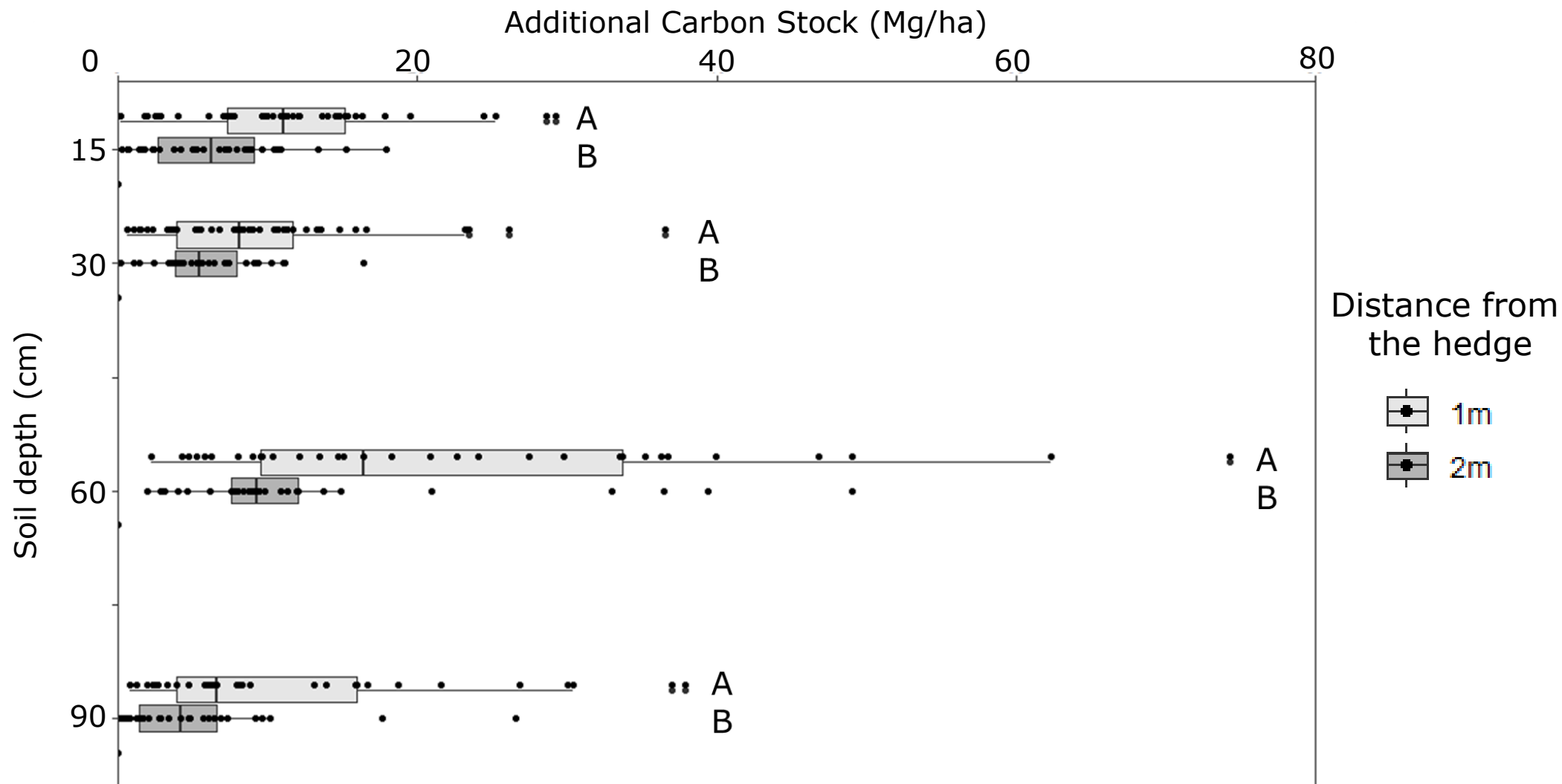
Confirmation de l'augmentation des teneurs et stocks de C à proximité des haies, au regard de la situation de référence en milieu de parcelle





# Résultats

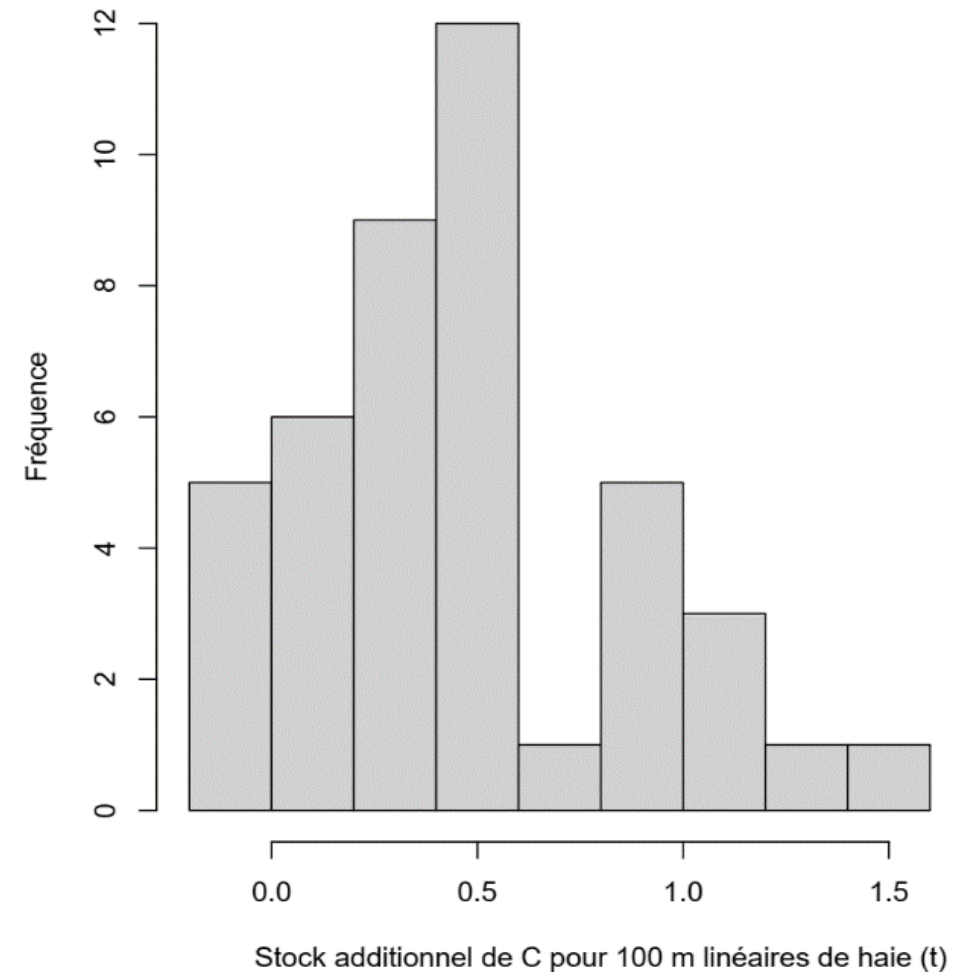
Estimation des stocks additionnels de C à 1 et 2 m de la haie



## Résultats

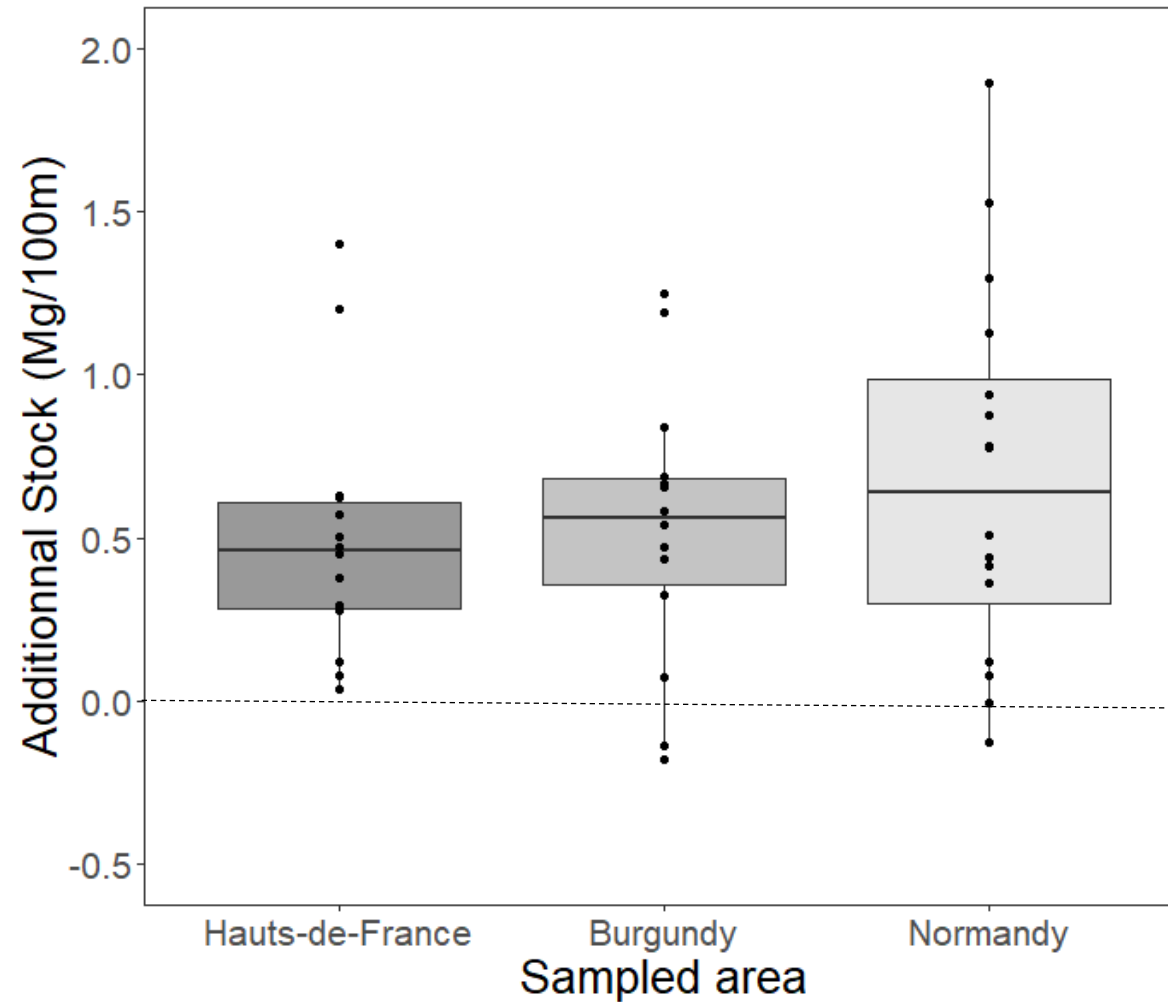
Confirmation de l'augmentation des teneurs et stocks de C à proximité des haies, au regard de la situation de référence en milieu de parcelle

**Le stockage additionnel total présente une forte variabilité sur l'échantillonnage**  
(Figure 2.6) : en moyenne de 0,58 tC pour 100 m linéaires de haies, avec un intervalle de confiance à 95% de [0,44 – 0,74] tC pour 100 m.



## Résultats

Confirmation de l'augmentation des teneurs et stocks de C à proximité des haies, au regard de la situation de référence en milieu de parcelle



## Résultats

**Confirmation de l'augmentation des teneurs et stocks de C à proximité des haies, au regard de la situation de référence en milieu de parcelle**

Stocks additionnels pour 100m/Stock reference pour 1ha			Stocks additionnels pour 100m / Stock de reference dans la bande affectée par la haie		
Bourgogne	Hauts de France	Normandie	Bourgogne	Hauts de France	Normandie
0.44 % ± 0.39	0.45 % ± 0.36	0.43 % ± 0.35	15 % ± 13	15 % ± 12	14 % ± 12

## Tests d'allègement de la méthodologie

3 modalités de simplification du protocole testées

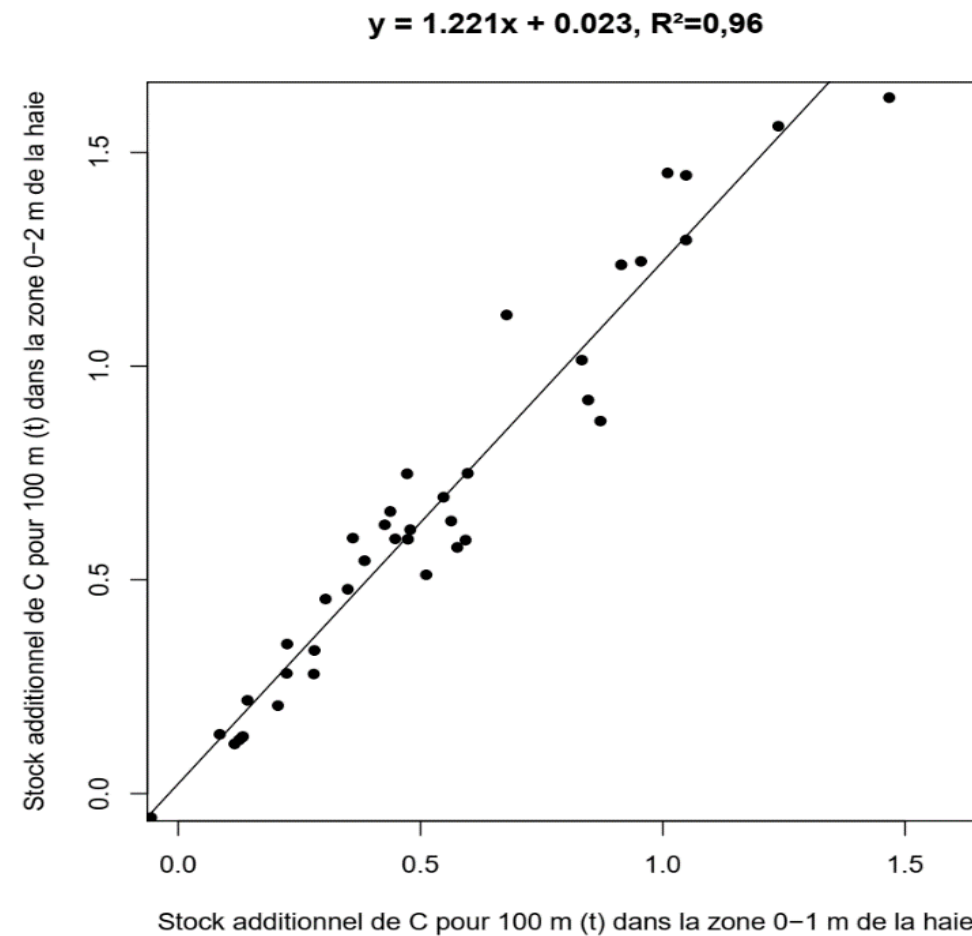
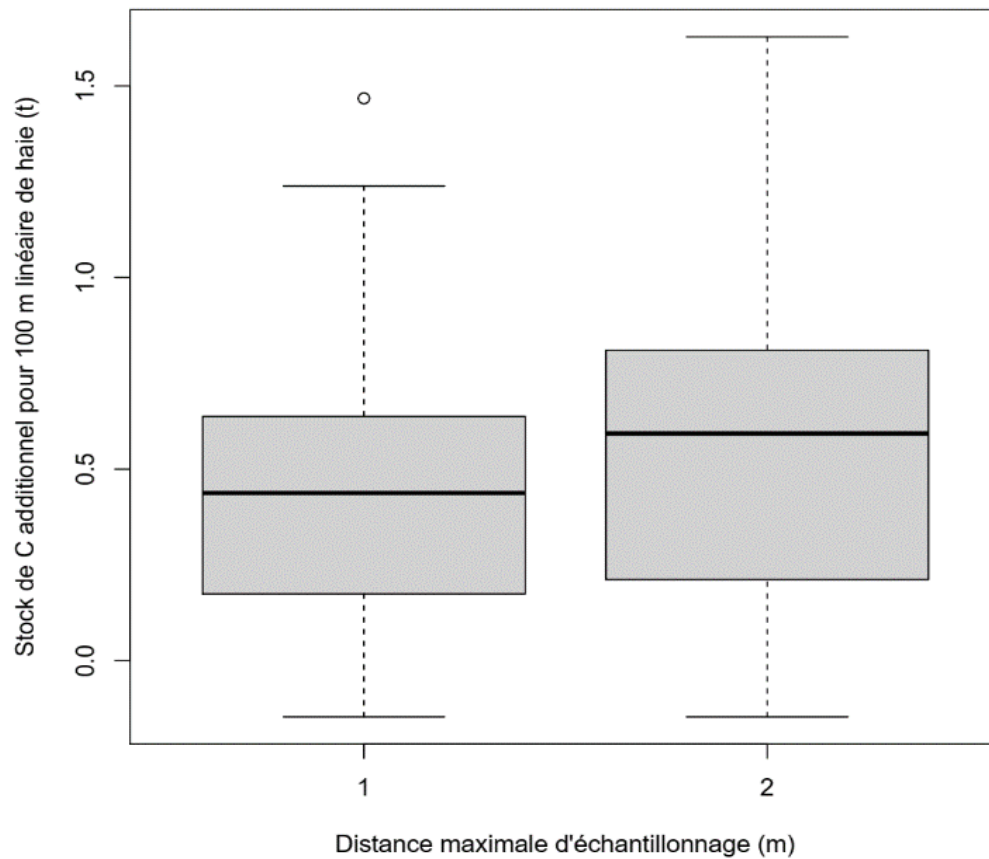
1. **Limitation de l'échantillonnage à 2 distances de la haie** : 1 m et 10 m (point de référence)
2. **Limitation de l'échantillonnage à l'horizon de surface** (0-30 cm)
3. **Limitation de l'échantillonnage aux prélèvements à la tarière hélicoïdale et une estimation de la densité apparente par des modèles**
  - 3 fonctions de pédotransfert

	Référence	Forme de la fonction	Description des variables
Méthode 1	Cousin et al. (2018)	$DA = 1,437 + 7,9 \cdot 10^{-3} \cdot clay + 3,881 \cdot 10^{-3} \cdot sand - 4,494 \cdot 10^{-4} \cdot clay^2 + 1,991 \cdot 10^{-5} \cdot sand^2 - 8,799 \cdot 10^{-4} \cdot silt \cdot MO - 1,211 \cdot 10^{-3} \cdot sand \cdot MO.$	<i>clay</i> teneur en argiles (%), <i>silt</i> teneur en limons (%), <i>sand</i> teneur en sables (%), <i>MO</i> teneur en matière organique (%)
Méthode 2	Manrique et Jones (1991)	$DA = 1,660 - 0,308 \cdot \sqrt{C}$	<i>C</i> teneur en carbone organique (%)
Méthode 3	Alexander (1980)	$DA = 1,660 - 0,318 \cdot \sqrt{C}$	<i>C</i> teneur en carbone organique (%)

- une modélisation statistique de la densité apparente par un modèle GBM (Martin et al., 2009) ajusté à partir des données disponibles sur les sites d'étude.

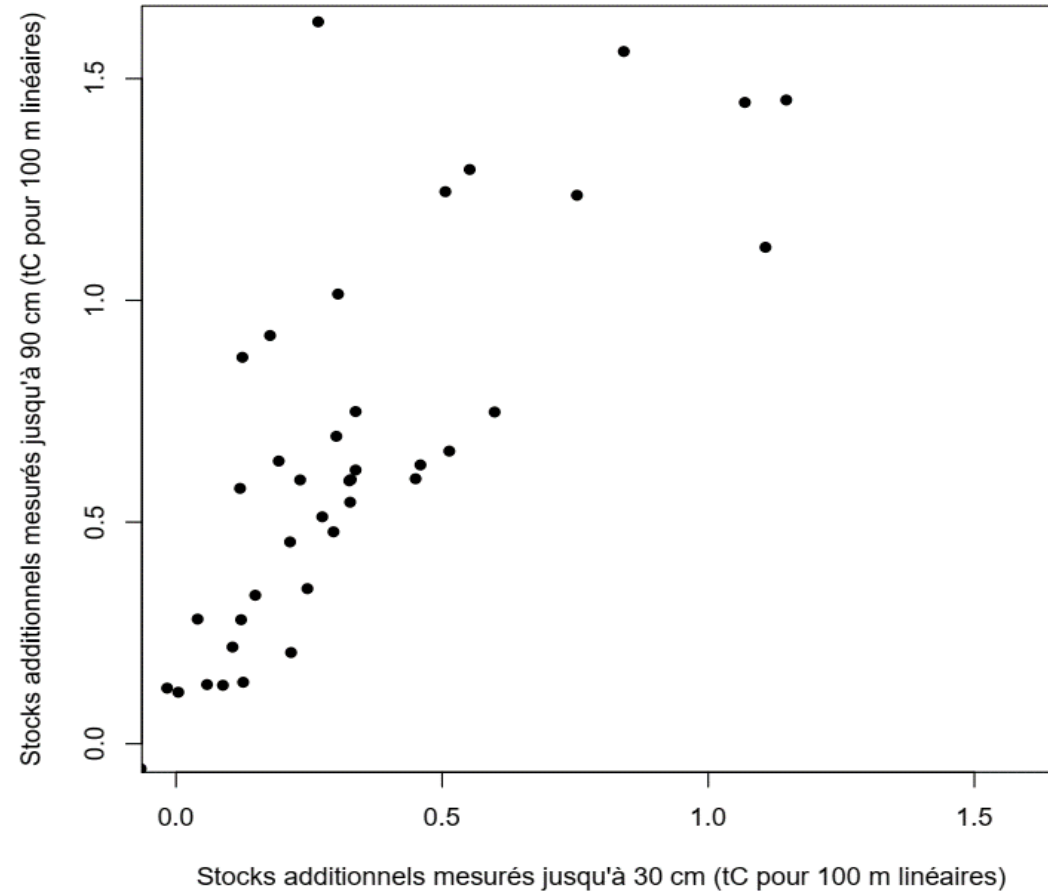
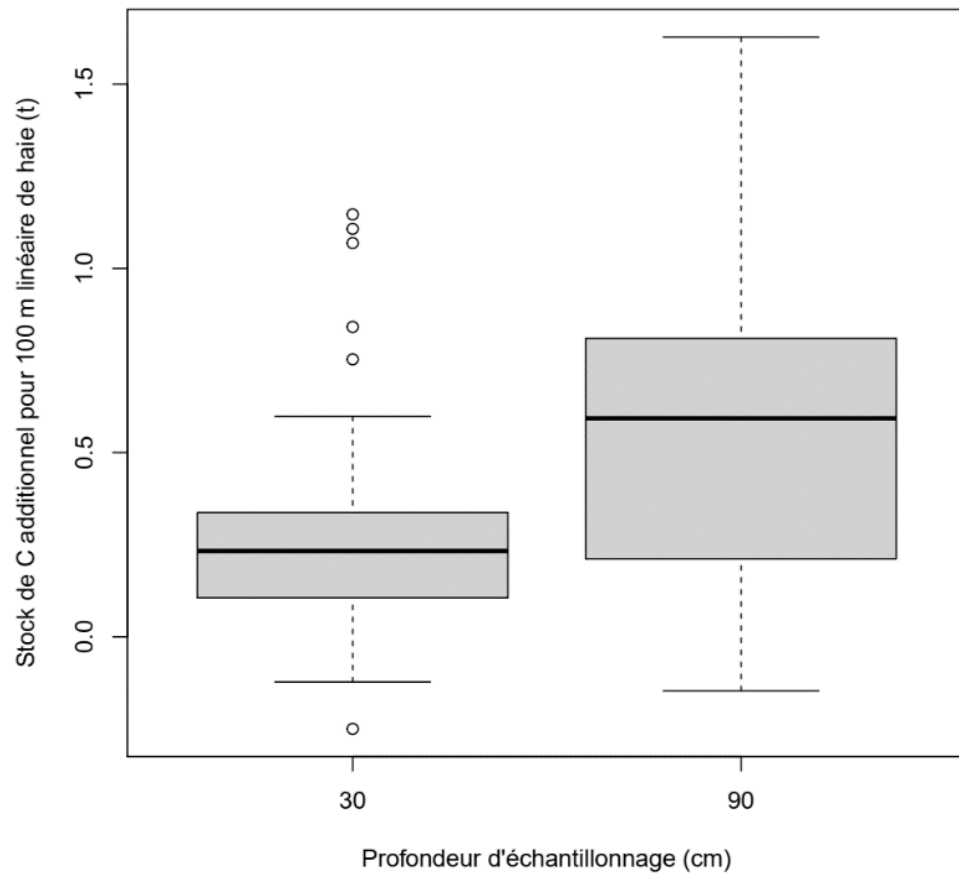
# Effets de la simplification sur l'estimation du stockage additionnel

Limitation de l'échantillonnage à 1 et 10 m



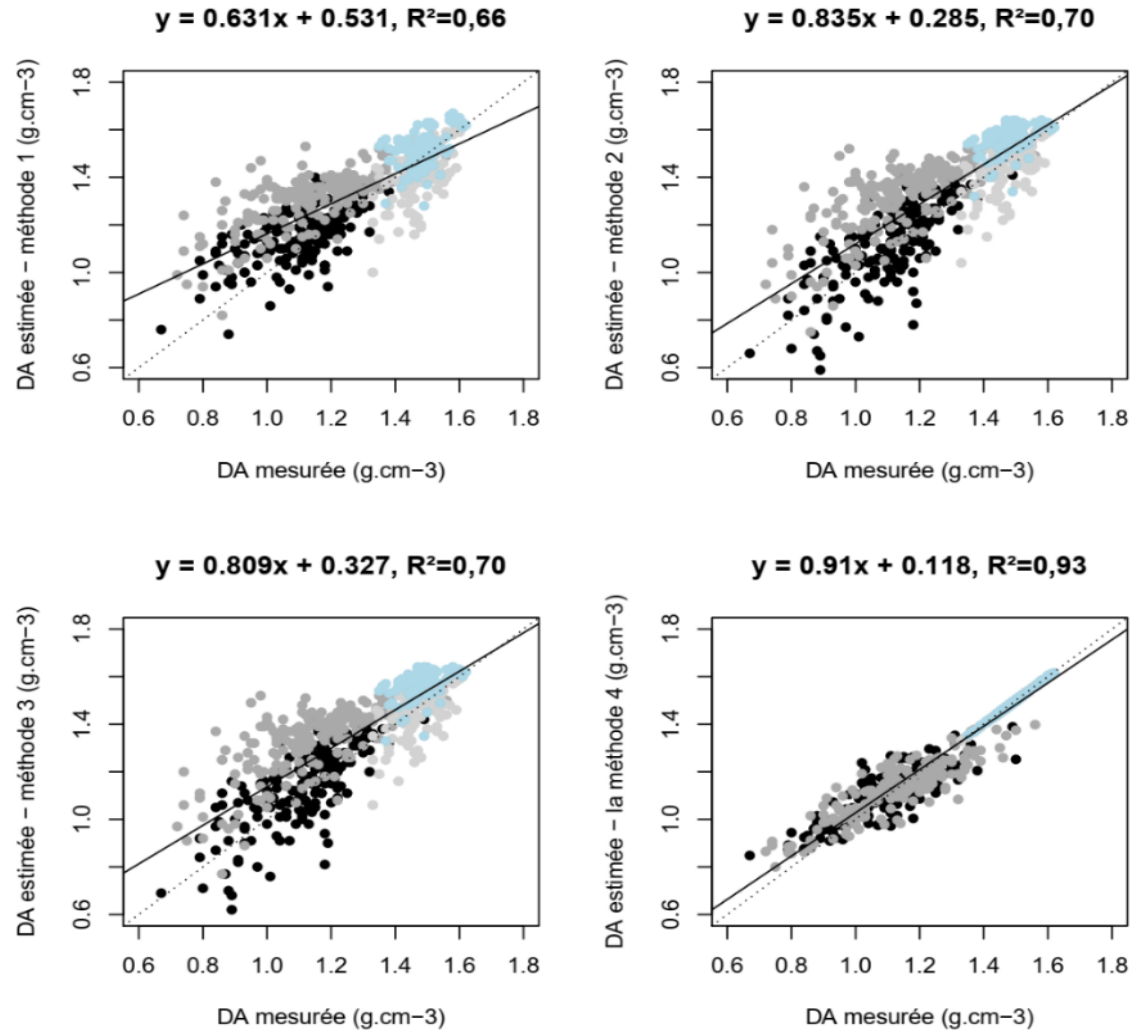
# Effets de la simplification sur l'estimation du stockage additionnel

Limitation de l'échantillonnage à 30 cm de profondeur



# Effets de la simplification sur l'estimation du stockage additionnel

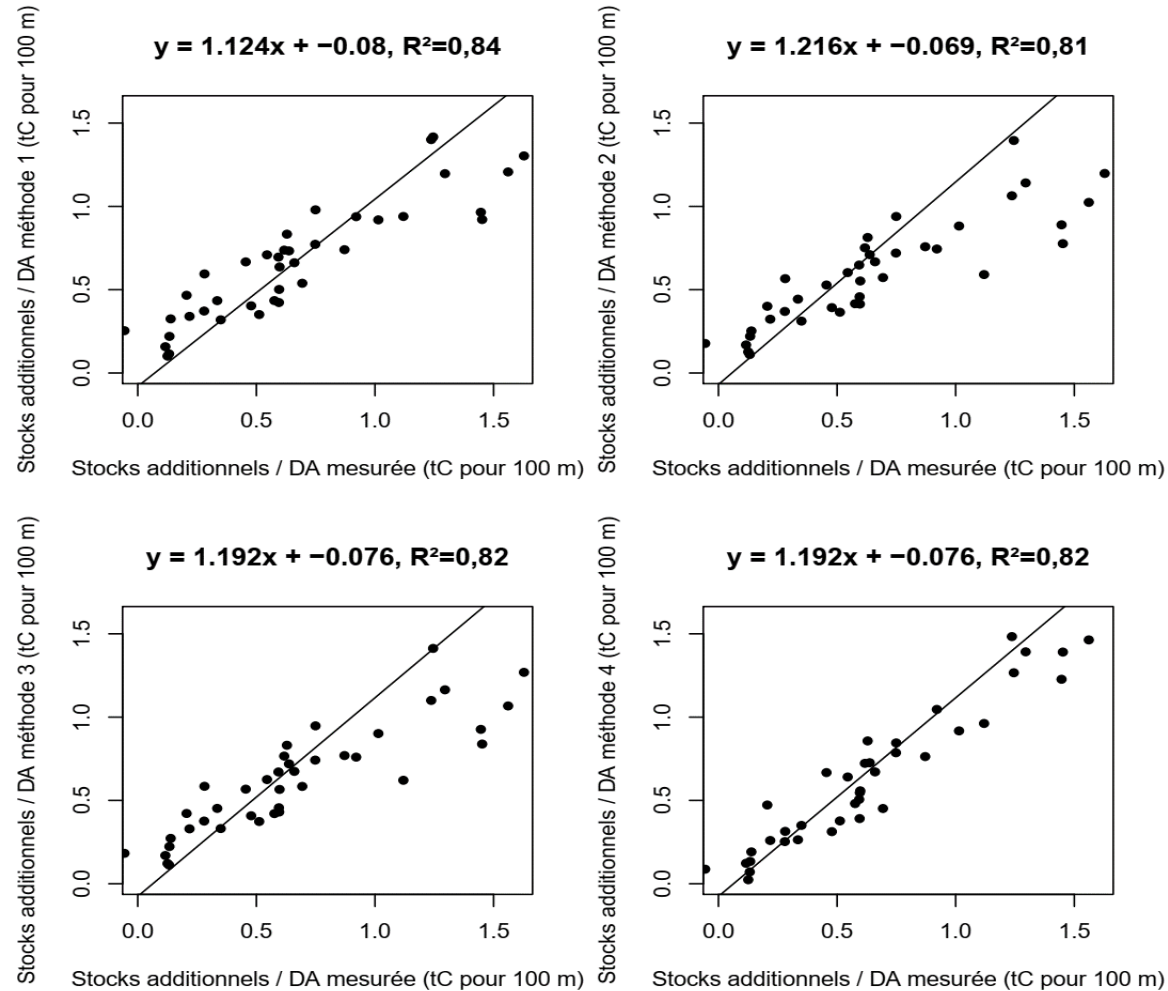
Estimation de la densité apparente par des modèles





# Effets de la simplification sur l'estimation du stockage additionnel

Estimation de la densité apparente par des modèles



## Effets sur les coûts

		Protocole complet	Limitation à 1 et 10 m	Limitation à 30 cm	Pas de mesure de la densité apparente
Caractéristiques de l'échantillonnage	Points d'échantillonnage	24	12	24	24
	Profondeurs prospectées à la tarière hélicoïdale	4	4	2	4
	Profondeurs prospectées à la tarière à mas racinaire	2	2	2	0
	Nombre d'échantillons de sols composite	96	48	48	96
	Nombre d'échantillons de sols non-remaniés	48	24	48	0
Temps de travail pour le prélèvement et traitement des échantillons (personne.jour)	Temps total prélèvement terrain	1,3	0,7	0,6	0,75
	Temps de préparation des échantillons composites pour analyse <sup>a</sup>	4,6	2,3	2,3	4,6
	Temps de traitement des échantillons non remaniés <sup>b</sup>	5,1	2,5	5,1	0
	Temps total de prélèvement et traitement	9,7	4,8	7,4	4,6
Coût des analyses chimiques des sols (€)	Prise en charge et broyage des sols	1239	619	619	1239
	Teneurs en CaCO <sub>3</sub> , C et N total	1250	624	624	1250
	Granulométrie 5 fractions	1632	816	816	1632
	Coût total des analyses chimiques	4121	2059	2059	4121

## Conclusion



Echantillonnage dans des zones de polyculture-élevage

Confirmation d'un stockage additionnel de C en présence de haie

Stockage additionnel très variable en fonction des situations locales

Importance d'une mesure des stocks de référence localement



Une simplification du protocole est envisageable:

Limitation à deux distances de la haie sur 90cm de profondeur:

- Un point à proximité de la haie (1m)
- Un point à distance servant de référence



Possibilité d'utiliser des fonctions de pédotransfert pour s'affranchir des mesures de densités apparentes:



Donne une bonne estimation de la moyenne des stocks additionnels à l'échelle globale mais introduit un biais dans l'estimation des stocks au niveau local

## PARTIE 4

### 4- Caractérisation pédoclimatique des sites étudiés

**Pilote** : SOLAGRO (traitement des données pédologiques et météorologiques)

Frédéric Coulon



## Objectifs spécifiques de la tâche

- Resituer les données issues des chantiers de mesures de biomasse dans leur contexte pédoclimatique local
- Contextualiser et analyser les mesures d'accroissement obtenues dans des territoires différents au regard du contexte pédoclimatique

### Préalables – Limites concernant l'échantillon étudié

- Chantiers de mesure portent sur des haies qui font l'objet d'une valorisation économique par les agriculteurs, donc pouvant être considérées comme assez productives ;
- Types de haies (ou niveau de productivité) pouvant être non représentative de leur territoire
- Panel de haies non structuré pour être représentatif des sols/climats rencontrés sur les territoires



## Approche méthodologique

Production de biomasse bocagère est sous l'influence de très multiples facteurs pédologiques, climatique, stationnels...

→ Simplification méthodologique :

- La disponibilité en eau est un facteur déterminant de la croissance végétale.
  - Evaluer la capacité du sol à satisfaire les besoins hydriques des plantes

Méthode du **bilan hydrique** :

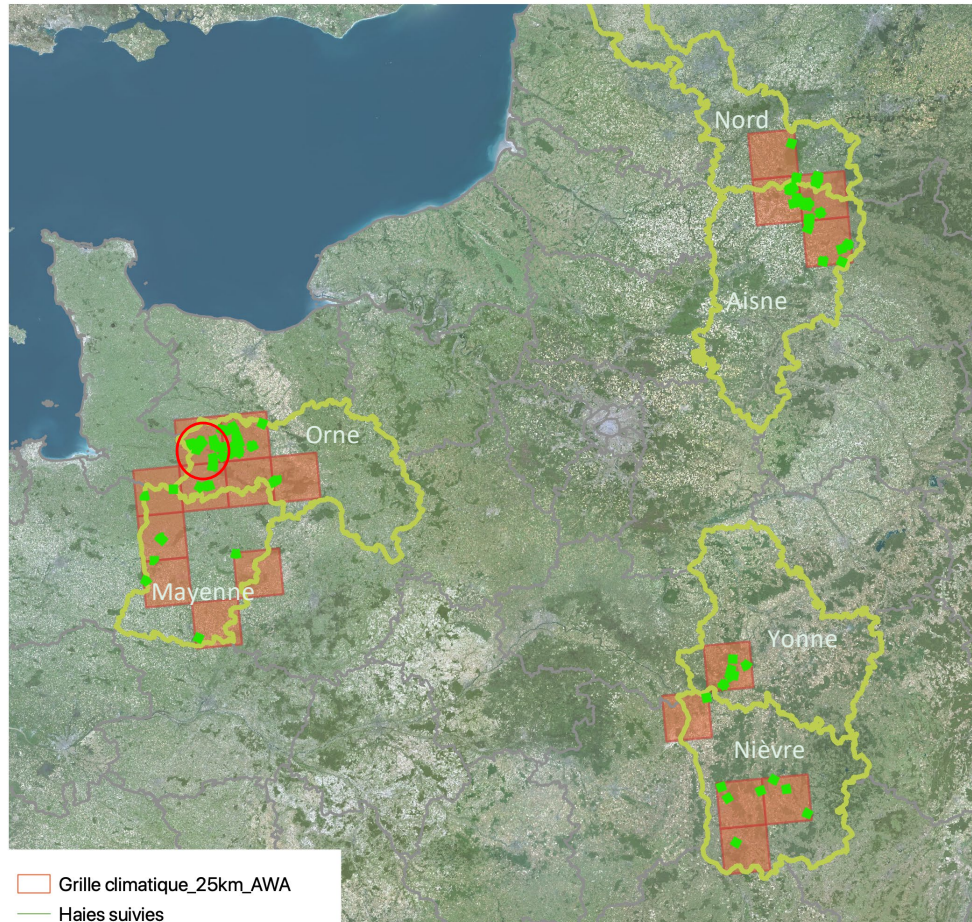
- Variation du stock d'eau dans le sol :  $\Delta S = P - ETP$ 
  - P : précipitation.
  - ETP : évapotranspiration

→ Suivre l'évolution de la réserve en eau du sol au cours de l'année



## Données climatiques

Source : données Météo-France / Programme Agri4cast - grille AWA (25 km x 25 km)

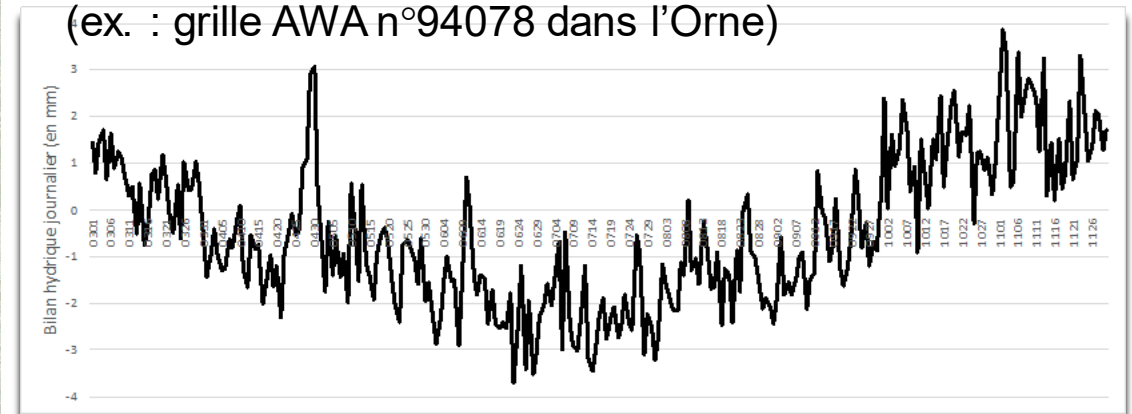


Territoire	Nombre de haies	Nombre de grilles climatiques AWA
Normandie (61)	37	5
Pays-de-Loire (53)	9	5
Hauts-de-France (02-59)	35	4
Bourgogne (58-89)	16	5
<b>Total</b>	<b>97</b>	<b>19</b>

Pour chaque grille, on estime du bilan hydrique journalière sur la période 2001-2020.

### Bilan hydrique journalier moyen – 2001-2020

(ex. : grille AWA n°94078 dans l'Orne)



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

# Données sols : Référentiels Régionaux Pédologiques (RRP)

## Structuration des données sols (modèle DoneSol)

- Unité typologique de sol (UTS) : unité ayant des caractères des sols identiques et la même succession de couches (strates).  
Chaque UTS est définie par une succession de plusieurs strates.
- Unité cartographique des sols (UCS) : regroupement d'une ou plusieurs UTS qui permet une représentation cartographique à une échelle donnée.

### Réserve utile d'une strate :

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

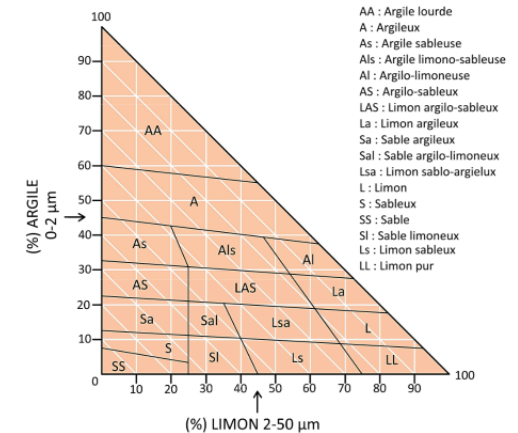
RU : Réserve utile en mm ; H : épaisseur de la strate en cm ;  
Réserve en eau (en mm/cm) ; EG : éléments grossiers (en %)

### Réserve utile à l'échelle des UTS :

$$RU_{UTS} = \sum (RU_{STRATE})$$

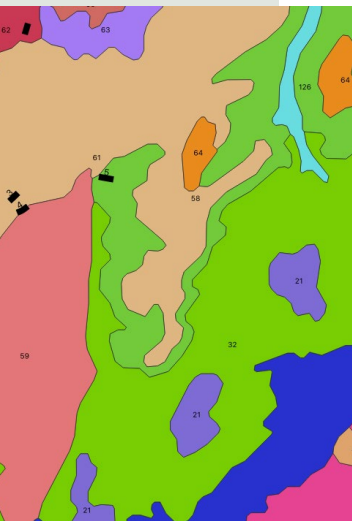
La réserve utile d'une UCS est obtenue par la somme des RU des UTS pondérée par la surface de chaque UTS dans l'UCS :

$$\text{Réserve utile de l'UCS} : RU_{UCS} = \sum (RU_{UTS(i)} \times \%_{UTS(i)})$$



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

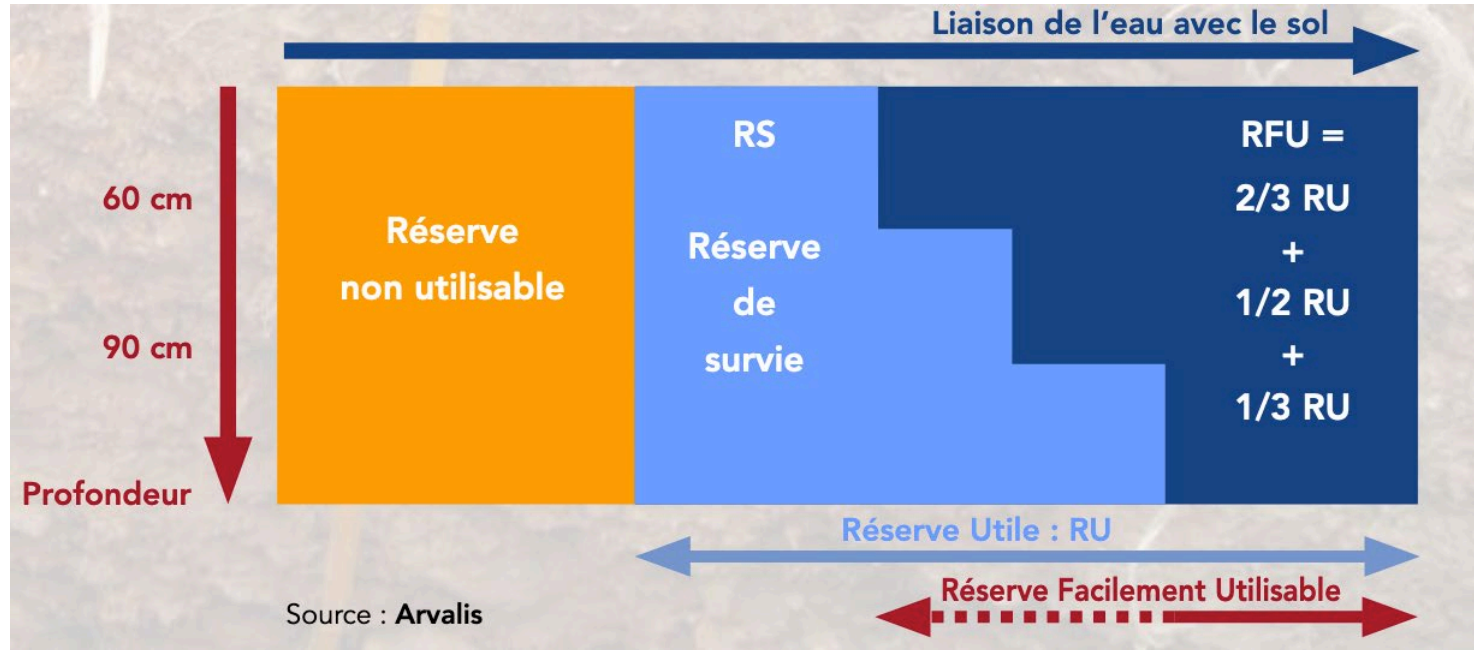
Détermination de la réserve en eau en fonction du type de strate et de sa texture  
Source : Bruand et al., 2004



Unités cartographique des sols  
(extrait du département de la Nièvre)



## Réserve utile (RU) et Réserve facilement utilisable (RFU)



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.

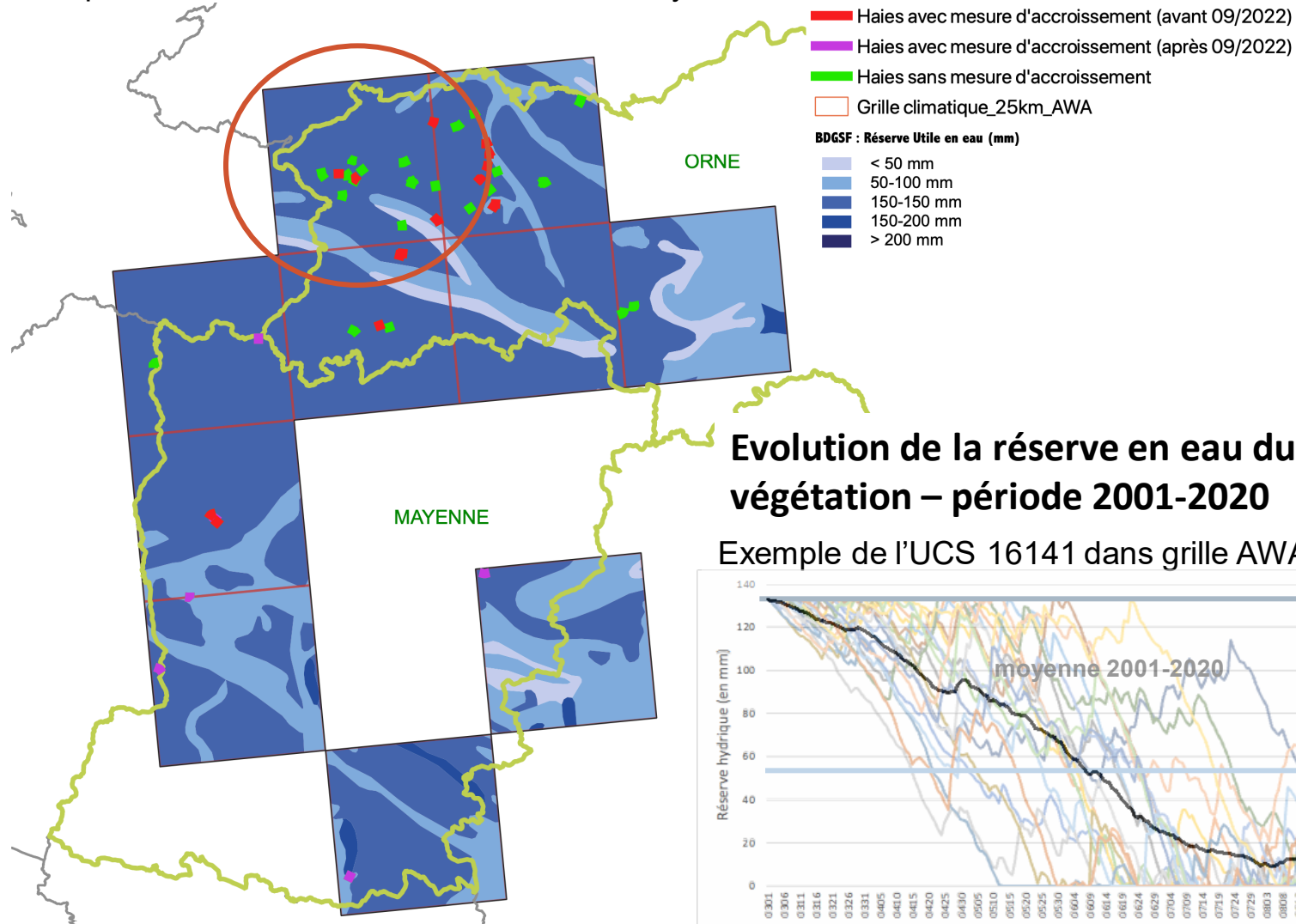
$$RFU_{UCS} = 60\% \times RU_{UCS}$$

Avec :

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

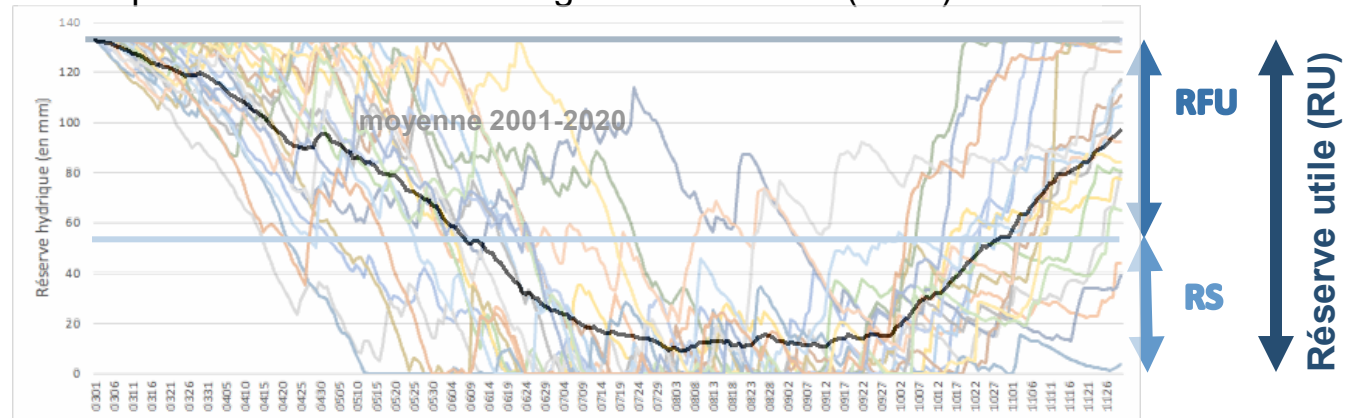
# Réserve utile des sols (RU)

Exemple des sites d'étude dans l'Orne et la Mayenne



## Evolution 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)



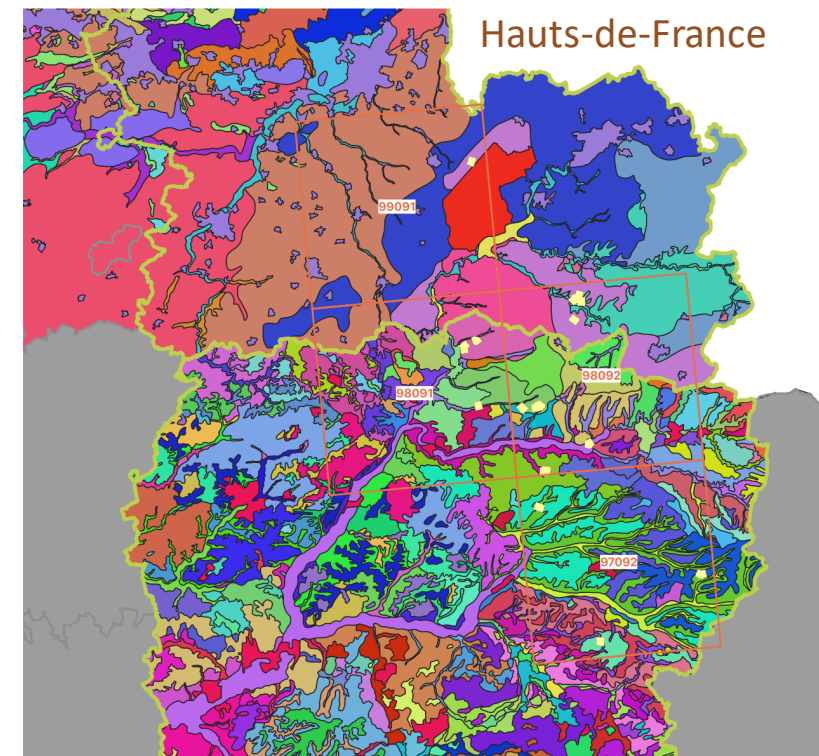
# Résultats

## Les haies de références 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 (02-59)	35	11	4	17
Bourgogne (58-89)	16	10	5	12
	<b>97</b>	<b>42</b>	<b>19</b>	<b>57</b>

## Haies avec évaluation de l'accroissement annuel

Territoire	Nombre de haies de référence	Nombre total de haies avec mesure de l'accroissement	Combinaisons UCS x AWA
Normandie (61)	37	<b>14</b>	4 x 3 ; 5 situations
Pays de la Loire (53)	9	<b>8</b>	4 x 5 ; 7 situations
Hauts-de-France (02-59)	35	<b>11</b>	3 x 2 ; 4 situations
Bourgogne (58-89)	16	0	
	<b>97</b>	<b>33</b>	<b>16 situations</b>



# Analyse des accroissements de biomasse selon l'état hydrique des sols

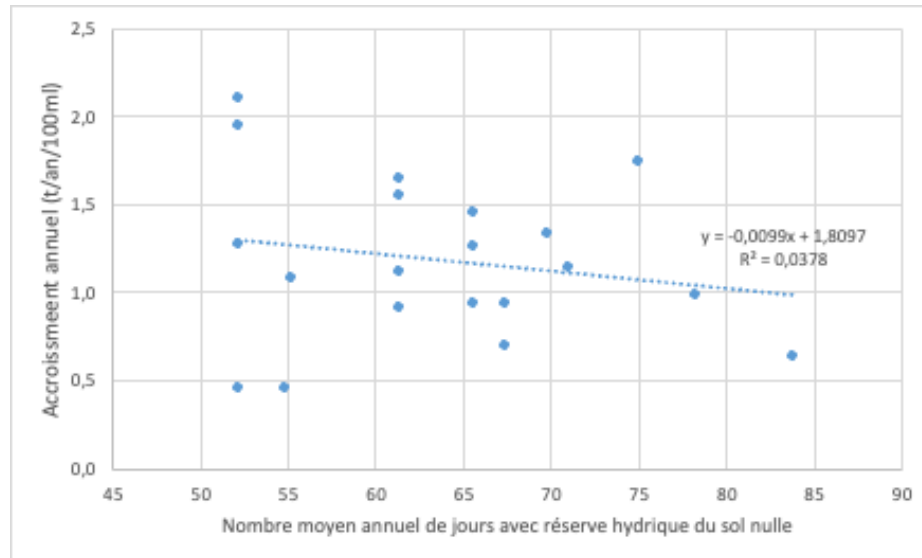
Analyse de plusieurs variables de stress hydrique selon différents états édaphiques du sol : réserve en eau inférieure à 50% de la RU, à 40% de la RU, ...

La variable « réserve hydrique nulle » réagit de manière significative.

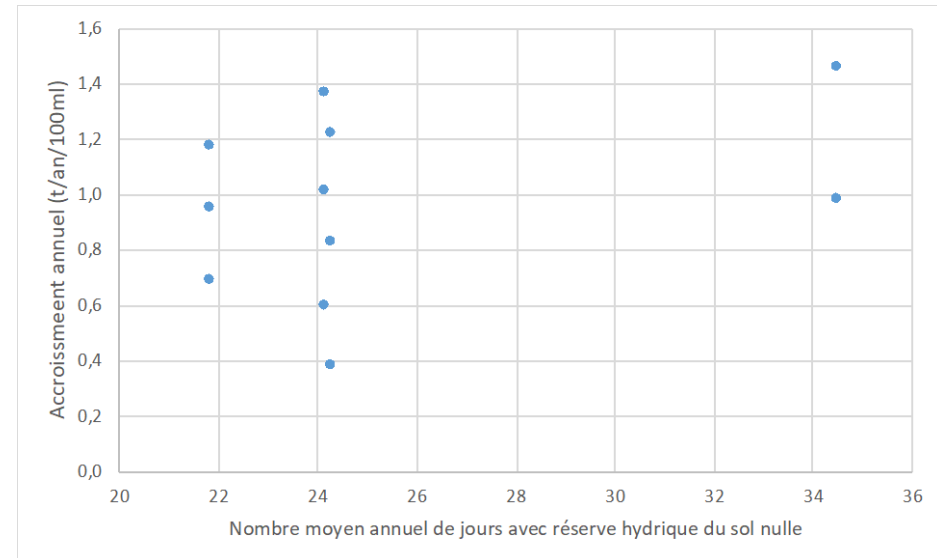
## Durée de déficit hydrique

- Nombre de jours moyen annuel avec réserve hydrique nulle

Accroissement de biomasse selon le nombre de jours avec RS=0  
(Normandie – Pays de la Loire)



Accroissement annuel unitaire selon le nombre de jours avec RS=0  
(Hauts-de-France)



→ La durée de la sécheresse extrême du sol n'explique pas à lui seul la variation de productivité des haies pour notre échantillon.

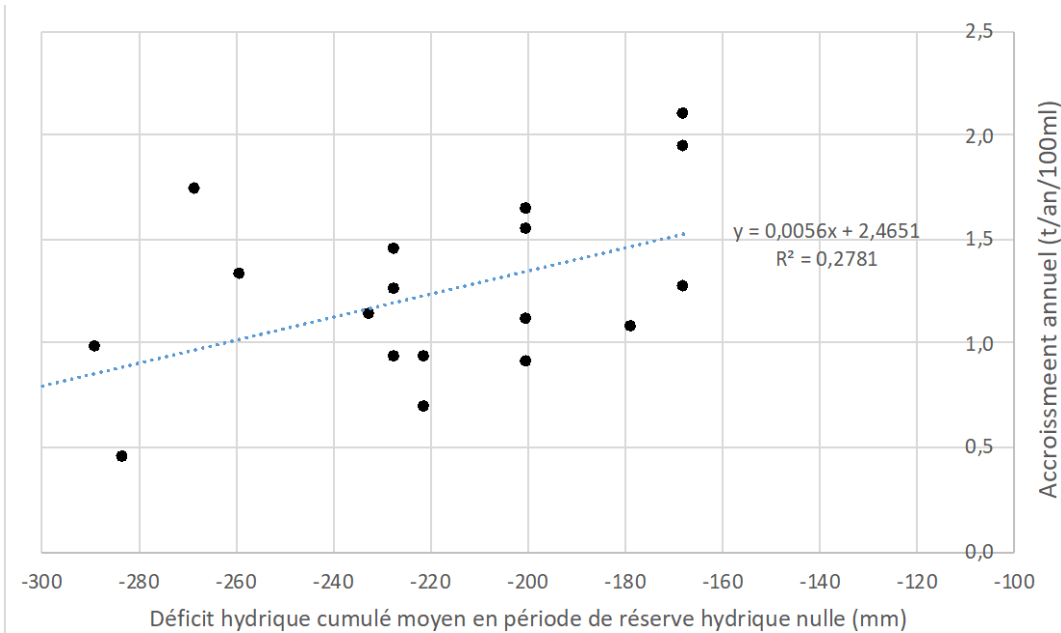
# Analyse des accroissements de biomasse selon la situation hydrique des sols

## Intensité du stress hydrique

- Déficit hydrique cumulé moyen en période de sécheresse hydrique extrême

Cumul des ETP quotidien durant les jours où le sol ne contient plus d'eau disponible pour les plantes : déficit annuel cumulé en période de stress extrême. La valeur est moyennée sur la période 2001-2020.

Accroissement annuel et intensité du déficit hydrique en période de réserve en eau nulle pour le territoire Normandie – Pays de la Loire



→ Variable faiblement corrélée à la productivité : peu déterminant pour notre échantillon.

# Conclusions

## Résultats

- Meilleure connaissance des conditions hydriques du sol sur les secteurs d'étude et du stress hydrique subit par les haies sur une période longue (20 ans).
- La durée du stress hydrique n'apparaît pas comme un facteur explicatif à lui seul.
- Résultats indiquent une faible corrélation entre l'intensité du déficit hydrique en période de sol sec et la productivité des haies, même si les sont peu robustes.

## Limites - difficultés

- Méthode volontairement simplifiée au regard de la multitude des facteurs pédologiques et climatiques qui conditionnent la croissance des ligneux
- Difficultés d'apprécier la situation édaphique en profondeur (alimentation en eau, fracturation du sous-sol, etc.) et la capacité des arbres à coloniser les horizons profonds du sol.
- Conclusions délicates en raison d'un échantillon de haies réduit : résultats peu robustes, sensibilité du panel étudié...

## Perspectives

- Acquisition de mesures supplémentaires de productivité des haies sur les territoires d'étude afin de pouvoir conclure sur l'impact des sécheresses sur la productivité.
- Faisabilité de constituer des référentiels locaux ou régionaux sur les territoires où des opérateurs de terrain sont fortement mobilisés sur la question de la biomasse bocagère.

## TRANSFERTS

## PREVUS

### Sur la globalité des résultats

- Le rapport restituant l'ensemble du travail
- Enregistrement du webinaire de présentation des résultats Resp'haies

### Pour le transfert aux acteurs utilisant le modèle :

Fiches résumés - <https://afac-agroforesteries.fr/webinaire-3/>

- Fiche présentation de l'ensemble de l'étude
- Fiche de présentation de la méthode simplifiée de cubage taillis et têtards
- Fiche de présentation méthodologie carbone simplifiée
- Fiche des données référentiels

**Application pour calcul biomasse haies** → à intégrer dans l'application agriculteur PGDH

### Les supports chiffrés :

- La base de données des haies mesurées
- Le script R des modèles