Méthodologie nationale d'étude de gisement et de mobilisation de la ressource biomasse issues de haies

Réseau Haies France – dans le cadre de l'AAP Structur'haies porté par l'ADEME

Date de mise à jour : 27 juillet 2025

Cette trame méthodologique a pour objectif de donner les grandes lignes d'une méthode pour réaliser une étude de gisement et de mobilisation de la ressource biomasse issues de haies à l'échelle du territoire, afin d'accompagner les **porteurs de projet lauréat de l'Appel à projet Structur'haies** de l'ADEME, lancé dans le cadre du Pacte en faveur de la haie.

1. Objectifs de la méthode

1.1 Objectifs d'une étude de gisement

L'étude de gisement a pour objectif d'estimer au plus juste le **volume de bois** issue des haies, **prélevable annuellement**, pour un territoire donné. Cette estimation permettra ensuite de dimensionner des aires d'approvisionnement pour l'alimentation de chaufferies, sans induire un sur-prélèvement du linéaire de haie.
A partir des résultats de cette étude, il pourra être établi des scénarios et des trajectoires de productivité et de mobilisation de biomasse des haies, sur un temps long, à partir d'une vision territoriale pour dimensionner une filière durable de la biomasse issue de haies.

1.2 Grands principes de la méthode

Pour réaliser une étude de gisement, il est nécessaire de concevoir une méthode adaptée en fonction de l'échelle du territoire concerné, des données à disposition, de la granulométrie de l'étude attendue.

La méthode proposée repose sur trois actions successives :

- **1. Estimer le linéaire total prélevable** par soustraction progressive des linéaires non prélevables car trop dégradés **;**
- **2. Calculer le volume prélevable** en affectant une référence de productivité des haies (national ou local) ajusté au cycle de gestion du territoire au linéaire total prélevable **;**

- **3. Caractériser le potentiel de volume prélevable** pour mieux préciser la difficulté ou la facilité de mobilisation du bois en fonction des types de haies, de leur localisation et leur niveau d'accessibilité.

Cette méthode se base sur des croisements statistiques cartographiques, de références nationales, de relevés de terrain. Elle peut s'adapter en fonction des données disponibles. Le relevé de terrain assure l'ajustement des données théoriques à une situation réelle pour ne pas sur-évaluer la capacité de prélèvement de la biomasse des haies.

2. Définition de la méthode statistique de relevé de terrain

2.1 Définition du périmètre

Deux approches du cadrage du périmètre peuvent être prise en compte :

- **Approche territoriale :** privilégier l'échelle Départementale plutôt que l'EPCI pour replacer la filière dans un contexte large.
- **Approche par aire d'approvisionnement :** à partir des chaufferies identifiées avec une aire de 100 km autour des chaufferies. Mais cela demande de les avoir déjà recensées et d'estimer les prochaines implantations.

Le choix du périmètre dépendra également des partenaires engagés dans le projet de filière et pourra évoluer dans le temps.

2.2 Méthodes statistiques de relevé de terrain

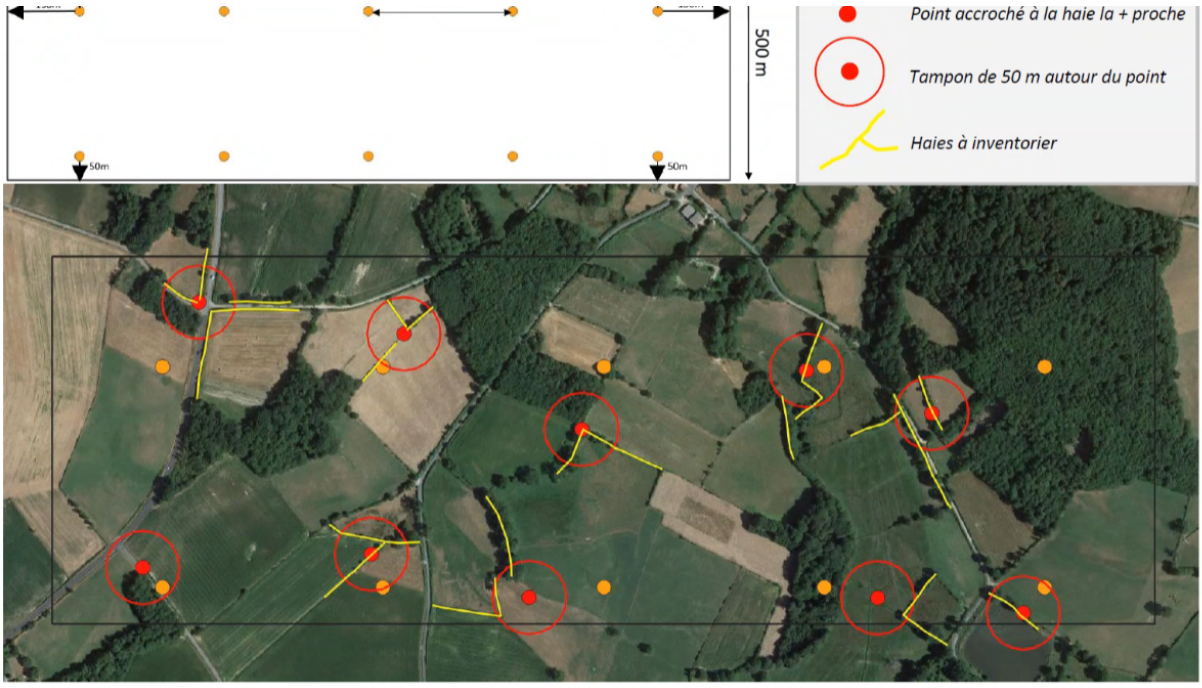
Privilégier le relevé de terrain par une méthode statistique par maillage de points à un relevé par méthode de placettes. La méthode statistique est davantage reproductible et plus solide statistiquement.

La méthode statistique (dite de Terruti-Lucas) s'appuie sur l'établissement d'un quadrillage du territoire, en répartissant les points de relevé de terrain de manière régulière en couvrant l'ensemble de la zone d'étude. L'application d'un tampon de X mètres autour de chaque point détecte toutes les haies qui y sont contactées pour les inventorier sur le terrain. Le quadrillage et l'espacement des points sont à adaptés en fonction de la taille du territoire.

Pour définir un quadrillage robuste statistiquement par rapport à la superficie du territoire étudié **une méthode de définition de ce quadrillage a été définie par Réseau Haies France en annexe 2 de cette note** (« Estimation de la Longueur Totale des Haies par Méthode Teruti-Lucas à partir d'un Échantillonnage Multi-rayons sous QGIS »). Elle est appliquée à un territoire donné, le bassin versant du Bas Léon, à valeur d'exemple.

Exemple de quadrillage du Département de la Creuse d'une superficie de 5 565 km2 et de répartition des points, établis par le CPIE des Pays Creusois.
Dans ce quadrillage :

- Chaque maille fait 1 500 m de long sur 500 m de haut ;
- Les mailles sont espacées de 6 km en abscisse et de 4,5 km en ordonnée ;
- Dans chaque maille, tracé de deux lignes de 5 points distants de 150 mètres des bords latéraux de la grille et espacés latéralement de 300 mètres.



10

Exemple de temps passé pour le relevé de terrain pour le **territoire du Bas Léon** :

- Linéaire total de haies présent sur le territoire étudié : **63 000 km de haies**
- Nombre total de points de contacts : 1 500 points
- Total linéaire concerné par le relevé de terrain : **59 km de haies**
- Temps de relevé de terrain : **1 mois** (à temps plein)

Le temps passé est essentiellement dépendant des déplacements entre les points mais peu des données relevées.

Pour gagner en efficacité sur le terrain, il est conseiller :

- d'être munis d'une paire de jumelle,
- de bien choisir la saison.

La méthode par placettes diffère de la méthode statistique dîtes Terruti lucas par sa valeur statistique. Si elle s'avère plus facile et rapide en termes de déplacements sur le terrain, **elle ne donne pas une approche exhaustive et statistiquement juste.** De plus, elle présente un biais de représentation du fait que les placettes peuvent être influencées par les pratiques d'un ou deux exploitants peu représentatifs du territoire. Elle n'est donc pas à retenir pour établir une étude de gisement robuste et fiable.
La méthode par placettes détermine des zones géographiques (dîtes placette) de relevés de terrain, en fonction des caractéristiques du paysage et du territoire pour avoir une diversité de représentation. Cette définition de l'échantillonnage des placettes demande un travail amont important. Ces placettes concentrent les points de prélèvement au même endroit. Le nombre et la surface de la placette doivent être proportionnelles au territoire étudié. Toutes les haies de la placette doivent être décrites. Cette méthode peut donner une analyse de l'évolution paysagère par entité en comparant des photos aériennes entre elles.

3. Grandes étapes de la méthode pour réaliser l'étude de gisement

3. 1. Estimer le linéaire total prélevable

Corriger les données de la BD TOPO Haie de l'IGN : La première étape consiste à partir d'un linéaire de haies total le plus précis possible et correspondant à la situation réelle du territoire. L'objectif est définir le taux d'erreur de la cartographie nationale des haies (BD TOPO Haie) pour corriger le linéaire initial d'un point de vue quantitatif.
Cette étape peut se faire uniquement par comparaison cartographique, sans relevé de terrain. Cependant, ce le relevé de terrain permettra d'avoir des données plus à jour que les millésimes de la BD Orthophoto en vérifiant les éléments cartographiés ou non cartographié à date.

Prendre en compte les facteurs d'état de la haie : L'enjeu est de pouvoir affecter un taux de dégradation aux haies afin de soustraire les linéaires de haies non prélevables du volume total. En effet, des haies très dégradées (haie avec un faible taux de recouvrement, haie taillée au carrée, haie piétinée, haie passée au lamier…) ont perdu une grande partie de leur stock de biomasse sur pied. Aussi, au-delà du potentiel de production théorique d'une haie, il est primordial de relever ce facteur pour évaluer le potentiel de prélèvement possible à l'instant T. Après un premier cycle de gestion permettant la remise en état de la haie, si elle est bien conduite en gestion durable, le potentiel de biomasse optimum pourra être pris en compte.

3.2 Calculer le volume prélevable

Estimer le cycle de gestion du territoire : L'enjeu est de pouvoir définir un cycle de gestion en fonction du contexte pédoclimatique afin d'évaluer le volume prélevable annuellement. La cartographie des cycles de gestion nationale par département produite par Réseau Haies France peut être utilisée. Il est également possible d'utiliser la méthode développée par Réseau Haies France pour la préciser sur son territoire avec les données disponibles.

Calculer le volume prélevable annuellement immédiat : L'enjeu est de calculer la biomasse sur pied et la productivité des haies en fonction du contexte pédoclimatique. Pour réaliser une étude de gisement de la biomasse issue des haies, le référentiel moyen de production de biomasse des haies établit dans le cadre du projet de recherche et développement Resp'Haies peut être utilisé. Ce référentiel national montre qu'en moyenne les haies produisent **10 tonnes humides au 100 m**. Cette production s'étale sur des pas de temps plus ou moins long en fonction du contexte pédoclimatique : 10-12 ans (très poussant), 15 ans(poussant), 20 ans (moyennement poussant) ou 30 ans (très faiblement poussant de type méditerranéens). Ce sont les cycles de gestion qui donnent les pas de temps de reconstitution complète de la biomasse après prélèvement, issue d'une gestion durable.
Cette capacité de production de biomasse des haies (10 t/100m/cycle de gestion) est théorique. En effet, plusieurs facteurs impactent cette productivité et la capacité à la mobiliser dans des délais plus ou moins longs. Il est possible d'affiner les données par type de haies en prenant en compte le tableau des cycles. Ces facteurs sont à prendre en compte dans l'établissement d'une étude de gisement pour mettre en place des scénarios de capacité de prélèvement et de mobilisation de la biomasse du territoire. Par ailleurs, des références territoriales et locales peuvent être mobilisées.

Prendre en compte les facteurs de bois déjà mobilisé : L'enjeu est de pouvoir soustraire au volume prélevable calculé le volume déjà mobilisé par l'auto-consommation, comme le bois bûche qui peut s'avérer très important dans certains territoires non forestiers, et le volume déjà mobilisé pour les filières bois énergie existantes. Il s'agit d'évaluer un taux moyen par type de débouchés à enlever du potentiel mobilisable.

3.3 Caractériser le potentiel de volume prélevable

Caractériser le potentiel de volume prélevable pour mieux préciser la difficulté ou la facilité de mobilisation du bois en fonction des types de haies, de leur localisation et leur niveau d'accessibilité.

Prendre en compte les facteurs de types de haies : L'enjeu est de pouvoir affecter un taux de facilité de prélèvement possible en fonction du type de haie. Il s'agit de classer les types de haies en deux grandes catégories : les haies comportant une majorité de hauts jets et les haies comportant une majorité de taillis ou de têtards. En effet, les haies de hauts jets mâtures sont plus difficilement prélevables au regard des enjeux biodiversité, paysagers etc... Même si quelques arbres peuvent être prélevés ponctuellement pour activer le renouvellement de la haie, la biomasse mobilisée restera très atomisée et faible ou alors mobilisée en bois d'œuvre. A l'inverse, les haies de taillis ou de têtard, constituent un stock facilement prélevable et se reconstituant plus rapidement.
Enfin, il est important de pouvoir distinguer si la haie est en port libre avec une production de bois maximale ou si elle est contrainte en gabarit avec un stock de bois sur pied amoindri (cas des territoires de haies basses ou de haies passées à l'épareuse ou le lamier). Pour ce cas, le postulat de départ sera d'avoir peu de production au démarrage avec un fort enjeu de reconstitution du stock de bois sur pied par une gestion durable.

Prendre en compte les facteurs d'interface et localisation des haies : L'enjeu est de pouvoir répartir des linéaires de haies en fonction de l'interface que borde la haie et le ou les types de gestionnaires de haies qui peut y être associé : agriculteurs, gestionnaire de bord de route, collectivités, département… En effet, en fonction du type de gestionnaire, l'action à conduire d'animation et de dispositif et d'organisation de la mobilisation de la biomasse à mettre en place seront tout à fait différents. Pour chacun des gestionnaires, il s'agira d'établir un ordre de priorité de mobilisation en fonction des opportunités d'acteurs qui se présentent. Par exemple, si des élus d'une inter-communalité souhaitent porter un projet de mobilisation de la biomasse issue des haies de leur bord de route, alors ces haies gérées par la collectivité seront classées en priorité de mobilisation car le contexte en termes d'acteurs est mûr. Ou cela peut être un groupe d'agriculteurs d'une coopérative agricole souhaitant mobiliser leur biomasse. Le travail d'organisation de filière pourra s'effectuer en priorité avec eux. Cet état des lieux permet d'établir une stratégie de mobilisation des acteurs associée à une mobilisation de la biomasse, phasée dans le temps en fonction des opportunités qui se présentent. Cette répartition des haies permettra d'estimer sur quels linéaires travailler en priorité et pour lesquels il sera facile de mobiliser le bois.

Prendre en compte le facteur niveau d'accessibilité : (contexte paysager) : Certaines haies sont situées dans des zones géographiques où il est compliqué d'aller chercher le bois (fonds de vallon, pentes très raides, zones humides au sol détrempé, atomisation des propriétés…). Pour ces cas, la mobilisation de la biomasse s'avère complexe, demande du temps, certaines périodes sont compliquées, le coût de chantier peut être plus élevé… Ce facteur de complexité de prélèvement du bois est à prendre en compte dans l'étude de gisement en classant les haies en trois catégories : prélèvement facile / prélèvement moins facile / prélèvement difficile. Pour réaliser ce classement, un croisement cartographique (zones humides, relief topographique) est nécessaire pour analyser la localisation géographique des haies.

3.4 Autres caractéristiques à prendre en compte pour évaluer le potentiel de volume prélevable

Estimer un futur linéaire prélevable avec la dynamique de plantation des haies : L'enjeu est de pouvoir estimer le potentiel de production à venir avec les projets de création de nouvelles haies programmées sur le territoire afin d'établir une trajectoire de reconstitution. Il faut estimer le temps de constitution de la biomasse aérienne depuis la plantation jusqu'au premier prélèvement. L'intégration des haies plantées dans une étude de gisement est importante à prendre en compte, en particulier pour les zones à faible densité de haies. Pour identifier ces zones, la cartographie du Grain bocager peut être utilisée afin de définir des sites de plantations pour les zones à densité faible. Cette estimation ne se fera pas à partir du terrain mais de l'analyse globale. Il est possible de se baser sur ce qui se plante depuis 10 ans ce que demandent les agriculteurs et les scénarios de politiques publiques.

Prendre en compte les ressources techniques pour les chantiers gestion des haies : L'enjeu est de pouvoir identifier les acteurs de filière qui réalisent les chantiers de coupe en gestion durable et de broyage de la plaquette bois. En effet, un grand nombre de gestionnaires ne mobilisent pas leur biomasse par manque de temps, par complexité de chantier et/ou par manque de savoir technique. Un des facteurs clés de la mobilisation de la ressource réside dans la capacité à disposer ou avoir constitué et formé un réseau d'acteurs divers capables de réaliser, en prestation, des chantiers de coupe des haies répondant à des exigences de qualité de la gestion durable des haies et du Label Haie. Il faut donc identifier et analyser le domaine d'expertise des acteurs susceptibles de réaliser ce travail : CUMA, ETA, élagueur grimpeur, bucheron... Cette estimation ne se fera pas à partir du terrain mais de l'analyse globale

Anticiper la difficulté à venir pour la mobilisation de bois : Les 1ère tonnes sont toujours plus faciles à aller chercher. Mais plus les volumes seront importants pour alimenter les chaudières plus il faudra mettre en place des dispositifs complexes pour aller chercher tous les types de haies en fonction de localisation plus difficile ou d'agriculteurs plus difficile à mobiliser et convaincre.

4. Trame détaillée de la méthode

Cette trame a pour objectif de donner les grandes lignes d'une méthode, étape par étape, pour réaliser une étude de gisement de la ressource biomasse issues de haies à l'échelle du territoire. Elle se base sur deux méthodes d'analyse possibles :

- **La collecte de données sur le terrain** par point de relevé statistique terrain, offrant un T0.
- **L'analyse cartographique**, par point statistique uniquement. L'analyse cartographique totale est écartée pour des raisons de faisabilité.

A noter que si les deux cases concernant l'analyse cartographique et la collecte sur le terrain sont remplies, il s'agira de choisir l'une ou l'autre action car elles n'ont pas le même niveau de précision[1] et faussera la statistique.

Il est également important de se tenir au plan d'échantillonnage de point statistique défini tant pour l'ensemble des points de relevé de terrain que pour l'analyse cartographique comparée.

[1] L'analyse cartographique n'est pas aussi précise que le relevé de terrain car elle dépend à la fois de l'interprétation de l'opérateur et à la fois du millésime de la cartographie qui est toujours antérieur au terrain.

Objectifs et résultats	Collecte de données sur le terrain (par point de relevé statistique terrain)	Analyse cartographique (par point statistique uniquement)	Données bibliographiques
	NB : se référer à l'annexe 2 : Nomenclature des critères à relever sur le terrain pour la table attributaire	NB : Commencer une portion d'analyse cartographique par point statistique puis aller sur le terrain pour vérifier si la manière de photo-interpréter est valable et se faire des références.	
Objectif : **Stabiliser le linéaire de haie total** du territoire concerné *Résultat à obtenir :* Calculer le **taux d'erreur (%)** de **la couche BD TOPO Haie de l'IGN par rapport au linéaire réel,** par point statistique et l'affecter à l'ensemble du linéaire du territoire	**Vérifier la différence entre la couche BD TOPO Haie de l'IGN et la réalité de terrain**	Comparaison cartographique : **BD TOPO Haie de l'IGN** (V2) x **photographie aérienne récente** - Si **erreur de tracé dans la couche BD TOPO Haie** (zigzag ou double ligne …), corriger le tracé et calculer le linéaire de haie (ml) qui a été modifié en tracé. **- croiser la couche BD TOPO Haie** par rapport à la localisation (zone humide, pente …) et affecter ce taux à l'ensemble du linéaire ; **NB : Ne pas corriger géomatiquement l'ensemble des haies** de la couche BD TOPO Haie du territoire étudié. **NB # :** Possibilité de faire **plus de points statistiques pour des croisements cartographiques** sans avoir à faire de relevés terrain. **NB #2 : Conserver** la couche BD TOPO Haie totale avec les **données initiales** non modifiées. Toutes les modifications de tracé et les comparaisons réalisées sur les points	

<table>
<tr><td></td><td></td><td>statistiques permettent de calculer les taux à appliquer sur l’ensemble du linéaire total.</td><td></td></tr>
<tr><td>Objectif :
Obtenir le taux de recouvrement des haies pour identifier le linéaire ayant un réel potentiel de volume prélevable

Résultat attendu :
- calculer le taux (%) de linéaire de haie par classe de couvert par point statistique et l’affecter à l’ensemble du linéaire du territoire pour calculer le linéaire total de linéaire / type de couvert
- retirer du linéaire total les linéaires de haie au couvert nu et épars (n’ayant pas un volume prélevable immédiatement).</td><td>Relever par haie le couvert :<table><tr><td>Nu</td><td rowspan="2">Ne pas les prendre en compte dans le linéaire prélevable</td></tr><tr><td>Épars (<1/3)</td></tr><tr><td>Discontinu (de 1/3 à 2/3)</td><td>Haies menacées et dégradées avec un plus faible capital de biomasse (NB : au territoire de choisir si prise en compte dans le linéaire prélevable immédiat ou à long terme. Plusieurs scénarios peuvent être établis)</td></tr><tr><td>Continu (de 2/3 à 3/3)</td><td>Haies productives</td></tr></table></td><td>Comparaison cartographique : BD TOPO Haie de l’IGN x MNHC (Modèle Numérique de Hauteur de Canopée)

- Relever la continuité du couvert par photo-interprétation et classer les linéaires en trois catégories (Nu et épars / Discontinu / Continu) ;
- A partir de la BD TOPO Haie (car non détectée dans la couche MNHC dès lors que l’élément fait moins de 3 m de hauteur), prendre en compte les haies au carré comme recouvrement dans l’une des trois catégories ;</td><td></td></tr>
<tr><td>Objectif :
Déterminer le linéaire de haies taillées au carrée et les haies en devenir (haie de colonisation et haie jeune plantée) pour le sortir du linéaire ayant un réel potentiel de volume prélevable immédiatement

Résultats attendus :
- calculer le taux (%) de haies basses + taux (%) de haie en devenir par point statistique et l’affecter à l’ensemble du linéaire du</td><td>Relever par haie le sous-type de haie et extraire les haies taillées au carré (types 33, 41 et 75) et les haies en devenir (types 21 et 22) :<table><tr><td>11</td><td>pas de haie mais talus enherbé</td></tr><tr><td>21</td><td>haie résiduelle</td></tr><tr><td>22</td><td>haie de colonisation</td></tr><tr><td>23</td><td>haie jeune plantée (-10 ans)</td></tr><tr><td>31</td><td>cépées d'arbustes</td></tr><tr><td>32</td><td>cépées d'arbres</td></tr></table></td><td>Comparaison cartographique : BD TOPO Haie x MNHC.

NB : Pour cette étape, l’analyse cartographique sera moins précise que le terrain car il y a une réelle difficulté à pouvoir identifier les types de haies entre eux. Il faudra se baser sur les classes de hauteurs.</td><td></td></tr>
</table>

territoire pour calculer le linéaire total de haies basses et de haies en devenir.
- **retirer du linéaire total** les linéaires de **haie au carré et de haie en devenir** (n'ayant pas un volume prélevable immédiatement).
- intégrer ces linéaires dans un **scénario à plus long terme** (volume prélevable à plus long terme).

33	**cépées d'arbustes taillées sur les trois faces**
33	taillis fureté de hêtres
41	**cépées d'arbres et d'arbustes taillées sur les trois faces**
42	cépées d'arbres et d'arbustes
51	hauts jets du même âge
52	alignemets d'arbres émondés
53	alignements de têtards
61	hauts jets d'âges différents
62	hauts jets avec têtards
63	hauts jets avec arbres émondés
71	hauts-jets avec cépées d'arbres et d'arbustes taillés sur les trois faces
72	hauts jets avec cépées d'arbustes
73	hauts jets avec cépées d'arbres
74	hauts jets avec cépées d'arbres et d'arbustes
75	**têtards avec cépées d'arbustes et d'arbres taillées sur les trois faces**
76	têtards et cépées d'arbustes
77	têtards et cépées d'arbres
78	têtards avec cépées d'arbustes et d'arbres
79	hauts jets et têtards avec cépées d'arbres et d'arbustes
791	hauts jets et arbres émondés avec cépée d'arbres et d'arbustes

Pour les haies de taillis sous futaie, calculer la **proportion d'arbres de haut-jets** :

Proportion d'arbres de hauts-jets dans les haies de taillis sous futaie :	
Faible proportion d'arbres (<1/3)	Taillis bien développé (hors discontinuité et haie taillée au carrée)

- **Identifier les différents types de haies** à partir des classes de hauteur données par le MNHC.
Chaque territoire peut établir ses classes de hauteur suivant les types d'arbres et d'arbustes. A titre indicatif : 0-3m / 3-10m (taillis) / 8-15 m (arbres ou têtard).
- **Identifier en particulier les haies basses** par photo-interprétation à la BD TOPO Haie (car non détectée dans la couche MNHC dès lors que l'élément fait moins de 3 m de hauteur (haie basse, talus nu, trouée, absence de haie, venant d'être exploitée).
- Puis **vérifier l'interprétation** en comparant la BD TOPO Haie **avec la couche MNHC** qui donne la hauteur et la largeur des éléments (ne prend en compte que la largeur des houppiers).

<table>
<tr>
<td></td>
<td>
<table>
<tr><td>Proportion moyenne d’arbres (de 1/3 à 2/3)</td><td>Taillis développé (hors discontinuité et haie taillée au carrée)</td></tr>
<tr><td>Proportion forte d’arbres (de 2/3 à 3/3)</td><td>Taillis peu développé (sous-couvert, très faiblement productif si absence de mise en lumière)</td></tr>
</table>

NB : La proportion d’arbres de haut-jets est importante à relever pour les haies de type taillis-sous-futaie afin de mieux estimer le volume de taillis prélevable.
</td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Objectif :
Déterminer le linéaire de haie trop dégradé par les pratiques pour le sortir du linéaire ayant un réel potentiel de volume prélevable

Résultats attendus :
- calculer le taux (%) de haies par type de dégradation par point statistique et l’affecter à l’ensemble du linéaire du territoire pour calculer les linéaires totaux de haies dégradées.
- retirer du linéaire total les linéaires de haie trop dégradé (n’ayant pas un volume prélevable immédiatement).</td>
<td>
Relever par haie, les dégradations observées :
<table>
<tr><td>0</td><td>Pas de dégradation</td></tr>
<tr><td>MEC</td><td>Mécanisation dégradant le talus ou le pied de haie</td></tr>
<tr><td>EL</td><td>Epareuse entre les ligneux</td></tr>
<tr><td>ALL</td><td>Epareuse latérale sur les ligneux</td></tr>
<tr><td>ER</td><td>Épareuse sur les repousses</td></tr>
<tr><td>ED</td><td>Épareuse dégradante sur les flancs du talus</td></tr>
<tr><td>LM</td><td>Lamier</td></tr>
<tr><td>PI</td><td>Piétinement par le bétail</td></tr>
</table>
</td>
<td>Cette étape ne peut se faire que par relevé de terrain.</td>
<td></td>
</tr>
</table>

AR	Abroutissement empêchant la repousse
CL	Clôture dans les arbres ou au milieu de la zone ligneuse
PH	Usage de produits phytosanitaires
MA	Etat sanitaire dégradé, maladie (graphiose de l'orme, chancre du chataignier, etc.),
TEMF	Tailles d'exploitation mal faites
DE	Dépérissement de la végétation ligneuse
EI	Espèce invasive
EC	Ecobuage
BR	Brûlage des rémanents contre la haie
FD	Fossé drainant, profond, barrière

NB : Le **barbelé** et **clôture dans les arbres** est important à relever. C'est un **facteur de difficulté de restauration**. Contrainte qui fait qu'on aura un **chantier coûteux** ou plus difficile à engager.

NB # : Précautions : pas d'anticipation possible d'un **dépérissement** ou d'un **ralentissement de croissance** lié à un **changement climatique** ou à des sécheresses successives. Noter cependant si déjà les stigmates sont visibles.

<table>
<tr>
<td>

Objectif :
Déterminer le linéaire de haie trop réduit en volume pour le sortir du linéaire ayant un réel potentiel de volume prélevable

Résultats attendus :
- calculer le **taux (%) de haies par type de largeur** par point statistique et l'affecter à l'ensemble du linéaire du territoire pour calculer les linéaires totaux de haies dégradées.
- **retirer du linéaire total** les linéaires de **haie trop réduit en largeur** (n'ayant pas un volume prélevable immédiatement).

Il est important de **relever le volume de la haie en complément des dégradations**. Ex : En Creuse, le retard de gestion engendre une largeur de haie importante même si l'épareuse est passée (peu de réduction de volume). Ce linéaire peut donc être pris en compte dans le linéaire ayant un potentiel prélevable.

</td>
<td>

Relever par haie, le gabarit de la haie (largeur du houppier et la largeur de la haie à 2m) :

<table>
<tr><th colspan="2">Largeur du houppier (pour l'étage 3 et 4) comprenant le houppier du taillis + houppier de la futaie</th></tr>
<tr><td>1</td><td>< 4 m</td></tr>
<tr><td>2</td><td>4-10 m</td></tr>
<tr><td>3</td><td>> 10 m</td></tr>
<tr><td>4</td><td>non mesurable car vient d'être exploité</td></tr>
</table>

NB : Permet de savoir si le **taillis est sous développé ou développé** et s'il est impacté par les dégradations latérales en **largeur et volume**.

<table>
<tr><th colspan="2">Largeur de la haie à relever à 2 m de hauteur</th></tr>
<tr><td>5</td><td>0-1 m</td></tr>
<tr><td>6</td><td>1-3 m</td></tr>
<tr><td>7</td><td>> 3 m</td></tr>
</table>

NB : Permet de savoir **si le lamier / épareuse est passé(e)** sur le bas de la haie (sous-étage, taillis) et d'évaluer l'**impact sur la largeur et le volume naturels.**

</td>
<td>Cette étape ne peut se faire que par relevé de terrain.</td>
<td></td>
</tr>
</table>

<table>
<tr>
<td></td>
<td>
<table>
<tr><th colspan="2">Largeur du pied de haie</th></tr>
<tr><td>8</td><td>< 0,5 m</td></tr>
<tr><td>9</td><td>0,5-1 m</td></tr>
<tr><td>10</td><td>1-1,5 m</td></tr>
<tr><td>11</td><td>1,5-2 m</td></tr>
<tr><td>12</td><td>> 2 m</td></tr>
</table>
NB : Permet d’évaluer l’impact sur la largeur et le volume naturels de la haie et de permet de se situer dans les références nationales de cubage sur pied (10 t/100m).
</td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Objectif :
Calculer l’estimatif du potentiel du volume de bois sur pied prélevable à partir du/des cycle(s) de gestion du territoire

Résultats attendus :
- Analyser la capacité de croissance des haies liée au territoire et déterminer le ou les cycles de productivité du territoire (il peut y en avoir plusieurs sur le territoire)
- Calculer le volume prélevable immédiat annuellement</td>
<td>- Possibilité de préciser la référence nationale de 10 t / 100 m avec des données de productivité locales et récentes en se référant au tableau de retour de cycle / type de haie issue du PGDH ou en s’appuyant sur des données locales ayant une valeur statistique (chantiers d’agriculteurs ou données forestières).</td>
<td>Croisement cartographique : Cartographie de la réserve hydrique des sols (cartographie de référence : Gisol) x cartographie de la pluviométrie

- Produire une cartographie des cycles de croissance des haies (cycle de gestion) plus fine que la cartographie nationale produite par Réseau Haies France, avec des zonages infra-départementaux (cf : Méthodologie nationale située en annexe 3 de cette note)</td>
<td></td>
</tr>
</table>

		- **Puis croiser la cartographie des cycles avec les données de productivité :** - Prendre la référence nationale de 10 t / 100 m produite par l'étude Resp'haies (**Référentiel national moyen de productivité** des haies) - Et y appliquer le cycle de gestion pour calculer la volume de bois sur pied prélevable annuellement (sans risquer de prélever plus que l'accroissement)	
Objectif : **Estimer le volume de bois bûche** déjà valorisé *Résultats attendus :* - **Estimer le volume de bois bûche** déjà valorisé (en circuit professionnel et hors circuit professionnel) pour le **catégoriser en volume non-mobilisable** pour la biomasse d'approvisionnement des chaufferies.			**Mobiliser des référentiels nationaux et locaux du bois bûche** : - Rapport sur la « **situation du chauffage domestique au bois en 2022-2023** » de l'ADEME Extrait de quelques **données clés** de ce rapport : - Il est très compliqué d'avoir des chiffres sur le prélèvement et la production de combustible bois pour le chauffage domestique qui ne provient pas de la forêt. A noter que **seulement 27% du volume de bois bûche passe par circuits professionnels** (Source : enquête ménages ADEME). **-** Ne pas sous-estimer ce volume valorisé en bois bûche qui est fréquemment prélevé dans les haies car plus facile à exploiter qu'en forêt. Le rapport ADEME estime que **10 et 12% de l'origine du bois bûche**

			provient des haies. De plus, le chauffage au poêle est très répandu dans la campagne. - La part de **bois bûche issu** d'une exploitation **de la haie augmente** fortement dans le cadre de **l'auto-approvisionnement total** en atteignant **55%** contre 27% pour l'auto-approvisionnement partiel et 3% pour la vente en circuit court. - le rapport **différencie** bien le **bois bûche du granulé.** - Se rapprocher des **Cumas qui ont des combinés bois-bûche** (même si pas utilisé par ceux qui font du bois bûche). - Se rapprocher des **antennes Fibois régionales** qui peuvent avoir des **référentiels régionaux** sur le bois bûche. - En cas d'absence de données : - Réaliser une **enquête auprès des agriculteurs** du territoire étant en auto-approvisionnement ou en vente en circuit court du bois bûche - **Fixer un volume estimé à dire d'expert** car il faut obligatoirement appliquer un taux pour ne pas sur-estimer le volume réellement mobilisable non accaparé.
Objectif : **Estimer le volume de bois plaquette déjà mobilisé** dans les filières bois énergie et en auto-consommation *Résultats attendus :* - **Estimer le volume de bois plaquette déjà mobilisé** dans les filières bois énergie et en			**Obtention des données :** **- Mobiliser des référentiels locaux de bois issu des haies locales déjà consommé par les chaufferies locales** (données de l'Ademe ou de Fibois ou des Cumas ou des énergéticiens) : - Analyser le dernier **rapport du CIBE**

auto-consommation (bois énergie et litière plaquette) pour le **catégoriser en volume non-mobilisable** pour la biomasse d'approvisionnement de nouvelles chaufferies.			- Se référer **aux déchiqueteurs** pour connaître le volume de bois bocager (s'assurer que de ce qui est déchiqueté sur le territoire) - Demander aux **énergéticiens (Engie et Dalkia)** par territoire - Demander à l'Ademe la **consommation de bois bocager par chaufferie fonds chaleur** (attention exclue les petites chaufferies consommant en majorité de la plaquette bocagère. Données à peu fiables car du bois d'opportunité (ex : peuplier) peut être catégorisé en bois bocager. **Exemples de territoire :** - En Creuse : bonnes informations sur l'approvisionnement des chaufferies mais l'enjeu est de distinguer le volume de bois forestier du volume de bois bocager. - En Normandie, le bois bocager représente entre 8 et 10% du volume total de l'approvisionnant des chaufferies *(Source Ademe).* - En Bretagne : se référer au rapport de l'Ademe actualisé: https://bretagne-environnement.fr/article/bois-chauffage-energie-bretagne

<table>
<tr>
<td>Objectif :
Caractériser le potentiel de volume prélevable

Résultats attendus :
- calculer le taux (%) de haie par grand type de haies par point statistique et l’affecter à l’ensemble du linéaire du territoire pour calculer les linéaires totaux de haies plus ou moins facile à prélever.</td>
<td>Faire le rapprochement entre sous-type de haie x dégradation x largeur de la haie pour définir les 7 grands types de haie définis pour l'étude de gisement (cf : onglet 2 de la nomenclature)
<table>
<tr><td>1</td><td>Haie de taillis ou de têtard</td><td>Facilement prélevable</td></tr>
<tr><td>2</td><td>Haie de taillis sous futaie avec taillis non développé</td><td>Moins facilement prélevable</td></tr>
<tr><td>3</td><td>Haie de taillis sous futaie avec taillis développé (arbres de hauts jets régulièrement répartis)</td><td>Facilement prélevable</td></tr>
<tr><td>4</td><td>Haie de futaie</td><td>Beaucoup moins facilement prélevable</td></tr>
<tr><td>5</td><td>Haie taillée au carré</td><td>Pas de prélèvement possible immédiatement</td></tr>
<tr><td>6</td><td>Haie peu développée</td><td>Pas de prélèvement possible immédiatement (ici prendre en compte uniquement les jeunes haies)</td></tr>
<tr><td>7</td><td>Pas de haie mais talus enherbé</td><td>Pas de prélèvement possible immédiatement</td></tr>
</table>
</td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Objectif :
Planifier dans le temps les linéaires prélevables

Résultats attendus :</td>
<td>Différencier les pas de temps de renouvellement par rapport au cycle de gestion :

- Haie basse : on ne sort pas de biomasse à la première coupe de restauration /</td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
</table>

<table>
<tr>
<td>- Classer les linéaires en restaurable dans un temps plus long (moyen terme)</td>
<td>attendre un cycle / dépendra des essences que l’on trouve dans la haie /

- largeur de la haie

- Laisser le temps de repousser des haies dégradées pour avoir assez de biomasse sortie

- Jeunes haies plantées, de colonisation en RNA

NB : Sous-condition d’avoir des aides pour restaurer la haie.</td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>Objectif :
Répartir le linéaire par localisation

Résultats attendus :
- Savoir avec quels acteurs travailler en priorité et définir les coûts d’exploitation en fonction de la localisation du potentiel de linéaire prélevable

Ex : Si les haies sont situées majoritairement en bord de route, alors cibler les gestionnaires de bord de route en priorité pour travailler avec eux.</td>
<td>Relever sur le terrain les interfaces :

<table>
<tr><td>PPIR</td><td>Parcelle / Parcelle interparcellaire</td></tr>
<tr><td>BPI</td><td>Parcelle / Parcelle, intraparcellaire les 2 parcelles étant gérées par le même exploitant</td></tr>
<tr><td>BBO</td><td>Parcelle / Bois</td></tr>
<tr><td>PVE</td><td>Parcelle / Verger et pré-verger</td></tr>
<tr><td>BP</td><td>Parcelle / parcelle enfrichée</td></tr>
<tr><td>BVR</td><td>Parcelle / voirie Route</td></tr>
<tr><td>BVC</td><td>Parcelle / voirie Chemin</td></tr>
<tr><td>BEAU</td><td>Parcelle / cours d'eau</td></tr>
</table>
</td>
<td>Comparaison cartographique :
- Intraparcellaire / Interparcellaire : BD TOPO Haie x RPG
- Bord de route : BD TOPO Haie x infrastructures routières
- Urbain : BD TOPO Haie x zones urbaines</td>
<td></td>
</tr>
</table>

BBA	Parcelle / Bâti
PSNC	Parcelle/ligne SNCF
VV	Voirie / Voirie
VE	Voirie / Eau
VBO	Voirie / Bois
BABO	Bâti / Bois
BAV	Bâti / Voirie
BABA	Bâti / Bâti

<table>
<tr>
<td>

Objectif :
Répartir le linéaire **par niveau d'accessibilité** et appliquer un taux d'abattement par niveau de faisabilité
- **Estimer la faisabilité** en termes d'action de gestion et la facilité à aller chercher le bois.
- **Caractériser d'autres facteurs plus fort de faisabilité** et de coût qui font sens sur le territoire.

Résultats attendus :
- Calculer le **taux (%) de haies dans une situation de forte pente et de zones très humides** et l'affecter à l'ensemble du linéaire du territoire pour calculer le linéaire total inaccessible/difficilement accessible.
- **extraire ce linéaire de haie inaccessible** du volume prélevable immédiatement.

</td>
<td></td>
<td>

Comparaison cartographique :
- Zone humide : **BD TOPO Haie** x **cartographie des Zones Humides** et des cours d'eau (cartographie ressource : pré-localisation nationale des zones humides de INPN – 2023 (couche raster de résolution 5 m))
- Forte pente : **BD TOPO Haie** x MNT de l'IGN x courbe de niveau

Classes de pente et de zone humide (% d'hydromorphie). C'est à chaque territoire de définir ses taux spécifiques.

<table>
<tr><th colspan="2">Zones humides</th></tr>
<tr><td>Hydromorphie à x %</td><td>Terrain accessible</td></tr>
<tr><td>Hydromorphie à x %</td><td>Terrain difficilement accessible</td></tr>
<tr><td>Hydromorphie à x %</td><td>Terrain accessible</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th colspan="2">Pente</th></tr>
<tr><td>Absence de pente à 0 %</td><td>Terrain accessible</td></tr>
<tr><td>Pente douce à 0 %</td><td>Terrain accessible</td></tr>
<tr><td>Pente moyenne à 0 %</td><td>Terrain moyennement accessible</td></tr>
<tr><td>Pente forte à 0 %</td><td>Terrain inaccessible</td></tr>
</table>

</td>
<td></td>
</tr>
</table>

Annexe 2 : **Nomenclature des critères à relever sur le terrain**

A relever sur le terrain

Typologie de haie					Largeur de la haie														ESSENCES DOMINANTES
Sous-type de haie		Proportion d'arbres de hauts-jets dans les haies de taillis sous futaie			Largeur du houppier (pour l'étage 3 et 4) comprenant le houppier du taillis + houppier de la futaie		Largeur de la haie à relever à 2 m de hauteur		Largeur du pied de haie		COUVERT		Interface		DEGRADATION		Présente à plus de 1/8ème
11	pas de haie mais talus enherbé	1	Faible proportion d'arbres (<1/3)	Taillis bien développé (hors discontinuité et haie taillée au carrée)	1	< 4 m	5	0-1 m	8	< 0,5 m	0	Nu	PPIR	Parcelle / Parcelle interparcellaire	0	Pas de dégradation	*cf onglet ESSENCES. A adpater en fonction de chaque territoire pour restreindre la liste.*
21	haie résiduelle	2	Proportion moyenne d'arbres (de 1/3 à 2/3)	Taillis développé (hors discontinuité et haie taillée au carrée)	2	4-10 m	6	1-3 m	9	0,5-1 m	1	Epars (<1/3)	BPI	Parcelle / Parcelle, intraparcellaire les 2 parcelles étant gérées par le même	MEC	Mécanisation dégradant le talus ou le pied de haie	
22	haie de colonisation	3	Proportion forte d'arbres (de 2/3 à 3/3)	Taillis peu développé (sous-couvert, très faiblement productif si absence de mise en lumière)	3	> 10 m	7	> 3 m	10	1-1,5 m	2	Discontinu (de 1/3 à 2/3)	BBO	Parcelle / Bois	EL	Epareuse entre les ligneux	
23	haie jeune plantée (-10 ans)				4	non mesurable car vient d'être exploité	*Permet de savoir si le lamier / épareuse est passé sur le bas de la haie (sous-étage, taillis) et impacte la largeur et le volume.*		11	1,5-2 m	3	Continu (de 2/3 à 3/3)	PVE	Parcelle / Verger et pré-verger	ALL	Epareuse latérale sur les ligneux	
31	cépées d'arbustes		*Permet de savoir si le taillis est sous développé ou développé et si il est impacté par les dégradation latérale en largeur et volume.*		*Permet de savoir si le taillis est sous développé ou développé et si il est impacté par les dégradation latérale en largeur et volume.*				12	> 2 m			BP	Parcelle / parcelle enfrichée	ER	Epareuse sur les repousses	
32	cépées d'arbres												BVR	Parcelle / voirie Route	ED	Epareuse dégradante sur les flancs du talus	
33	cépées d'arbustes taillées sur les trois faces												BVC	Parcelle / voirie Chemin	LM	Lamier	
33	taillis fureté de hêtres												BEAU	Parcelle / cours d'eau	PI	Piétinement par le bétail	
41	cépées d'arbres et d'arbustes taillées sur les trois faces												BBA	Parcelle / Bâti	AR	Abroutissement empêchant la repousse	
42	cépées d'arbres et d'arbustes												PSNC	Parcelle/ligne SNCF	CL	Cloture dans les arbres ou au milieu de la zone ligneuse	
51	hauts jets du même âge												VV	Voirie / Voirie	PH	Usage de produits phytosanitaires	
52	alignemets d'arbres émondés												VE	Voirie / Eau	MA	Etat sanitaire dégradé, maladie (graphiose de l'orme, chancre du	
53	alignements de têtards												VBO	Voirie / Bois	TEMF	Tailles d'exploitation mal faites	
61	hauts jets d'âges différents												BABO	Bâti / Bois	DE	Dépérissement de la végétation ligneuse	
62	hauts jets avec têtards												BAV	Bâti / Voirie	EI	Espèce invasive	
63	hauts jets avec arbres émondés												BABA	Bâti / Bâti	EC	Ecobuage	
71	hauts-jets avec cépées d'arbres et d'arbustes taillés sur les trois faces														BR	Brûlage des rémanents contre la haie	
72	hauts jets avec cépées d'arbustes														FD	Fossé drainant, profond, barrière	
73	hauts jets avec cépées d'arbres														*Relever toutes les dégradation (en vert les plus importantes pour l'étude de gisement).*		
74	hauts jets avec cépées d'arbres et d'arbustes																
75	têtards avec cépées d'arbustes et d'arbres taillées sur les trois faces																
76	têtards et cépées d'arbustes																
77	têtards et cépées d'arbres																
78	têtards avec cépées d'arbustes et d'arbres																
79	hauts jets et têtards avec cépées d'arbres et d'arbustes																
791	hauts jets et arbres émondés avec cépée d'arbres et d'arbustes																

A calculer après le relevé de terrain

Rapprochement entre sous-type de haie x la proportion d'arbres de haut-jets x dégradation x largeur de la haie pour définir les 9 grands types de haie définis pour l'étude de gisement

		Sous-type de haie	Proportion d'arbres de hauts-jets	Dégradation	Largeur de la haie
1	**Haie de taillis ou de têtard**	31_cépées d'arbustes 32_cépées d'arbres 33_taillis fureté de hêtres 42_cépées d'arbres et d'arbustes 52_alignemets d'arbres émondés 53_alignements de têtards 76_têtards et cépées d'arbustes 77_têtards et cépées d'arbres 78_têtards avec cépées d'arbustes et d'arbres	_	_	2_4-10 m 7_> 3 m
2	**Haie de taillis sous futaie avec taillis non développé** sans arbre de haut-jet à prélever	71_hauts-jets avec cépées d'arbres et d'arbustes taillés sur les trois faces 75_tétards avec cépées d'arbustes et d'arbres taillées sur les trois faces	1_Faible proportion d'arbres (<1/3) 2_Proportion moyenne d'arbres (de 1/3 à 2/3)	ALL_Epareuse latérale sur les ligneux ER_Épareuse sur les repousses LM_Lamier PI_Piétinement par le bétail AR_Abroutissement empêchant la repousse CL_Cloture dans les arbres ou au milieu de la zone ligneuse DE_Dépérissement de la végétation ligneuse	2_4-10 m 6_1-3 m
3	**Haie de taillis sous futaie avec taillis non développé** avec arbres de haut-jets prélevables		3_Proportion forte d'arbres (de 2/3 à 3/3)		
4	**Haie de taillis sous futaie avec taillis développé** avec forte propotion d'arbre de haut-jets	62_hauts jets avec têtards 63_hauts jets avec arbres émondés 72_hauts jets avec cépées d'arbustes 73_hauts jets avec cépées d'arbres 74_hauts jets avec cépées d'arbres et d'arbustes 79_hauts jets et tétards avec cépées d'arbres et d'arbustes 791_hauts jets et arbres émondés avec cépée d'arbres et d'arbustes	1_Faible proportion d'arbres (<1/3) 2_Proportion moyenne d'arbres (de 1/3 à 2/3)	_	3_> 10 m 7_> 3 m
5	**Haie de taillis sous futaie avec taillis non développé** avec forte propotion d'arbre de haut-jets		3_Proportion forte d'arbres (de 2/3 à 3/3)		
6	**Haie de futaie**	51_hauts jets du même âge 61_hauts jets d'âges différents	_	CL_Cloture dans les arbres ou au milieu de la zone ligneuse DE_Dépérissement de la végétation ligneuse PI_Piétinement par le bétail EL_Epareuse entre les ligneux	3_> 10 m 6_1-3 m
7	**Haie taillée au carré**	33_cépées d'arbustes taillées sur les trois faces 41_cépées d'arbres et d'arbustes taillées sur les trois faces	_	ALL_Epareuse latérale sur les ligneux DE_Dépérissement de la végétation ligneuse	1_< 4 m 5 _0-1 m
8	**Haie peu développée**	21_haie résiduelle 22_haie de colonisation 23_haie jeune plantée (-10 ans)		ALL_Epareuse latérale sur les ligneux DE_Dépérissement de la végétation ligneuse ER_Épareuse sur les repousses LM_Lamier PI_Piétinement par le bétail AR_Abroutissement empêchant la repousse CL_Cloture dans les arbres ou au milieu de la zone ligneuse	1_< 4 m 5_0-1 m
9	**Pas de haie mais talus enherbé**	11_pas de haie mais talus enherbé		_	1_< 4 m 5_0-1 m

Annexe 2 : **Estimation de la Longueur Totale des Haies par Méthode Teruti-Lucas à partir d'un Échantillonnage Multi-rayons sous QGIS**

1. Introduction

L'objectif de cette étude est d'estimer la longueur totale des haies présentes sur le territoire du bassin versant du Bas Léon, à partir d'un échantillonnage spatial réalisé selon la méthodologie Teruti-Lucas. Cette méthode repose sur la mesure de la densité de haies dans des cercles d'échantillonnage de différents rayons, puis sur l'extrapolation de cette densité à l'ensemble du territoire.

2. Données utilisées

- **Couches SIG utilisées** :
    - Haies : haie_basleon (géométrie multilignes)
    - Cercles d'échantillonnage multi-rayons : Cercles_multi_rayons (polygones)
    - Limite du territoire : limite_sage_basleon (polygone)

Les couches sont chargées dans le projet QGIS et converties en GeoDataFrame pour faciliter les traitements géométriques.

3. Méthodologie

a) Principe Teruti-Lucas

L'estimation de la longueur totale des haies a été réalisée selon la méthode Teruti-Lucas à deux degrés :

- **Premier degré :** sélection de segments (zones d'échantillonnage)
- **Second degré :** sélection de cercles à l'intérieur de chaque segment

Pour chaque cercle, la longueur de haies intersectant le cercle est mesurée, et chaque cercle est rattaché à son segment et à un identifiant de point.
L'estimation de la longueur totale des haies se fait à l'aide de la formule suivante :
Estimation totale = moyenne des longueurs par zone × (surface totale du territoire / surface totale échantillonnée)
Soit, en notation simple :
L_total = L_moy × (S / S_ech)
où :

- **L_total** : estimation de la longueur totale des haies (en mètres)
- **L_moy** : moyenne des longueurs de haies mesurées par zone (segment)
- **S** : surface totale du territoire (en m²)
- **S_ech** : surface totale échantillonnée (somme des surfaces des cercles, en m²)

La formule pour estimer l'incertitude (variance) associée à cette estimation est :
Variance = (S^2 / (N × S_ech^2)) × (V_inter + V_intra / K_moy)
où :

- **N** : nombre de zones (segments)
- **V_inter** : variance des moyennes de longueur entre les zones (inter-zones)
- **V_intra** : moyenne des variances à l'intérieur de chaque zone (intra-zones)
- **K_moy** : nombre moyen de cercles par zone

Résumé des notations :

- **L_total** : longueur totale estimée
- **L_moy** : moyenne des longueurs par zone
- **S** : surface totale du territoire
- **S_ech** : surface totale échantillonnée
- **N** : nombre de zones (segments)
- **V_inter** : variance entre zones
- **V_intra** : variance à l'intérieur des zones
- **K_moy** : nombre moyen de cercles par zone

b) Étapes du traitement sous QGIS

1. **Chargement et conversion des couches**
   Couche haies_basleon = ensemble des haies de la BD topo sur le territoire du Bas-Léon. Couche Tampon_basleon = ensemble des point teruti sur le territoire du Bas-Léon. Couche cercle multirayon = couche avec des cercles ayant pour centre les cercles teruti-lucas, et ayant chacun un rayon différent (de 40m à 140m par incrémentation de 10m).
2. Les couches SIG sont récupérées et converties en GeoDataFrame (format adapté pour les calculs).
3. **Calcul de la longueur réelle des haies**
   La longueur totale des haies qui se trouvent dans le cercle est calculée pour servir de référence.
4. **Analyse multi-rayons**
   Pour chaque rayon de cercle disponible (de 40m à 140 m, par pas de 10m) :
   - Calcul de la longueur de haies dans chaque cercle
   - Calcul de la densité moyenne et de la variance
   - Estimation de la longueur totale des haies et de l'écart-type associé
5. **Visualisation et export**
   Les résultats sont visualisés sous forme de courbes (longueur estimée et incertitude en fonction du rayon) et exportés dans un fichier CSV.

4. Résultats

Analyse des résultats de l'estimation de la longueur totale des haies

L'analyse a porté sur le territoire du « limite_sage_basleon », d'une surface totale de **935 620 225,5 m²**.

La longueur totale réelle des haies cartographiées sur ce territoire est de **7 531 055,5 m** (densité réelle : 0,008049 m/m²).

L'estimation de la longueur totale des haies a été réalisée à partir de cercles d'échantillonnage de rayons compris entre 40 m et 140 m (par pas de 10 m), selon la méthode Teruti-Lucas. Pour chaque rayon, la densité moyenne de haies mesurée dans les cercles a été extrapolée à l'ensemble du territoire, et l'incertitude (écart-type) calculée.

La densité réelle des haies est de 0,008116 m/m², soit 81,16 m/ha. Les densités estimées varient de 80,3 à 82,8 m/ha selon le rayon utilisé.

Tableau de synthèse des résultats

Rayon (m)	Longueur totale estimée (m)	Ecart-type (m)	% Ecart-type	Surface échantillonnée (m²)	Densité mesurée (m/m²)
40	7 513 392	437 074	5,8 %	2 492 377	0,00803
50	7 705 709	399 324	5,2 %	3 894 339	0,00824
60	7 662 352	363 405	4,7 %	5 607 848	0,00819
70	7 663 906	335 263	4,4 %	7 632 904	0,00819
80	7 717 872	312 477	4,0 %	9 969 508	0,00825
90	7 745 076	292 760	3,8 %	12 617 658	0,00828
100	7 666 973	277 861	3,6 %	15 577 356	0,00820
110	7 623 484	264 582	3,5 %	18 848 600	0,00815
120	7 590 102	252 134	3,3 %	22 431 392	0,00811
130	7 529 046	242 348	3,2 %	26 325 731	0,00805
140	7 488 056	233 120	3,1 %	30 531 617	0,00800

Interprétation

- **Précision de l'estimation** :
  L'ensemble des estimations obtenues pour les différents rayons est très proche de la longueur réelle des haies (écart relatif inférieur à 3% sur toute la plage de rayons testés). Cela témoigne d'une bonne représentativité de l'échantillonnage spatial et de la robustesse de la méthode Teruti-Lucas appliquée sur ce territoire.

- **Effet du rayon sur l'incertitude** :
  On observe une diminution régulière de l'écart-type de l'estimation lorsque le rayon du cercle augmente :

  - Pour un rayon de 40 m, l'incertitude est de 437 074 m (soit ~5,8 % de l'estimation).

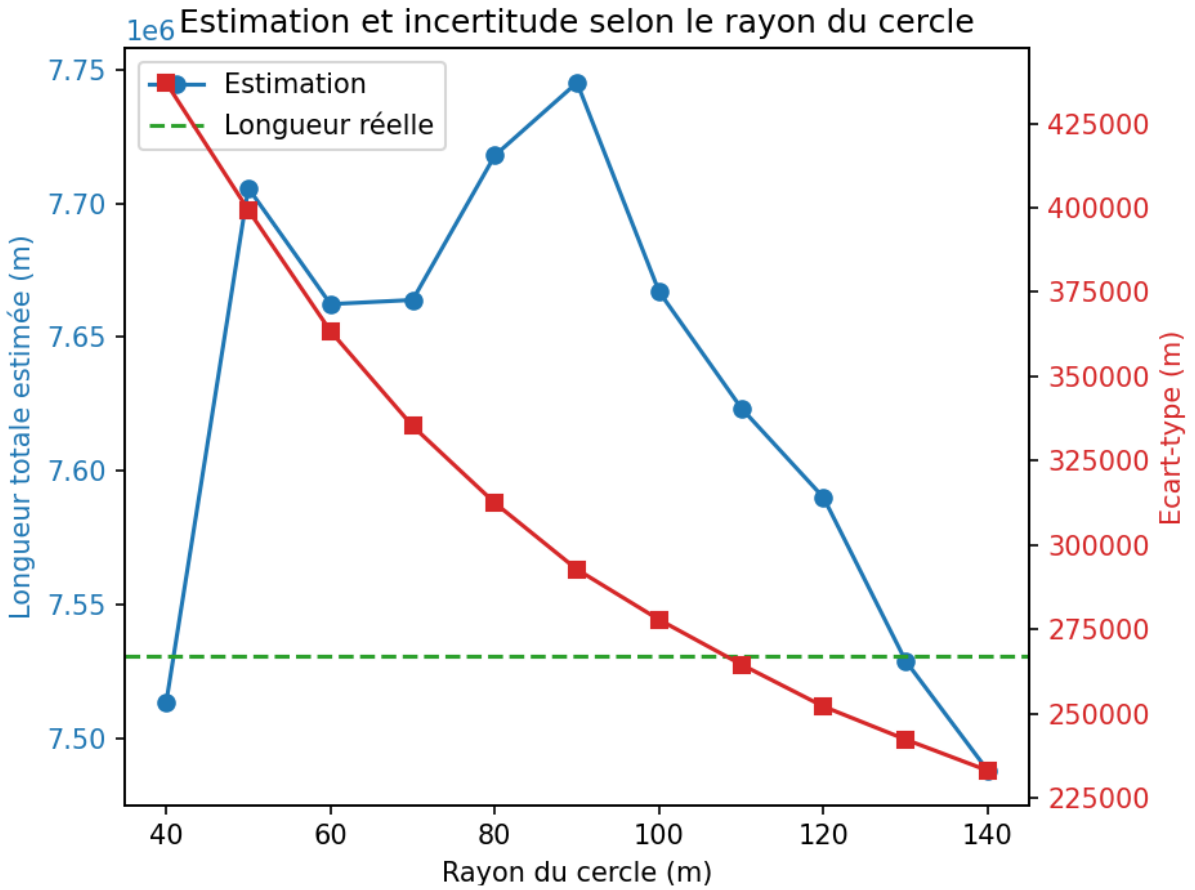
  - Pour un rayon de 140 m, l'incertitude tombe à 233 120 m (~3,1 %). Cela s'explique par le fait que des cercles plus grands intègrent davantage de linéaires de haies, ce qui réduit la variabilité locale et donc l'incertitude statistique.

- **Densité mesurée vs densité réelle** :
  La densité moyenne mesurée dans les cercles est très proche de la densité réelle calculée à partir de la cartographie exhaustive, ce qui confirme la validité de l'échantillonnage.

- **Nombre de cercles et surface échantillonnée** :
  Le nombre de cercles reste constant (496), mais la surface totale échantillonnée augmente avec le rayon, améliorant la précision globale de l'estimation.

Conclusion
La méthode d'estimation par échantillonnage multi-rayons fournit des résultats fiables et précis pour la longueur totale des haies sur le territoire étudié. L'augmentation du rayon des cercles permet de réduire l'incertitude, mais toutes les estimations convergent vers la valeur réelle, ce qui valide la robustesse de la démarche.
Ce type d'approche est donc pertinent pour des territoires de grande taille, à condition de disposer d'un échantillonnage bien réparti.

c) Visualisation
Une courbe présente l'évolution de l'estimation et de l'incertitude en fonction du rayon du cercle d'échantillonnage :



5. Analyse

Rayon (m)	Estimation (m)	Différence absolue (m)	Différence relative (%)
40	7 540 152,5	53 552,0	0,71
50	7 728 151,7	134 447,2	1,77
60	7 681 497,7	87 793,2	1,16

Rayon (m)	Estimation (m)	Différence absolue (m)	Différence relative (%)
70	7 680 038,1	86 333,6	1,14
80	7 731 197,0	137 492,5	1,81
90	7 757 174,8	163 470,3	2,15
100	7 678 107,0	84 402,5	1,11
110	7 634 450,5	40 746,0	0,54
120	7 601 164,2	7 459,7	0,10
130	7 540 170,1	53 534,4	0,71
140	7 499 178,2	94 526,3	1,24

- **Comparaison estimation/réalité** :
  L'estimation la plus proche de la longueur réelle est obtenue pour un rayon de **120 m**, avec une différence de seulement **0,10 %** par rapport à la réalité.

- **Effet du rayon** :
  On observe que la différence relative varie entre 0,10 % et 2,15 % selon le rayon. Les rayons intermédiaires (110 à 130 m) offrent les estimations les plus proches de la valeur réelle, tandis que les rayons très petits ou très grands peuvent présenter des écarts légèrement supérieurs. Cela montre l'importance du choix du rayon pour optimiser la précision.

- **Qualité de l'échantillonnage** :
  La dispersion des densités mesurées dans les cercles influe fortement sur l'incertitude de l'estimation. Plus le rayon augmente, plus la variabilité entre cercles diminue, ce qui se traduit généralement par une meilleure stabilité de l'estimation, mais une perte de finesse spatiale.

6. Conclusions

- La méthode Teruti-Lucas appliquée à un échantillonnage multi-rayons permet d'obtenir une estimation robuste de la longueur totale des haies, à condition que l'échantillonnage soit représentatif.

- Le choix du rayon constitue un compromis entre précision locale et incertitude globale.

- La comparaison avec la longueur réelle permet de valider la pertinence de la méthode sur ce territoire.

- Il est recommandé de compléter cette approche par une analyse spatiale de la distribution des haies et des cercles.

Conclusion et recommandations pour le protocole de relevé terrain

Les résultats de la simulation montrent que la précision de l'estimation de la longueur totale des haies dépend du rayon des cercles de relevé :

- Plus le rayon est grand, plus l'estimation est précise (écart-type plus faible, différence avec la réalité minimale).
- Cependant, un grand rayon implique une surface à relever plus importante, ce qui peut devenir difficilement réalisable pour un technicien sur le terrain, surtout si d'autres indicateurs (qualité, structure, biodiversité, etc.) doivent aussi être collectés.

Analyse pratique

- **Rayons de 40 à 70 m** :
    - Surface à relever par point : de 0,5 à 1,5 ha environ.
    - Différence relative avec la réalité comprise entre 0,7 % et 1,2 %.
    - Légère augmentation de l'incertitude (écart-type autour de 335 000 à 437 000 m), mais l'estimation reste très proche de la réalité.
    - Relevé rapide, manipulation facile, adapté à un protocole multi-indicateurs.
    -
- **Rayons de 80 à 120 m** :
    - Surface à relever par point : de 2 à 4,5 ha environ.
    - Précision optimale (écart-type < 312 000 m), différence avec la réalité comprise entre 0,1 % et 1,8 % (meilleure précision pour le rayon 120 m avec un écart de seulement 0,10 %).
    - Mais le temps de relevé et l'effort physique augmentent fortement, surtout si le technicien doit parcourir tout le cercle.
- **Rayons > 120 m** :
    - Gain de précision marginal, mais effort de terrain disproportionné.

Recommandation pour un protocole terrain

Pour concilier précision statistique et faisabilité opérationnelle, il est recommandé :

- **De privilégier une tranche de rayon comprise entre 60 m et 110 m** :
    - Cela correspond à une surface par point de 1,1 à 3,8 ha (surface = $\pi \times \text{rayon}^2$).
    - L'estimation de la longueur totale des haies reste très proche de la réalité (différence relative de 0,5 à 1,8 %), avec une incertitude raisonnable.
    - Ce compromis permet au technicien de réaliser le relevé en un temps acceptable, tout en collectant d'autres indicateurs (épaisseur, état, biodiversité, etc.).
- **De limiter le nombre de cercles par campagne** :
    - Mieux vaut multiplier les points de relevé (répartition spatiale) que d'augmenter la taille des cercles.

- **D’adapter le rayon selon la densité du paysage** :
    - Dans les secteurs à forte densité de haies, un rayon plus petit suffit ; dans les secteurs pauvres, un rayon plus grand peut être pertinent.

Annexe : Comment savoir si l'échantillonnage est représentatif ?

1. Répartition spatiale

- **Uniformité** : Les points de relevé doivent être répartis de façon homogène sur l'ensemble du territoire, sans concentration dans une seule zone.
- **Absence de biais** : Éviter de placer tous les cercles dans des zones faciles d'accès, proches des routes ou dans des secteurs connus pour leur forte (ou faible) densité de haies.

2. Prise en compte de la diversité des paysages

- **Stratification** : Si le territoire présente des paysages variés (bocage, plaine, zone urbaine…), il est recommandé de répartir les points dans chaque type de paysage proportionnellement à leur surface.
- **Représentation des gradients** : Inclure des points dans des secteurs à forte, moyenne et faible densité de haies.

3. Nombre de points

- **Suffisance** : Plus le nombre de points est élevé, plus la variabilité locale est capturée, et plus l'estimation est robuste.
- **Diminution de l'écart-type** : Un écart-type (incertitude) faible par rapport à l'estimation globale est un signe que l'échantillonnage capte bien la diversité du territoire.

4. Comparaison avec la réalité (si possible)

- **Validation croisée** : Si une cartographie exhaustive existe, comparer la densité mesurée dans les cercles à la densité réelle sur le territoire.
- **Analyse des résidus** : Vérifier qu'il n'y a pas de secteur systématiquement sur- ou sous-estimé.

5. Méthodes statistiques

- **Test de normalité et d'homogénéité** : Analyser la distribution des densités mesurées dans les cercles (histogramme, test de Shapiro-Wilk…).
- **Analyse de la variance intra/inter-strate** : Si le territoire est stratifié, vérifier que la variance entre strates n'est pas trop forte.

Annexe 3 : **Méthodologie nationale de Réseau Haies France pour établir une cartographie des cycles d'accroissement des haies du territoire**

La croissance des arbres est dépendante de la ressource en eau qu'ils vont trouver, soit par la **réserve hydrique des sols,** soit par les **conditions de pluviométrie** qui sont favorables.

Cela demande de **croiser les données** :

- De **réserve hydrique des sols** en utilisant la cartographie Gisol : https://www.gissol.fr/donnees/cartes/les-reserves-en-eau-utile-de-la-france-metropolitaine-1483
- De **pluviométrie** en utilisant les données de *Météo France* des 10 dernières années maximums (pour prendre en compte le changement climatique) en comparant les moyennes entre les stations et les regrouper par zones : https://donneespubliques.meteofrance.fr/
  NB : Ne pas hésiter à contacter Météo France pour toute question ou besoin de données plus précises suivants les différentes stations météo présentes sur le territoire.

Catégories fixées :

Réserve utile des sols	**Catégorie**
< 50	Très faible
50-100	faible
100-150	moyenne
150-200	forte
>200	très fort

Pluviométrie	**Catégorie**
710-800	Faible
800- 940	Moyen
940-1150	Fort
> 1150	Très fort

Classes de cycles d'accroissement simplifiées en fonction de la pluviométrie et de la réserve utile :

Catégorie	*Cycle d'accroissement*	*Pluviométrie*	*Réserve utile*
N°1	**Cycle 10 ans** accroissement très fort	pluviométrie forte à très forte	réserve utile moyenne à forte
N°2	**Cycle de 15 ans** accroissement fort	pluviométrie faible à moyenne	réserve utile forte à très forte
N°3	**Cycle de 15 ans** accroissement fort	pluviométrie forte à très forte	réserve utile faible (sous réserve que la pluviométrie soit régulièrement répartie et en particulier pendant les périodes de pousses (printemps et automne)

			dans l'année, sinon il s'agit d'un cycle de 30 ans)
N°4	**Cycle de 20 ans** accroissement moyen	pluviométrie moyenne, forte à très forte	réserve utile moyenne
N°5	**Cycle de 30 ans** accroissement faible à très faible	pluviométrie faible à très faible	Toute réserve utile
N°6	**Cycle de 30 ans** accroissement faible à très faible	pluviométrie moyenne	réserve utile faible

Ces cycles sont potentiellement à adapter en fonction de la disponibilité de l'eau au moment de la pousse : pluviométrie au printemps et à l'automne et niveau de température entrainant un phénomène d'évapotranspiration plus importante. C'est un point important à prendre en compte dans un territoire où les sols ont une réserve utile moyenne à faible.

Pour aller plus loin, il est possible d'inclure les données de températures (données climatologiques). Cf étude de gisement de la Creuse.