

# L'AGROFORESTERIE COMME OUTIL « CARBONE » DANS LE CADRE DES PCET

PETIT GUIDE A DESTINATION DES AGENTS TERRITORIAUX



Guide élaboré dans le cadre de la convention ADEME – Chambre Régionale d'Agriculture du Languedoc Roussillon

Mars 2013

Agrooof : Camille Béral, Fabien Liagre, Daniele Ori

Chambre d'Agriculture : Yves Bachevillier

INRA : Rémi Cardinael



# L'AGROFORESTERIE COMME OUTIL « CARBONE » DANS LE CADRE DES PCET

<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>2</b>
CHANGEMENT CLIMATIQUE, AGRICULTURE ET SYLVICULTURE .....	2
LES PLANS CLIMAT-ÉNERGIE TERRITORIAUX.....	2
L'AGROFORESTERIE.....	3
<i>Qu'entend-t-on par agroforesterie ?</i> .....	3
<i>Quels sont ses intérêts dans le cadre du programme de lutte contre le changement climatique ?</i> .....	3
LA DEMARCHE GENERALE D'UN PROJET CARBONE .....	5
<b>ETAPE 1 – MISE EN PLACE DU CADRE DE L'ETUDE.....</b>	<b>6</b>
<b>ETAPE 2 – DIAGNOSTIC « PHYSIQUE » DE LA POTENTIALITE PHYSIQUE DE L'AGROFORESTERIE.....</b>	<b>7</b>
FINALITE ET OBJECTIFS DE L'ETAPE .....	7
MATERIELS ET METHODES .....	7
<i>Où se procurer les bases de données ?</i> .....	7
<i>Comment sélectionner les zones adaptées à l'agroforesterie « carbone » ?</i> .....	8
<i>Comment obtenir la cartographie des surfaces cible ?</i> .....	9
<b>ETAPE 3 – ADOPTABILITE DE L'AGROFORESTERIE PAR LES AGRICULTEURS .....</b>	<b>11</b>
UN PREALABLE INDISPENSABLE – LE DIAGNOSTIC FONCIER .....	11
OBJECTIFS DE L'ETUDE DE FAISABILITE DE L'AGROFORESTERIE.....	11
PROPOSITION D'UNE METHODOLOGIE.....	11
<i>Architecture générale de la démarche</i> .....	11
<i>La prise de rendez-vous</i> .....	12
<i>Comment construire un entretien individuel ?</i> .....	13
<i>Comment analyser les résultats ?</i> .....	13
ELEMENTS STRATEGIQUES POUR DEVELOPPER L'AGROFORESTERIE SUR UN TERRITOIRE .....	14
RECENSER LES PREMIERS CANDIDATS.....	16
<b>ETAPE 4 – MISE EN ŒUVRE DE PROJETS AGROFORESTIERS .....</b>	<b>17</b>
PHASE 1 – CONCEPTION DU PROJET.....	17
<i>Anticiper les procédures administratives</i> .....	17
<i>Comment s'organise le montage technique du projet ?</i> .....	17
PHASE 2 – MISE EN PLACE DU PROJET .....	18
PHASE 3 – SUIVI DU PROJET .....	19
PHASE 4 – ESTIMATION DU POTENTIEL DE SEQUESTRATION CARBONE .....	21
<i>Séquestration de carbone par les arbres agroforestiers</i> .....	21
<i>Evaluation des émissions carbone économisées par substitution</i> .....	22
<b>CONCLUSION .....</b>	<b>25</b>
<b>ANNEXES .....</b>	<b>26</b>
ANNEXE 1 : ELEMENTS DE CALCUL POUR ESTIMER LES QUANTITES DE CARBONE SEQUESTREES EN AGROFORESTERIE .....	26
<i>Très peu d'études sur le sujet...</i> .....	26
<i>Expériences au Canada et aux Etats-Unis</i> .....	27
<i>Expérience en France (INRA)</i> .....	28
<i>Quelles hypothèses retenir ?</i> .....	30
ANNEXE 2 : ELÉMENTS DE CALCUL POUR ESTIMER LA PRODUCTION DE BIOMASSE ÉNERGIE EN AGROFORESTERIE.....	31
ANNEXE 3 : EXEMPLE DE QUESTIONNAIRE D'ENQUETE POUR UN DIAGNOSTIC EXPLOITATION .....	33
ANNEXE 4 : EXEMPLE DE GRILLE DE DIAGNOSTIC PROJET .....	36
<i>Description technique du projet</i> .....	36
<i>Evaluation du coût de mise en place et d'entretien des parcelles</i> .....	38
<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>39</b>

## INTRODUCTION

### CHANGEMENT CLIMATIQUE, AGRICULTURE ET SYLVICULTURE

Depuis une quinzaine d'années en Europe, on assiste à la stagnation des rendements agricoles, phénomène expliqué par l'expertise collective scientifique de l'INRA de 2009 comme conséquence du changement climatique. L'explication principale réside dans l'augmentation des températures printanières, ce qui impacte fortement le stress hydrique et thermique des cultures à des périodes clés de leur physiologie (élongation des épis et remplissage des grains) (Brisson et al., 2010).

Dans le milieu sylvicole, l'effet du changement est contrasté. D'une part, on observe un allongement de la saison de végétation chez les arbres à feuilles caduques et une stimulation de l'activité photosynthétique des arbres, à feuilles caduques ou persistantes, par l'augmentation des niveaux de CO<sub>2</sub> atmosphérique. D'autre part, l'augmentation de la température et les variations de précipitations vont influencer les zones naturelles de développement des essences. En Méditerranée, selon les prévisions du GIEC, les sécheresses seront plus fréquentes et les risques incendie plus importants. Ces aléas climatiques fragilisent les forêts, certaines essences subissant de graves dépérissements, par leur manque de flexibilité physiologique d'adaptation climatique et leur sensibilité accrue aux attaques de parasites (Dupraz et Liagre, 2011).

A l'échelle nationale, le secteur agricole et sylvicole est le troisième secteur de l'économie le plus important en termes d'émissions de gaz à effet de serre ou GES (ADEME, 2010), même si celui-ci ne concerne que 3 des 6 GES retenus par Kyoto. En 2008, les émissions de ces 3 GES représentaient :

- 84% des émissions totales de N<sub>2</sub>O.
- 79% des émissions totales de CH<sub>4</sub>.
- 3% des émissions nationales totales de CO<sub>2</sub>.

Au total, les pratiques agricoles actuelles sont responsables d'environ 20% des émissions de gaz à effet de serre nettes en France (sources et puits de carbone inclus), soit le double de la moyenne européenne. Le potentiel de réduction reste toutefois important. Les émissions de l'agriculture se caractérisent par une part importante des émissions de protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O) et de méthane (CH<sub>4</sub>), deux gaz au pouvoir de réchauffement fort (respectivement 310 et 21 fois plus intensifs que le CO<sub>2</sub>) :

- Le N<sub>2</sub>O provient principalement de l'utilisation d'engrais azotés (dénitrification dans les sols)
- le CH<sub>4</sub> est essentiellement issu de la fermentation provenant de l'activité alimentaire des ruminants et des déjections animales
- Le CO<sub>2</sub> ne contribue qu'à 8% des émissions totales du secteur (hors émissions liées à la fabrication des intrants). Les émissions de CO<sub>2</sub> proviennent principalement de l'utilisation d'énergies fossiles (carburants pour les engins agricoles, chauffage des serres et autres bâtiments, séchoirs à fourrage et grains, ...)

Ces résultats pour l'agriculture sont toutefois légèrement en baisse depuis une quinzaine d'années mais restent sensibles à tout changement d'utilisation des sols. Si l'on exclut les roches carbonatées, les sols constituent le plus grand compartiment de carbone à la surface de la Terre, approximativement 1500 Gt C, l'équivalent d'environ trois fois les stocks de la biomasse continentale et deux fois ceux de l'atmosphère (Lal, 2003). Le stock de carbone du sol étant fortement dépendant du mode d'usage des terres ou des pratiques culturales, une modification de ceux-ci peut conduire à des changements importants des stocks de C des horizons de surface des sols, dans le sens d'une diminution ou d'une augmentation.

### LES PLANS CLIMAT-ENERGIE TERRITORIAUX

En 2010, la loi Grenelle 2 instaure des Schémas Régionaux du Climat, de l'Air et de l'Energie (SRCAE) mais impose également à de nombreuses collectivités d'adopter un Plan Climat-Energie Territorial (PCET) avant le 31 décembre 2012. Cela correspond à une démarche de développement durable axée spécifiquement sur la lutte contre le changement climatique et dont les plans poursuivent les deux objectifs principaux (ADEME, 2009) :

- **Atténuation des émissions de GES** : Limiter l'impact du territoire sur le climat, en réduisant les émissions de GES dans la cadre du « facteur 4 » par une meilleure efficacité énergétique, le développement des ressources renouvelables, le recyclage des déchets et d'une transformation profonde des politiques de transport.

- **Adaptation au changement climatique** : Réduire la vulnérabilité du territoire par l'intégration des phénomènes de changement climatique dans les décisions sur le long terme et par l'acceptation de conditions de vie différentes.

Un PCET constitue le cadre d'engagement d'un territoire face au changement climatique et met en évidence l'ensemble des actions et mesures à mettre en œuvre pour réduire les émissions de GES. Les domaines concernés prennent en compte tous les secteurs de l'économie et de la vie quotidienne (ADEME, 2009)

## L'AGROFORESTERIE

### QU'ENTEND-T-ON PAR AGROFORESTERIE ?

Les systèmes agroforestiers se définissent comme des systèmes de production agricole où les arbres sont associés aux cultures et/ou aux pâturages. Pouvant se présenter sous une diversité de formes (alignement intraparcellaires, haies, bocage...etc.), et répondant à une diversité d'objectifs (bois d'œuvre, bois énergie, biodiversité...etc.), l'agroforesterie est une pratique agroécologique jouant sur les complémentarités entre les arbres, les cultures et les animaux, mais également sur une complémentarité globale entre la production agricole, la rentabilité des systèmes agricole, la création d'un paysage et le respect de l'environnement.



Dans un programme Carbone, on cherchera à mettre en place des **projets agroforestiers productifs**, c'est-à-dire présentant des potentiels de croissance sylvicoles élevés. En effet, on peut imaginer différents projets agroforestiers sur un territoire, avec des fonctions différentes, comme par exemple la biodiversité, mais présentant un faible intérêt pour la séquestration carbone (arbres florifères de petite taille mais avec faible croissance par exemple). Certes, on peut toutefois imaginer des projets sur du très long terme, avec des arbres pluri-centenaires qui pourrait également avoir un rôle intéressant. Mais ces systèmes présentent l'inconvénient de concevoir des projets sur plusieurs générations et avec des rythmes de séquestration lents. On ne les retiendra pas pour notre étude mais on pourrait toutefois imaginer une mesure complémentaire pour encourager ce type de projet...

Dans le travail suivant, on définira des surfaces dont le potentiel est parfaitement adapté à cet objectif, où les arbres auront un potentiel de production d'environ 1 m<sup>3</sup> de bois d'œuvre à la récolte (en moyenne sur 40 ans) pour un accroissement annuel du diamètre du tronc supérieur à 2 centimètres.

### QUELS SONT SES INTERETS DANS LE CADRE DU PROGRAMME DE LUTTE CONTRE LE CHANGEMENT CLIMATIQUE ?

#### 1- Favoriser l'adaptation au changement climatique



Les travaux de l'INRA de Montpellier montrent le rôle essentiel que jouent les systèmes agroforestiers dans l'effet tampon face aux accidents climatiques (manque d'eau, températures excessives).

La compétition des cultures favorise un enracinement profond des arbres agroforestiers (Mulia et Dupraz, 2006) ce qui leur permet un meilleur ancrage au sol et une meilleure résistance face aux accidents climatiques tels que les tempêtes et les crues. Grâce à une meilleure alimentation en eau, ils résistent également mieux aux sécheresses. En parallèle, le microclimat créé par leur présence peut réduire les stress thermiques et hydriques de la culture, ce qui peut se traduire par une sénescence des feuilles plus tardive, ou un allongement de la durée de remplissage des grains. La compétition pour l'ombre est toutefois à gérer pour éviter un manque de lumière qui entraînerait une diminution trop importante du nombre de grains, et donc du rendement final. Pour cela, l'agriculteur peut jouer sur les densités et espacements, ainsi que sur les opérations d'entretien, telles que l'élagage, l'émondage et



éventuellement les éclaircies. A contrario, pour les animaux, les arbres apportent un confort certain en les protégeant des intempéries et excès de chaleur.

## 2- Contribuer à l'atténuation du changement climatique...

### *... en séquestrant du carbone*

Les expérimentations de la recherche en milieu tempéré ont permis de souligner une productivité des arbres agroforestiers supérieure en comparaison des arbres forestiers. On estime qu'un système agroforestier peut séquestrer entre 1,5 et 3 tC/ha/an, décliné selon la partie stockée dans la biomasse aérienne et la biomasse souterraine. En comparaison, un hectare forestier permettrait de séquestrer en moyenne 1tC/ha/an (voir annexe 1 sur les méthodes de calcul des bilans carbone pour un ha agroforestier).



La partie du carbone stockée dans le sol est sans doute la plus intéressante car une partie du carbone peut être stabilisée durablement. Une partie de ce carbone va stimuler la vie du sol en apportant de la matière organique par le renouvellement de leurs feuilles et de leurs racines fines. Le niveau d'activité biologique, couplé aux itinéraires techniques agricoles (et notamment le travail du sol), va alors jouer un rôle très important sur la stabilisation de ce carbone en profondeur. Mais le calcul est complexe car un grand nombre de paramètres rentrent en ligne de compte et peu de travaux arrivent à estimer le devenir de ce carbone dans le sol. Le stockage du carbone dans les sols et son évolution en lien avec les processus biogéochimiques et biologiques font l'objet du projet de recherche AGRIPSOL<sup>1</sup>, financé dans le cadre de l'Appel à Projet REACTIF de l'Ademe. Ce projet permettra sans doute de proposer des itinéraires techniques aux agriculteurs et d'étudier la pertinence de politiques territoriales agroforestières dans un contexte de réduction des émissions de GES.

Un autre enjeu lié à la gestion de la fertilité et indirectement sur les émissions de N<sub>2</sub>O, pourrait être la capacité d'un système agroforestier à recycler l'azote organique et à diminuer l'utilisation d'engrais minéraux ou d'engrais organique. Mais les bilans sont complexes à réaliser et le manque de connaissances nous empêche de retenir cet aspect ici. Pour les mêmes raisons, la capacité des sols agroforestiers à capter le CH<sub>4</sub> ne sera pas retenue pour cette étude.

### *... en produisant de la biomasse lignocellulosique*

La biomasse aérienne va également stocker une large partie du carbone. Néanmoins, son utilisation sera également source d'émissions, qu'il faut bien entendu nuancer par le fait que son exploitation peut permettre des économies en termes de bilan carbone par un phénomène de substitution de produits carbonés conventionnels (énergie, plastique, produits de synthèse...). La production de biomasse en agriculture est d'ailleurs un déficit majeur pour les différentes filières. Et l'option souvent avancée concernant la conversion des terres à des cultures dédiées à la biomasse énergie (Taillis à Courte (ou très courte) Rotation...) se heurte à de nombreuses réticences au sein du monde agricole (concurrence directe pour la production de denrées alimentaires, bilan économique incertain car très demandeuses en irrigation, fertilisation voire pesticides (fongicides notamment)).

Dans ce contexte, les systèmes agroforestiers présentent l'avantage de jouer sur la complémentarité entre les productions alimentaires et les productions énergétiques tout en apportant différents avantages transversaux (biodiversité, fertilité des sols...).

- 1- **Bois énergie** (Bois bûche ; Plaquettes ; Granulés ; Ecorces ou sciures) : Dans le contexte actuel où les prix des énergies fossiles augmente et où l'on assiste à une demande grandissante d'énergies renouvelables, il est vraisemblable que la filière bois soit de plus en plus sollicitée. Dans le cas où les ressources sont gérées durablement (arbres replantés), l'utilisation du bois énergie est neutre au regard des émissions de gaz à effet de serre. Ainsi, l'utilisation d'une tonne de bois en substitution du fioul permet d'éviter l'émission de 900 kg de Co<sub>2</sub>, soit l'équivalent de 6000 km de voiture particulière (Conseil Régional Languedoc Roussillon, 2007.).
- 2- **Bois d'œuvre** : L'agroforesterie permettrait de produire un bois local, de qualité et contribuerait à préserver les forêts tropicales grandement menacées par la déforestation et la libération de carbone que cela entraîne.
- 3- **Bois Raméal Fragmenté** (BRF) : C'est le résultat du broyage frais de rameaux et petites branches vertes d'un diamètre inférieur à 7cm (avec ou sans feuilles), préférablement de feuillus (avec toutefois la possibilité d'utiliser 20% de conifères). Ils contribuent à l'aggradation des sols, c'est-à-dire qu'ils stimulent l'activité biologique et la formation d'humus pour créer des conditions de fertilité biologique stable. S'ils suscitent de

<sup>1</sup> Agroforesterie pour la Protection des SOLs – Etude de l'impact des arbres agroforestiers sur le fonctionnement biogéochimique du sol – Financé par l'ADEME.

plus en plus l'intérêt de nombreux agriculteurs souhaitant maintenir et améliorer la vie de leurs sols, la filière d'approvisionnement (production et distribution) reste encore le principal facteur limitant. Les agriculteurs peinent à s'en procurer et le coût de production par rapport au volume demandé par hectare (entre 100 et 200 m3/ha) est très élevé, quasiment rédhibitoire.

(voir en annexe 2 les méthodes de calculs utilisées dans l'étude pour estimer la réduction des émissions carbone en agroforesterie par l'utilisation de biomasse renouvelable)

## LA DEMARCHE GENERALE D'UN PROJET CARBONE

Dans le cadre d'une démarche PCET, l'intérêt premier de l'agroforesterie sera son rôle dans la séquestration carbone.

Si une collectivité souhaite étudier le potentiel de développement de l'agroforesterie dans ce cadre, nous proposons une approche en différentes étapes :

### Étape 1 – Mise en place du cadre de l'étude

#### **Travail bibliographique / Concertation entre acteurs locaux / Définition de la zone d'étude**

Consistant principalement en un travail bibliographique et en la rencontre des acteurs territoriaux impliqués, cette étape permet de prendre connaissance du territoire concerné et du PCET en place, de recueillir les attentes de chaque partenaire et de leur présenter l'agroforesterie et son potentiel à l'échelle du territoire. Cette étape permet de poser les bases de l'étude en faisant le point sur les objectifs de chacun, les compromis à réaliser pour concilier les intérêts des acteurs. L'agroforesterie se concevant sur le long terme, la mise en place d'un projet territorial demandera des investissements en moyens humains et financiers, qu'il faut apprécier sur le long terme.

Cette étape essentielle est également l'occasion de valider précisément avec l'ensemble des acteurs impliqués, la zone d'étude que l'on suppose délimitée par les contours du PCET.

### Étape 2 - Diagnostic physique du territoire

#### **A différentes échelles : région, PCET...**

Grâce à l'outil des Systèmes d'Informations Géographiques (SIG), cette étape permet de mettre en évidence les surfaces potentielles pour une agroforesterie à vocation carbone, c'est-à-dire productive. Ce travail peut également être croisé avec la mise en évidence de zones prioritaires selon des enjeux liés à l'intercommunalité ou à la région (changement climatique, qualité de l'eau, trame verte et bleue...).

### Étape 3 - Diagnostic socio-économique

#### **Diagnostic foncier / Enquêtes / Facteurs d'adoption / Plan d'action**

La première tâche de cette étape est d'évaluer les enjeux liés au foncier pour les prochaines décennies. L'agroforesterie s'inscrivant durablement dans le paysage agricole, il est nécessaire de savoir comment va évoluer la gestion du foncier agricole, définir les modes d'exploitations à venir et d'appréhender la place de l'agroforesterie dans ce contexte. Il s'agira ici d'anticiper et d'identifier les éventuelles pressions foncières et les moyens disponibles pour les lever en proposant éventuellement l'adaptation ou la création d'outils juridiques ou réglementaires.

Dans un second temps, il s'agit d'identifier les conditions de l'acceptabilité de l'agroforesterie par les agriculteurs et les propriétaires de la zone étudiée. Cette phase passe par la rencontre directe des acteurs, au travers d'entretiens individuels ou collectifs. Ce travail a pour but de comprendre le comportement des agriculteurs/propriétaires face au changement climatique et aux politiques « Carbone », aux innovations agronomiques et à l'agroforesterie, et d'identifier les déterminants de son adoption ou de son refus. La rencontre physique permet d'entamer avec eux une dynamique de réflexion et d'action qu'il sera important de pérenniser. C'est également la possibilité de repérer les premiers candidats aux projets, qui pourront servir de sites pilotes pour la suite du programme.

### Étape 4 - Montage et suivi des projets

#### **Rencontre candidats / Objectifs / Diagnostic / Dossier technique / Plantation et Suivi**

Ce travail vise à accompagner les agriculteurs et propriétaires motivés par un projet, identifiés essentiellement lors de l'étape précédente. Un diagnostic approfondi permettra de bien cerner les objectifs et souhaits des porteurs de projet, mais également d'évaluer le potentiel des parcelles choisies. Lors de cette phase, le porteur du projet est accompagné dans la définition de son projet, dans le montage technique et administratif, et dans la planification des différentes opérations techniques à réaliser. Selon la motivation des acteurs, certains projets pourront faire l'objet d'une expérimentation où il sera possible de tester différents modes d'aménagement, définis selon les questionnements et doutes techniques révélés lors des enquêtes.

## ETAPE 1 – MISE EN PLACE DU CADRE DE L'ETUDE

### Les objectifs poursuivis:

- Identifier les principaux acteurs et délimiter la zone d'étude
- Sensibiliser les acteurs à l'agroforesterie et de son intérêt dans le cadre du changement climatique
- Faire un état des lieux éventuel des pratiques agroforestières traditionnelles (haies, bosquets, alignements...) sur le territoire du PCET
- Recenser les actions qui ont déjà été menées ou prévues, et les ressources humaines disponibles.

### Les points clés

- Bien appréhender ce qu'est l'agroforesterie.
- S'assurer du consensus entre les différents acteurs.
- Organiser et planifier le projet.

Des informations générales sur l'agroforesterie et son fonctionnement peuvent se trouver auprès de structures spécialisées (AGROOF, AFAHC, AFAF...etc.), dans la littérature, ou encore auprès d'organismes tels que les chambres d'agriculture, les CIVAM, les CRPF, etc. Voir bibliographie.

Dans une optique de séquestration de carbone, les systèmes agroforestiers s'ils sont productifs d'un point de vue sylvicole, doivent également permettre la poursuite de la production agricole jusqu'à la récolte des arbres. La densité d'arbres finale est en moyenne de 50 arbres/ha.

On pourrait imaginer des peuplements plus importants en termes de densité, et donc potentiellement plus intéressants sur leur capacité à stocker du carbone, mais ces systèmes ne sont rarement choisis par les agriculteurs du fait de la difficulté de cultiver lorsque les arbres deviennent adultes (forte compétition pour la lumière).



**Cette agroforesterie « carbone » ne ciblant que des systèmes stables dans le temps, en terres productives, semble ici le choix le plus pertinent pour une étude à l'échelle d'un territoire.** Le stockage du carbone ne se ferait pas au détriment de la production agricole et permettrait en plus de répondre à d'autres enjeux territoriaux (qualité de l'eau, lutte contre l'érosion, production de biomasse...etc.). **Le potentiel calculé correspondra toutefois à un minimum.**

Néanmoins, cette moyenne reste à moduler selon les systèmes de production. Ainsi, en élevage, on peut imaginer des densités plus élevées alors qu'en système viticole, on optera pour des densités comprises entre 30 et 50 arbres par hectare.

Le tableau suivant indique les fourchettes de densités permettant une production jusqu'à la coupe des arbres, sans devoir modifier les rotations en place :

Production	Densité initiale (arbres/ha)	Densité finale visée (arbres/ha)
Grandes cultures	50 à 80	40 à 60
Maraichage	50 à 100	40 à 80
Prairies permanentes	50 à 100	50 à 80
Vigne et arboriculture	40 à 60	30 à 50

On distingue la densité initiale (densité à la plantation) de la densité finale (densité objectif après sélection des plus beaux arbres suite à une mauvaise croissance voire à une mortalité probable de quelques individus).

Si les arbres sont menés en têtard, on peut imaginer des peuplements plus denses. En effet, les interventions régulières sur les houppiers (tous les 3 à 5 ans par ex), vont permettre de maintenir un ensoleillement suffisant pour maintenir des niveaux de rendements rentables pour l'agriculteur.

## ETAPE 2 – DIAGNOSTIC « PHYSIQUE » DE LA POTENTIALITE PHYSIQUE DE L'AGROFORESTERIE

### FINALITE ET OBJECTIFS DE L'ETAPE

L'objectif du diagnostic territorial est d'estimer les surfaces suffisamment productives pour envisager des plantations agroforestières non risquées d'un point de vue rentabilité pour l'agriculteur et favorables à une croissance des arbres dans un but de séquestration du carbone. Ces surfaces seront retenues pour l'étape suivante.



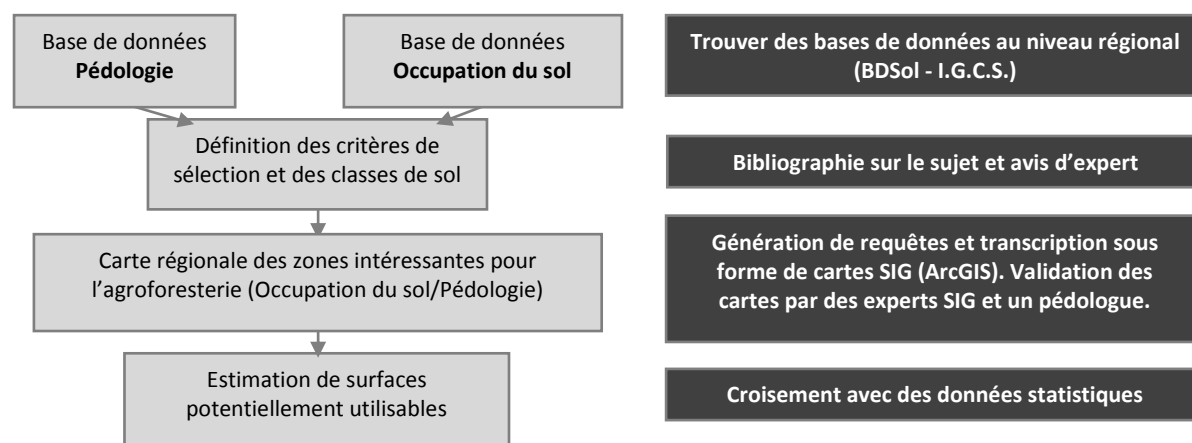
Cela ne signifie pas que l'agroforesterie est impossible sur les autres surfaces du territoire qui sont alors qualifiées de peu ou moyennement favorables. Les surfaces moins favorables ou présentant des risques d'un point de vue reprise ou croissance des arbres peuvent accueillir des projets agroforestiers visant à d'autres objectifs (conservation de la biodiversité, qualité de l'eau...etc.).

#### Les points clés

- Cerner les zones à bon potentiel.
- Trouver des bases de données cartographiques à jour et suffisamment précises.
- Maîtriser les outils SIG.
- Comprendre et connaître les limites de sa cartographie.

### MATERIELS ET METHODES

Cette étape se base sur une approche cartographique sous Système d'Information Géographique (SIG). En voici les principales phases :



### OÙ SE PROCURER LES BASES DE DONNEES ?

Pour cette étape, il est nécessaire d'avoir accès à des bases des données sur la pédologie et l'occupation des sols de la zone étudiée. L'INRA travaille sur une base de données nationale regroupant les informations spatiales pédologiques (base de données DONESOL). Les données contenues dans DONESOL appartiennent aux différents organismes participant à l'élaboration de cette base. L'accessibilité à ces données doit donc faire l'objet d'autorisations préalables.

Dans le cas de l'étude réalisée en Languedoc-Roussillon (Cardinael R., 2011), voici les bases de données utilisées :

Pour les critères pédologiques : Les données (1/250000<sup>ème</sup>) proviennent de la base de données BDSolLR issue du programme national I.G.C.S (Inventaire Gestion et Conservation des sols). Il faut bien prendre en compte la précision des informations fournies par la cartographie. L'unité de sol cartographiée peut correspondre à différents types de sols présents dans différentes proportions. Dans le cadre de ce guide, le choix a été fait de représenter le type de sol majoritaire. Cela signifie qu'il peut exister des zones qui n'ont pas été retenues où les sols seraient compatibles avec une agroforesterie productive, mais qui ne sont pas représentées sur la carte car leur surface était trop petite.

Source : <http://www.gissol.fr/programme/igcs/igcs.php>

Pour les critères d'occupation de sol : Les données (1/50000<sup>ème</sup>) proviennent de la base de données Ocsol (2006) de l'association Systèmes d'Information Géographique en Languedoc-Roussillon (SIG L-R). Cette cartographie est construite à partir de l'interprétation d'images satellites. Ces images satellites LANDSAT sont traitées numériquement par un logiciel pour faire correspondre une parcelle agricole à un type d'occupation des sols (forêts, vignes, grande



culture...). Comme tout traitement automatisé d'images, des erreurs peuvent exister, il est important ensuite de comparer les occupations du sol avec des données statistiques par exemple (FranceAgrimer, INSEE...).

Source : <http://www.siglr.org/>

## COMMENT SÉLECTIONNER LES ZONES ADAPTÉES À L'AGROFORESTERIE « CARBONE » ?

Les critères concernant la pédologie et l'occupation des sols sont les deux critères nécessaires à l'étude du potentiel physique de développement de l'agroforesterie.

### Critère 1 : Pédologie

Le choix des paramètres dépend des caractéristiques de chaque région, choisi par des experts forestiers. Ces paramètres sont essentiels pour la bonne réussite du projet. D'autres paramètres, comme le pH du sol, n'y figurent pas. S'ils sont importants pour décider du choix des essences, ils ne sont toutefois pas discriminants pour la présence d'arbre en tant que tel. Il suffira simplement de choisir les bonnes essences adaptées à ces conditions.

Généralement, cinq paramètres sont retenus : Salinité, profondeur du sol, réserve utile, profondeur de nappe et fissuration de la roche mère. Chaque paramètre est ensuite affecté de seuils permettant d'apprécier sa contribution plus ou moins positive au potentiel de développement de l'agroforesterie.

- **Salinité du sol** : Très peu de cultures et d'essences d'arbres sont adaptées aux sols salés. Il serait possible de faire de l'agroforesterie sur des sols salés mais le choix d'essences est alors restreint et les résultats de production sont variables. Ce critère est assez rare. **Les sols salés sont exclus.**
- **Profondeur du sol** : Favoriser l'enracinement en profondeur des arbres de manière à réduire les phénomènes de compétition avec les cultures. **Les sols de moins de 50cm de profondeur sont exclus.**
- **Réserve Utile** : Nous excluons les sols secs n'ayant pas une RU suffisante pour accueillir à la fois des arbres et des cultures. **Les sols ayant une réserve utile inférieure à 75cm sont exclus.**
- **Profondeur de nappe** : Une nappe relativement proche peut permettre une bonne alimentation en eau des arbres. A condition toutefois que la nappe n'affleure pas trop longtemps en surface au risque d'asphyxier les arbres.
- **Fissuration de la roche mère** : Une roche fissurée permet de laisser passer les racines des arbres en profondeur.

Ces deux derniers paramètres ne sont pas disponibles sous format SIG.

En combinant les trois premiers critères, en nous basant sur des résultats d'essais et en demandant l'avis d'experts, nous avons défini trois classes de potentiels des sols pour l'agroforesterie. Les sols bons présentent de bonnes profondeurs et une bonne réserve utile. Les sols à mauvais potentiels ont été exclus :

Potentiel	Salinité du sol	Profondeur du sol (cm)	RU du sol (mm)
<b>Elevé</b>	pas de salinité	≥ 100	≥ 125
<b>Bon</b>	pas de salinité	≥ 100	75 ≤ RU < 125
	pas de salinité	50 ≤ profondeur < 100	≥ 125
<b>Moyen</b>	pas de salinité	50 ≤ profondeur < 100	75 ≤ RU < 125

Définition des différentes classes de potentiels des sols vis-à-vis de l'agroforesterie

### Critère 2 : Occupation du sol

Ce critère est basé sur quatre indicateurs jugés compatibles avec la mise en place de parcelles agroforestières à vocation bois d'œuvre et séquestration de carbone.

Indicateurs	Explications
<b>Prairies</b>	Compatibles dans la mesure où il est possible d'y réaliser des systèmes sylvopastoraux.
<b>Vignobles</b>	Possibilité d'associer la vigne à des rangs d'arbres autour ou dans les parcelles (à réfléchir avant l'implantation de la vigne si possible).
<b>Terres arables</b>	Terres arables autres que serres et rizières.

	Territoires principalement occupés par l'agriculture, avec présence de végétation naturelle.
<b>Systèmes complexes</b>	Systèmes culturaux et parcellaires complexes (Juxtaposition de petites parcelles de cultures annuelles diversifiées, de prairies et/ou de cultures permanentes complexes). Agroforesterie difficile à mettre en place...
<b>Landes et estives</b>	Surfaces exclues car peu productives et généralement sur terrains superficiels

Comme souligné précédemment, il est important de distinguer les prairies, les terres arables et les vignobles, car les projets agroforestiers sont différents : la densité d'arbres, les essences et les conduites des arbres ne sont pas les mêmes, si bien que l'impact sur la séquestration du carbone est différent.

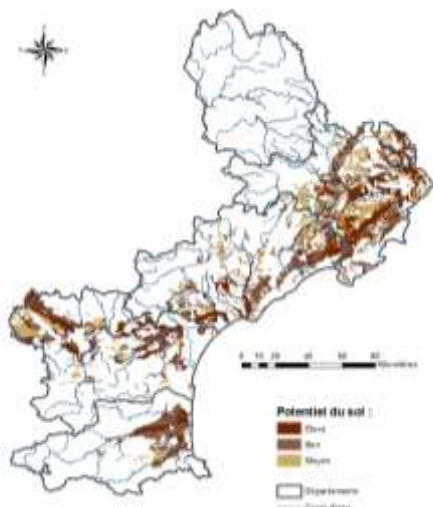
#### COMMENT OBTENIR LA CARTOGRAPHIE DES SURFACES CIBLE ?

Il s'agit de croiser, par le biais de requêtes dans les bases de données, les deux critères précédemment présentés. Cela nous permet alors de mettre en évidence au sein des différents types d'occupation du sol, lesquels sont sur des sols favorables à l'agroforesterie à vocation « carbone ». Il faut ensuite les retranscrire sous forme cartographique et estimer les surfaces totales.

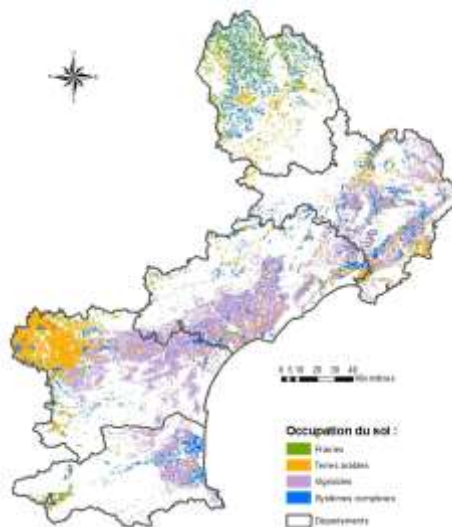
Ce croisement peut se réaliser à différentes échelles, régionale ou PCET. Pour un PCET, il est alors possible de distinguer les îlots ou communes ayant le plus grand potentiel physique d'accueil de systèmes agroforestiers.

## Illustration avec l'exemple du Languedoc-Roussillon

### CRITERE 1 - PEDOLOGIE



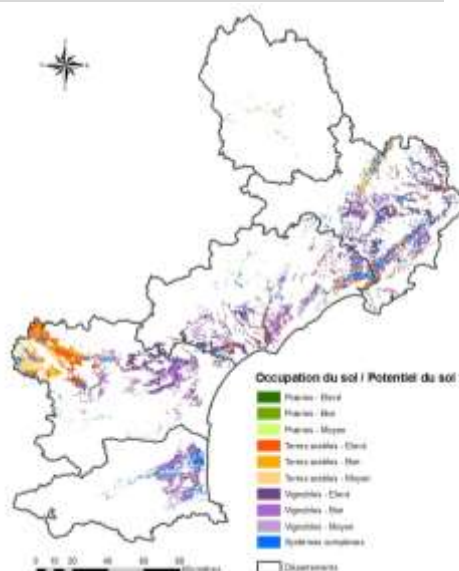
### CRITERE 2 – OCCUPATION DU SOL



### CROISEMENT CRITERE 1 x CRITERE 2

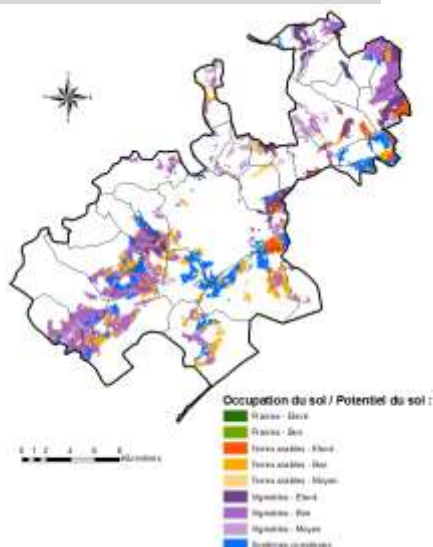
A l'échelle de la région, la superposition des couches précédentes indique 280000 ha favorables à l'agroforesterie dont :

- 2000 ha en prairie (3% de la surface prairiale),
- 132000 ha en terres arables (soit 47% des terres arables)
- 146000 ha en vignes (51% des vignobles).
- 41% de la surface occupée par les systèmes complexes



### DECOUPAGE PCET

A l'échelle du PCET, 70% de la surface agricole (Prairies, terres arables, vignes et systèmes complexes) a été identifiée comme étant sur un sol favorable à l'agroforesterie « carbone ».



## ETAPE 3 – ADOPTABILITE DE L'AGROFORESTERIE PAR LES AGRICULTEURS

### UN PREALABLE INDISPENSABLE – LE DIAGNOSTIC FONCIER

Ce travail permet d'identifier les zones où l'agroforesterie, qui représente un investissement à long terme, serait plus difficile à développer et de prendre en compte les éventuelles pressions foncières lors de la rencontre des agriculteurs. Cela permet de mettre en évidence les freins inhérents au territoire et les leviers administratifs et politiques qui pourraient être mobilisés pour les lever.

Il s'agit ainsi, de :

- Faire un état des lieux de la gestion du foncier
- Identifier les pressions foncières présentes et futures

#### Les points clés

- Anticiper les politiques foncières et les évolutions juridiques du foncier agricole.

### OBJECTIFS DE L'ETUDE DE FAISABILITE DE L'AGROFORESTERIE

La finalité du travail de l'étude est de pouvoir à terme déterminer une politique volontariste pour favoriser l'adoption à grande échelle des systèmes agroforestiers. Pour cela, il est nécessaire de bien comprendre le fonctionnement des exploitations sur le terrain et les mécanismes d'adoption de systèmes innovants dont fait parti l'agroforesterie. Les enquêtes réalisées auprès des agriculteurs possédant ou louant les surfaces identifiées dans l'étape précédente ont ainsi pour but de mettre en évidence les facteurs sociaux, économiques, techniques et réglementaires de l'adoption et de la mise en place de systèmes agroforestiers.

L'étape est déclinée en plusieurs actions :

- Créer un échantillon représentatif du territoire concerné. On répertoriera la diversité et la variabilité des exploitations agricoles afin de construire des typologies pertinentes (type de production, ressources humaines, taille des exploitations, zone à enjeux prioritaire...). On précisera ainsi quelles catégories d'agriculteurs peuvent être intéressées prioritairement par l'agroforesterie « carbone ».
- Elaborer le questionnaire (voir annexe). La longueur du questionnaire est souvent un élément à discuter avec les partenaires. En effet, la disponibilité des agriculteurs peut varier en fonction du type de production ou du moment de l'année. Il est parfois préférable de viser des questionnaires un peu plus courts (pour réaliser une heure d'entretien) afin d'obtenir le plus grand nombre de personnes rencontrées. A contrario, des entretiens longs, s'ils ne permettent pas d'avoir un large échantillon, permettent de décrire précisément le fonctionnement des exploitations et les modes de prise de décisions, riches d'enseignements pour imaginer par la suite des actions de communication ou de formation à entreprendre pour favoriser l'adoption de l'agroforesterie...
- L'entretien lui-même, qui aidera à préciser les facteurs d'adoption de l'agroforesterie et les facteurs limitants spécifiques de la zone d'étude. On comptera une demi-journée par entretien en moyenne. Ce temps comprend le temps de prise de rendez-vous, de traitement des données.
- La conclusion de ce travail sera de proposer des pistes afin de favoriser le développement de l'agroforesterie dans l'agglomération ou/et dans la région.

#### Les points clés

- Connaître au préalable l'activité agricole de la zone.
- Bien préparer la prise de contact avec les agriculteurs.
- Eviter les périodes de pointes.
- Eviter les questionnaires trop fermés.
- Anticiper sur l'analyse des données.

### PROPOSITION D'UNE METHODOLOGIE

#### ARCHITECTURE GENERALE DE LA DEMARCHE

L'étude est organisée de telle manière qu'elle puisse produire au final une typologie des exploitants favorables ou non à l'agroforesterie, ainsi que les indécis. Cette catégorisation est importante car la politique d'animation qui en découlera sera différente selon chaque groupe.

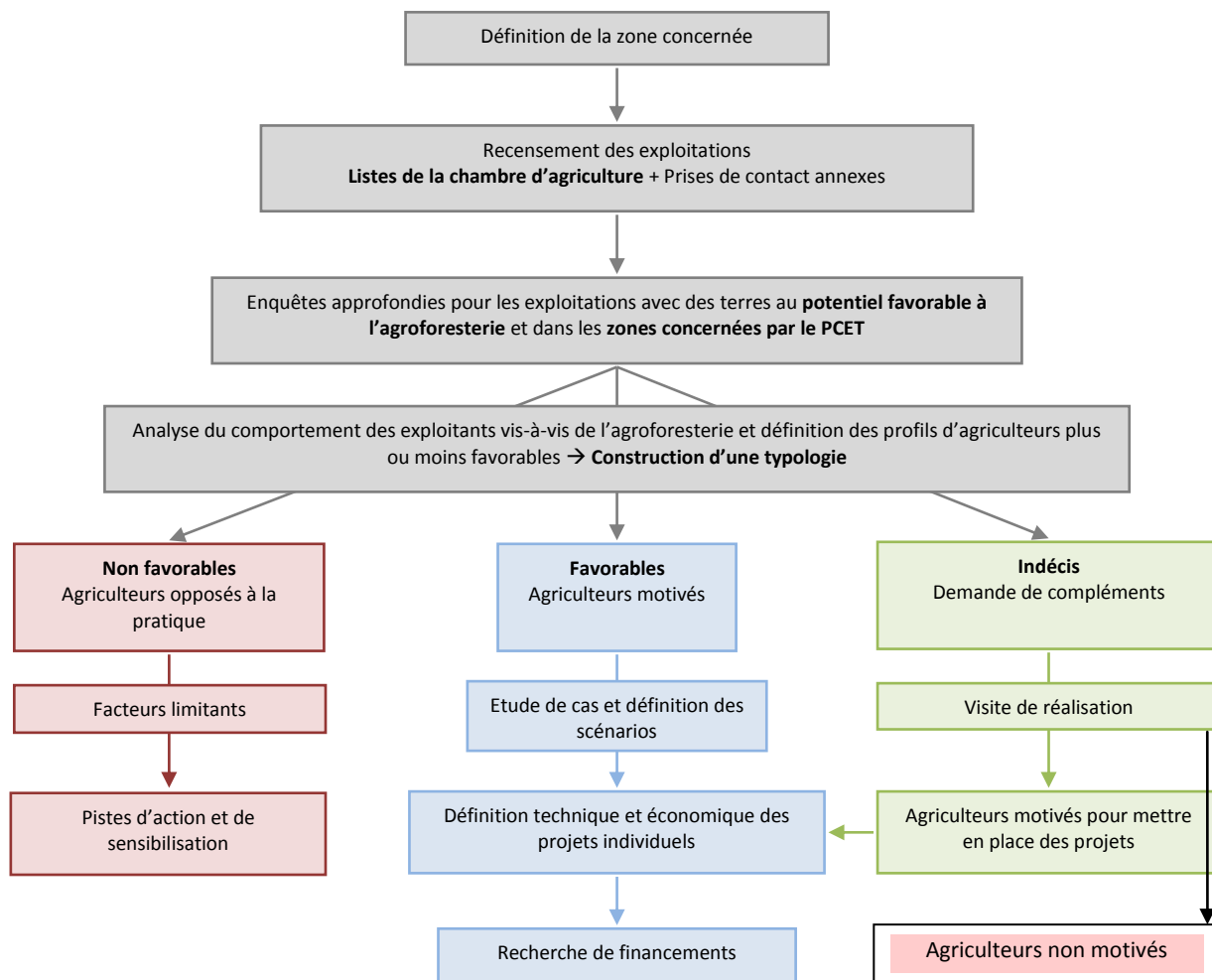


Figure 1 – Schéma de la démarche concernant le diagnostic socio-économique

## LA PRISE DE RENDEZ-VOUS

En se basant sur les étapes précédentes, les communes ou les zones au sein du PCET à enquêter ont été identifiées. Une fois les listings d'agriculteurs obtenus, la prise de contact se fait en accord avec les partenaires qui ont fournis les éléments.

La prise de rendez-vous est une opération à ne pas prendre à la légère si on veut s'assurer d'avoir un échantillon de réponses positives la plus représentative possible. Généralement, on prévient par courrier avant d'appeler par téléphone.

1. **Courrier** : Envoi d'un courrier prévenant les agriculteurs de la réalisation d'une étude sur les alternatives possibles aux systèmes de cultures traditionnels et en particulier sur les systèmes agroforestiers.
2. **Appel par téléphone** : Prise de contact téléphonique pour convenir avec eux d'un rendez-vous ou pour comprendre leur éventuel refus.
3. **Rencontre** : Réalisation des entretiens de préférence en dehors des périodes de pointe (éviter les périodes de semis et de moisson par exemple).

Lors de l'appel par téléphone, on annonce le travail d'enquête sur un thème général autour des problématiques carbone. On évite de parler d'arbres ou d'agroforesterie afin de ne pas susciter de refus immédiat. En effet, l'agroforesterie, souvent méconnue, peut susciter des craintes voire un rejet dans le sens où elle est souvent assimilée à tort à du boisement forestier. On abordera le thème de l'agroforesterie que lors du rendez-vous proprement dit.



---

## COMMENT CONSTRUIRE UN ENTRETIEN INDIVIDUEL ?

On aborde rarement de manière directe le thème de l'agroforesterie ou du changement climatique. On passe d'abord par une phase d'entretien général sur le fonctionnement de l'exploitation puis sur leur manière d'aborder les systèmes innovants. Ensuite, on aborde l'arbre au sens large pour affiner peu à peu vers les pratiques agroforestières.

Pour enclencher les actions de développement de l'agroforesterie, il faut comprendre les freins et les motivations des agriculteurs face à l'agroforesterie et appréhender également leur stratégie d'exploitation, ce qui les pousse ou les freine dans l'innovation agronomique.

Exemple de déroulement d'un entretien :

- 1- **Le fonctionnement actuel de l'exploitation** : Statut de l'exploitation, description du parcellaire, pratiques agricoles (évolution et perspectives), fonctionnement socio-économique de l'exploitation et organisation du travail.
- 2- **Le comportement vis-à-vis de nouvelles pratiques** : Discussions autour des changements de pratiques passés et à venir au sein de l'exploitation, définition des motivations et freins au changement, description du rôle de l'accompagnement dans la démarche d'innovation.
- 3- **Le comportement vis-à-vis de l'arbre** : Perception de l'arbre, intérêts et contraintes des arbres, description des éléments arborés sur l'exploitation et de leur gestion.
- 4- **Le comportement vis-à-vis du changement climatique** : Connaissance du changement climatique, observations de certains phénomènes, adaptations de leurs systèmes de production, perspectives.
- 5- **Le comportement vis-à-vis de l'agroforesterie** : Connaissance de l'agroforesterie, opinions, freins, motivations, leviers pour son développement.

Voir en annexe 3 un exemple de questionnaire.

---

## COMMENT ANALYSER LES RESULTATS ?

Les variables générées par les enquêtes étant souvent qualitatives, l'analyse des résultats peut se faire par analyse statistique descriptive. Si l'échantillon est suffisamment important (supérieur à 40 enquêtes par exemple), on pourra utiliser l'analyse factorielle multiple pour déterminer la variabilité entre les variables observées. Pour de faibles échantillons, on préférera réaliser une analyse descriptive plus simple. On évitera le piège qui consiste à créer des groupes d'individus très réduits tout en laissant supposer qu'ils représentent un grand nombre dans la présentation des résultats exprimés sous forme de pourcentage et non de nombre d'individus.

Après enquêtes, les résultats sont sauvegardés sur une grille de saisie sous tableur par exemple. L'analyse se fait alors en trois phases principales regroupant une série de questions clés:

- 1- **Caractériser les agriculteurs rencontrés :**
  - a. Qui sont-ils ? Sont-ils représentatifs de l'agriculture du territoire ?
  - b. Quel est leur comportement vis-à-vis du changement climatique ?
  - c. Quel est leur comportement vis-à-vis des pratiques innovantes ?
  - d. Quel est leur comportement vis-à-vis des arbres et de l'agroforesterie ?
- 2- **Faire une typologie des agriculteurs sur l'adoption de systèmes agroforestiers :**
  - a. Les agriculteurs intéressés par mettre en place un projet à court/moyen terme
  - b. Les agriculteurs indécis, demandant davantage d'informations ou intéressés sans plus
  - c. Les agriculteurs non intéressés, réticents à la plantation d'arbres sur leurs parcelles
- 3- **Comprendre les déterminants de cette typologie ?**
  - a. Qui sont les agriculteurs de ces groupes ?
  - b. Pourquoi sont-ils dans ces groupes ? Quels sont les facteurs qui les distinguent ?
  - c. Quels sont leurs discours ?
- 4- **Conclusions**
  - a. Détermination du nombre d'individus par catégorie (nombre total de l'échantillon, projection à l'échelle du PCET).
  - b. Mesure d'animation par groupe (réunions, visites, formations, documents de communications)
  - c. Mesure locale ou régionale à entreprendre (subvention, réglementation, statuts et contrats fonciers...)

### ILLUSTRATION AVEC LE PCET DE MONTPELLIER

Dans le cas du PCET de Montpellier, le travail réalisé a permis de mettre en évidence trois groupes d'agriculteurs dont les caractéristiques synthétiques sont exposées ci-après :

- **Les agriculteurs non intéressés**
  - agriculteurs en conduite agricole conventionnelle.
  - pour les plus âgés, la question de la succession n'est pas réglée.
  - les viticulteurs de ce groupe sont très majoritairement adhérents à une cave coopérative.
  - les exploitations sont principalement en perte de vitesse par simplification et réduction de l'appareil de production.
- **Les agriculteurs indécis :**
  - exploitations spécialisées avec une dynamique positive (agrandissement du parcellaire par exemple).
  - principalement freinés par la crainte d'une diminution de revenu à court terme et une compétition trop importante des arbres sur les cultures
- **Les agriculteurs les plus motivés :**
  - exploitations dynamiques en recherche de diversification de leurs productions et d'innovations
  - conduite de culture relativement diversifiée allant du conventionnel au biologique
  - connaissance de l'arbre par la présence d'éléments arborés sur leur exploitation.
  - pour les plus âgés la question de la succession est presque réglée.
  - les viticulteurs possèdent souvent une cave particulière
  - ils sont conscients et se sentent concernés par le changement climatique.
  - l'agroforesterie est vue comme un moyen d'améliorer l'image de l'exploitation, de limiter leur impact sur l'environnement ainsi que comme une capitalisation, un investissement sur le long terme.

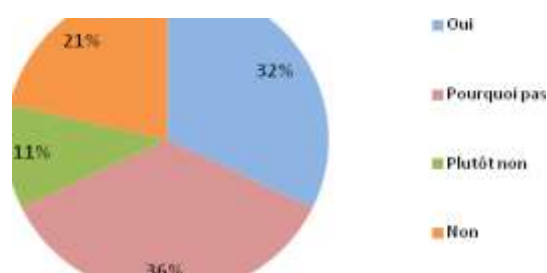


Figure 2 - Réponse à la question « seriez-vous prêt à expérimenter l'agroforesterie sur votre exploitation ? »

Exemple du PCET de Montpellier – 28 enquêtes (Cardinael, 2011).

A partir de ces éléments, on peut alors réfléchir à une politique de sensibilisation et de communication à l'agroforesterie. Pour ce faire, il faut prendre en compte l'ensemble des paramètres clefs du territoire qui pourraient avoir un rôle dans le développement de l'agroforesterie.

## ELEMENTS STRATEGIQUES POUR DEVELOPPER L'AGROFORESTERIE SUR UN TERRITOIRE

### Information et sensibilisation sur l'agroforesterie

Il est fréquent que le terme d'agroforesterie soit méconnu des agriculteurs tout comme la pratique en elle-même. « Qu'est ce que c'est ? C'est les plantations d'arbres pour faire des plaquettes ? » « Ça, c'est très bien avec l'élevage, ça

*devrait même être systématique, mais avec les cultures, ce n'est pas possible* ». Ce manque de connaissances sur la pratique peut être à l'origine de réticences et des principaux freins à son adoption. La plupart des questions portent sur le risque d'une diminution du revenu à court terme, l'incompatibilité avec la mécanisation et la compétition des arbres avec les cultures.

Comment y remédier ?

- Informer dans un premier temps, l'ensemble des administrations, organisations professionnelles et techniques, coopératives... Ces acteurs sont des relais essentiels dans la diffusion de l'information. Très souvent, on remarque que les blocages ont souvent comme origine les freins émis par quelques techniciens ou représentants des organismes agricoles, forestiers ou environnementaux. Il est important de bien communiquer auprès de ces acteurs sur ce qu'on entend par agroforesterie, sur les enjeux de l'agroforesterie liés à l'agriculture et au territoire et sur le contenu du projet.
- Organiser des journées d'informations et d'échanges avec les agriculteurs, en partenariat avec les structures professionnelles locales. L'idéal est de coupler dans la même journée un temps en salle avec interventions de spécialistes et surtout d'agriculteurs agroforestiers, puis un temps de visite d'un projet sur le terrain. « Il faut nous montrer que ça marche, chez quelqu'un ! On a besoin de voir... ».
- Des parcelles de démonstration peuvent ainsi être créées sur le territoire pour dynamiser les échanges avec et entre les agriculteurs et pour permettre d'obtenir des références technico-économiques sur l'agroforesterie dans un contexte local.
- Informer par la réalisation de brochures papiers. On veillera à produire des documents qui soient opérationnels, précis et concis, peu coûteux. La création d'un site internet est un outil intéressant car il permet aussi de tenir à jour les informations liées au projet (comme par exemple les documents pour demander des subventions à la plantation ou sur les baux à clauses environnementales adaptés au cas de l'agroforesterie...) et de créer un agenda des réunions et visites.

#### Créer et entretenir une dynamique territoriale

Comme souligné dans le point précédent, travailler en synergie avec les structures agricoles locales permet de toucher plus facilement les agriculteurs, de lever certaines réticences et de pérenniser la dynamique d'innovation et éventuellement de plantation.

L'objectif est ici non pas d'arriver à mettre un certain nombre de projets en place sur le territoire, mais bien de faire vivre un réseau autour de cette innovation, tout en la liant avec d'autres démarches existantes (agriculture de conservation, agriculture bio...). L'agroforesterie n'est pas une recette à appliquer mais bien une démarche d'apprentissage de la part de l'exploitant. L'échange avec les autres agriculteurs engagés dans la démarche est essentiel pour favoriser l'acquisition de connaissances et de savoir-faire, pour sécuriser le candidat dans cette démarche particulière et parfois risquée, pour sensibiliser plus facilement les agriculteurs qui seraient dans l'attente...

#### La question du foncier

- La protection des terres agricoles

Dans un contexte où le développement urbain est important et s'accompagne parfois d'une hausse importante du prix des terrains ou du risque d'expropriation, les agriculteurs restent souvent prudents par rapport à tout projet sur le long terme. Cela peut freiner l'initiative de ces agriculteurs et leur dynamique d'exploitation. Il est important alors de sécuriser cet enjeu sur le long terme via les outils d'aménagement dont dispose la collectivité. La prise en compte de l'agriculture dans les projets de développement avec la mise en place du Schéma de Cohérence Territoriale est une première étape. La création de zones agricoles protégées (ZAP – créée par la loi d'orientation agricole de 1999) est également une possibilité pour mieux prendre en compte la vulnérabilité des terres agricole en contexte périurbain.

- Remembrement et bourse d'arbres

Le frein que représente un parcellaire très morcelé avec de petites surfaces est souvent mentionné notamment en viticulture. Des mesures de remembrements pourraient alors être prises de manière à disposer de parcelle d'au minimum 2 à 3 ha. En effet, beaucoup d'agriculteurs indécis soulignent la contrainte de leur parcellaire, et indiquent que le jour où ils auraient des parcelles adaptées, ils y réfléchiraient sérieusement. Attention toutefois à trouver le bon compromis entre l'agrandissement des parcelles et la conservation de la biodiversité par le maintien de corridors écologiques (haies, agroforesterie intraparcellaire...etc.). Dans ce cas, il est possible de protéger les arbres existants (haies, bosquets, verger...) dans le cadre d'une bourse d'arbres. En estimant leur valeur sur pied avant échange, et ce pour l'ensemble des parcelles concernées par le remembrement, les arbres peuvent être inclus dans le calcul de la valeur foncière des terres à échanger. Ce travail préalable évite un arrachage ou une surexploitation des arbres avant les négociations.

- Aider à l'installation des jeunes agriculteurs

Dans le cas où la population agricole se renouvelle difficilement, aider à l'installation de jeunes agriculteurs peut permettre la mise en place de projets innovants. Les plus jeunes auraient tendance à être moins freinés par les questions de succession et pourraient plus facilement investir dans un projet sur le long terme dont ils verront sûrement le fruit. Cela reste toutefois à mettre en relief avec leur niveau d'endettement. Même si les incitations à l'installation des jeunes dépendent notamment de décisions nationales et européennes, des mesures locales pourraient être prises, en partenariat avec les Chambres d'Agriculture et les Sociétés d'Aménagement Foncier et d'Établissement Rural (SAFER). Favoriser les projets innovants et paysagers permet également de rapprocher les citoyens avec les agriculteurs, voire de les impliquer directement (exemple de projets menés par l'association Terre de Lien).

#### La question des réglementations

- Statut et réglementations des parcelles agroforestières

Dans la circulaire ministérielle DGPAAT/SDBE/SDFB/C2010-3035 du 06 avril 2010, il est précisé que les parcelles agroforestières relèvent désormais du statut agricole. Ce qui signifie que l'imposition foncière et fiscale d'une parcelle agroforestière relève du statut agricole.

Dans le cadre du premier pilier de la PAC, les agriculteurs touchent les Droits à Paiements Uniques sur la totalité de la parcelle (jusqu'en 2013, l'éligibilité est valable pour les parcelles avec moins de 200 arbres/ha).

Dans le cadre du deuxième pilier cadré par le Programme de Développement Rural pour l'Hexagone (PDRH) 2007-2013, la France était autorisée à soutenir les projets agroforestiers via la mesure 222. Pour la prochaine programmation, cette mesure sera reconduite et permettra de subventionner les futurs projets agroforestiers pour la période 2014-2020. Grâce à cette mesure 222, l'installation des parcelles (achat des plants, travail du sol, plantation, piquetage, protection et paillage) ainsi que l'entretien sont financés à hauteur de 70% par le Fonds Européen Agricole pour le Développement Rural (FEADER).

Attention de tenir compte des réglementations locales de boisement si elles existent. Au sein des communes, il peut exister des règles en matière de plantation qu'il faut respecter, ou du moins connaître, avant de proposer les premiers projets agroforestiers. Par exemple, certaines essences peuvent être soumises à des restrictions (interdiction pure et simple, zonage à respecter, densité plafond...). Des essences comme le peuplier ou le robinier sont souvent réglementées. Néanmoins, il faut bien tenir compte du fait qu'en agroforesterie, certains aspects considérés comme négatifs dans ces réglementations, peuvent être résolus. Ainsi, les faibles densités d'arbres et la nature même de l'agroforesterie qui reste agricole avant tout, signifie qu'on ne fera pas de boisements forestiers déguisés et que les risques de fermeture de paysage, de changement de nature des sols ou encore de dissémination, sont très faibles.

- Le cas particulier de la vigne

La restructuration du vignoble permet l'indemnisation de l'arrachage et la replantation sous réserve que les paramètres de restructuration soient respectés (espacement des rangs augmenté, cépage autorisé, palissage...). Actuellement, l'installation de lignes d'arbres agroforestiers n'est pas compatible avec la prime à l'arrache car l'arrachage simple de rangs de vignes est non indemnisé. En plantant des arbres dans les parcelles viticoles, les agriculteurs perdent donc une partie de leur revenu. Il serait plus intéressant et encourageant que l'agroforesterie viticole soit agréée et reconnue comme un des critères de restructuration du vignoble. A l'heure actuelle et à moins que la réglementation n'évolue dans la prochaine OCM, le plus simple reste donc de réfléchir au projet agroforestier avant la plantation de toute nouvelle vigne.

Pour plus d'informations sur les réglementations en agroforesterie : [http://agrooof.net/agrooof\\_reglementation.html](http://agrooof.net/agrooof_reglementation.html)

## RECENSER LES PREMIERS CANDIDATS

Le recensement des candidats peut se faire de plusieurs manières :

- Lors de la phase préliminaire, les contacts avec les acteurs du territoire vont permettre d'élaborer une première liste. Très souvent, ces acteurs connaissent des agriculteurs curieux ou ayant manifesté une demande d'information voire d'encadrement pour un projet.
- Lors de la phase de diagnostic des exploitations, entre 20 et 40 % des agriculteurs se montrent souvent enclins à réfléchir à un projet. L'expérience montre qu'avec une simple relance, près de la moitié d'entre eux sont susceptibles de se lancer dans un projet à court terme.
- Lors de la phase d'animation et de sensibilisation, de nouveaux candidats se manifesteront. Lors de ces réunions, il faudra veiller à inviter le plus grand nombre d'agriculteurs et de propriétaires, à commencer par les têtes de réseaux (élus, coopérateurs, innovateurs...). On peut également imaginer un appel à candidats complémentaire par voie de presse locale (presse agricole, bulletins communaux ou de la collectivité).

## ETAPE 4 – MISE EN ŒUVRE DE PROJETS AGROFORESTIERS

La décision de se lancer dans un projet agroforestier est une opération qui peut prendre quelques mois à ... quelques années ! Si un quart ou un tiers des agriculteurs se disent intéressés par le projet, planter des arbres dans ou autour des parcelles est un acte qui engage sur le long terme et demande de la préparation. La qualité de l'accompagnement est donc essentielle. De nombreux projets n'ont pas vu le jour car ils étaient mal conçus dès le départ. Un projet agroforestier n'est pas une recette type qui s'applique quelque soit le type d'exploitation ou de système de production. Il y aura autant de projets différents que d'agriculteurs candidats. L'objectif principal de cette étape est donc de bien choisir avec l'agriculteur le projet qui lui convient. Cela dépend du potentiel de ses parcelles mais surtout du projet personnel de l'exploitant.

### PHASE 1 – CONCEPTION DU PROJET

#### ANTICIPER LES PROCEDURES ADMINISTRATIVES

Au-delà des aspects purement personnels, il faut connaître les délais administratifs locaux si le candidat bénéficie ou souhaite une subvention. Ces délais ne sont pas toujours les mêmes selon les régions administratives. Généralement, les délais administratifs peuvent représenter entre 6 et 18 mois avant la date de plantation choisie. Attention : si une aide est demandée, on n'engage pas les travaux tant qu'il n'y pas d'accord écrit de l'administration.

Les opérations à préparer pour un bon déroulement du chantier :

- Année N-1
  - Préparation technique du projet et étude de faisabilité
  - Consultation de l'administration agricole et des collectivités territoriales pour connaître les aides disponibles.
  - Consultation auprès de la mairie sur les réglementations de boisement éventuelles. Cette démarche est nécessaire même si le porteur de projet ne fait pas appel à une subvention.
  - Le dossier de demande de permis et de subvention est à retirer à l'administration du ministère de l'agriculture. Le propriétaire présente la demande qui comprend un avant-projet sommaire avec un plan de situation, un devis détaillé ou réalisé à partir des barèmes forfaitaires régionaux.
  - Une commission départementale composée de représentants de l'administration, du CRPF, de l'ONF, du Conseil Général et de la Chambre d'Agriculture décide de l'éligibilité des projets, ce qui permet d'appeler les crédits pour l'année N, généralement avant la fin du mois de septembre de l'année N-1.
- Année N (plantation en automne)
  - Entre le début d'année et le printemps, la commission départementale entérine la pré-programmation. Le maître d'ouvrage (ou propriétaire) fournit alors un projet détaillé avec l'ensemble des pièces justificatives. La commission régionale (DDAF, Conseil Régional, DRAF) statue sur le plan de financement à mettre en place.
  - L'arrêté de subvention acte l'éligibilité de la plantation. Il ne constitue pas une garantie définitive de l'obtention de la subvention (cas exceptionnel de dépassement du crédit disponible de l'Etat).

#### COMMENT S'ORGANISE LE MONTAGE TECHNIQUE DU PROJET ?

##### Diagnostic initial

- Définition des objectifs avec l'agriculteur

C'est une phase déterminante. Il faut bien comprendre les objectifs et les hiérarchiser : *Production de bois d'œuvre, production de biomasse énergie ou BRF, amélioration des sols, amélioration de la fertilité, protection des nappes, amélioration de la biodiversité, valorisation paysagère, bien-être animal, valorisation cynégétique, production mellifère, production de plantes médicinales, valorisation pédagogique, intégration d'une démarche expérimentale...etc.*

De ces objectifs dépendront le choix des essences, la configuration du projet (écartements entre les arbres et densité), la conception de la bande arborée, le choix des parcelles...



- Analyse des contraintes et des potentialités

Même si un diagnostic physique a été réalisé par cartographie sur l'ensemble du territoire, la précision cartographique n'est pas assez suffisante pour se dispenser d'étudier précisément le sol de la parcelle identifiée. De même, il peut exister des sols favorables à l'agroforesterie sur l'exploitation mais cartographiées en dehors des surfaces déterminées.

*Lors de la visite, on réalise une fosse de 1 à 2 mètres de profondeur par hectare ou par zone homogène. On vérifie le type de sol (afin d'étudier la profondeur, la présence d'une nappe et la nature des sols), la configuration et la forme des parcelles (pouvant conditionner l'orientation des lignes). Pour les parcelles choisies, on revoit les systèmes de cultures et les itinéraires techniques. On évalue la main d'œuvre et le matériel disponibles. On vérifie le statut juridique des terres.*

### Définition des scénarios

Différents scénarios de projets peuvent être envisagés, dont on ne retiendra qu'un seul par parcelle. Ils doivent être revus avec l'agriculteur pour décider du projet retenu : *Validation des parcelles choisies, modes de gestion des arbres, orientation des aménagements, densités de plantation, choix des essences, choix des fournitures, modes de gestion de la bande enherbée, impact paysager de la plantation...etc.*

### Diagnostic technico-économique

Avec le propriétaire, on évalue la faisabilité technico-économique du projet envisagé : *Évaluation du temps de travail, tableaux budgétaire et technique, investissement par ha, par mètre linéaire et par arbre, détermination des apports personnels et évaluation des aides publiques, dossier réglementaire à effectuer.*

### Définition du devis de réalisation

Un devis de réalisation et/ou suivi doit être demandé à une entreprise spécialisée pour les travaux qui ne seront pas effectués par le propriétaire. On tiendra compte des frais de déplacement éventuels.

### Planification des échéances

Avec l'animateur, on établit le calendrier des échéances : *Dossiers, commandes et réception des plants et fournitures, et la date de plantation.*

## PHASE 2 – MISE EN PLACE DU PROJET

La réalisation est la mise en application du projet tel que défini dans la première étape. C'est une phase qui combine technicité, capacité d'organisation et coordination des ressources humaines.

### Préparation du sol

Pourquoi, quand et comment préparer le sol ? Comment favoriser la reprise et la croissance des arbres ?

Les cultures réalisées sur la parcelle laissent généralement un terrain propre, mais présentant souvent une semelle de labour en profondeur (tassement du sol dû au passage répété des machines). Le sous solage mécanique vise à décompacter le sol et à faciliter la pénétration des racines dans le sol. Un travail du sol en surface peut être envisagé (labour, discage ou hersage), surtout si on prévoit un paillage en plaque ou en bande autour de l'arbre.



### Le piquetage

Il consiste à indiquer matériellement les emplacements des plants. Le piquetage doit être réalisé avec précision afin d'éviter tous problèmes futurs d'écartement entre les arbres qui pourrait nuire aux pratiques agricoles futures.

## La mise en terre

Avant la mise en terre, le propriétaire doit réceptionner et contrôler les plants. Pour des projets collectifs envisageables pour un projet Carbone PCET, on peut imaginer des commandes groupées auprès des pépiniéristes afin de diminuer les coûts. Après vérification, si on ne plante pas le jour même, on met les plants en jauge dans du sable.

Le jour de la plantation, on intervient sur les plants pour donner une forme adaptée et favoriser la reprise des plants (habillage et pralinage racinaire). On réalise des trous de plantation suffisamment grands (30 cm x 30 cm pour 30 cm de profondeur) et on positionne correctement les plants dans le sol en évitant de tasser les racines.



## Les protections

La protection individuelle des plants est nécessaire de manière à les préserver du gibier, des herbicides, mais également pour les visualiser. Ces protections peuvent être plus ou moins robustes et chères en fonction des systèmes. Si on plante en présence d'animaux, des protections solides et hautes sont nécessaires.

Il est obligatoire de les mettre le jour de la plantation compte-tenu du risque de prédation du gibier qui peut ne pas attendre les 2 ou 3 jours de délais entre la plantation et la pose des protections....

*Pour l'ensemble des actes techniques, on se référera aux ouvrages spécialisés (voir bibliographie).*

## PHASE 3 – SUIVI DU PROJET

La qualité de suivi du système agroforestier (arbres, bandes enherbées, cultures intercalaires) a un impact majeur sur la production et la rentabilité finale du projet. Tout le savoir faire sera de gérer les itinéraires techniques sur les arbres et les cultures pour favoriser les complémentarités entre les arbres et les cultures.

### Entretien au pied des arbres

Comment limiter la compétition pour l'eau et les nutriments, provoquée par la présence des adventices ? Un paillage biodégradable (Bois Raméal Fragmenté ou feutre végétal par exemple) offre souvent un bon moyen d'accompagner le jeune arbre en préservant une certaine humidité au sol et en stimulant dans certain cas la fertilité du sol. L'entretien chimique est à éviter. Il peut favoriser l'apparition de résistances des adventices et risque de nuire au jeune arbre s'il est mal appliqué.



### Entretien sur la ligne des arbres

Sur la ligne des arbres, on peut laisser se développer un enherbement naturel ou des cultures secondaires. Cela dépendra de la stratégie de l'agriculteur ou du propriétaire. Le désherbage chimique intégral de cette bande est déconseillé : Un sol parfaitement désherbé supprime la protection naturelle du sol, favorise l'érosion, provoque un enracinement superficiel des arbres, diminue la biodiversité présente et peut provoquer l'apparition de résistances aux désherbants. A la plantation, on peut imaginer semer un couvert qui permette d'enrichir la biodiversité et les auxiliaires (fleurs sauvages) et de favoriser un bon contrôle de l'enherbement (espèces couvrantes non envahissantes pour l'agriculteur, légumineuses apportant de l'azote...).



### Taille de formation des arbres

Les premières années, les arbres agroforestiers étant en pleine lumière, il est essentiel de les guider dans leur développement. La taille de formation permet de former l'axe de l'arbre de manière à lui assurer une bonne verticalité. Elle est indispensable pour la formation d'arbres de haut-jet à finalité de bois d'œuvre.

### Élagages, éclaircies et émondages

En parallèle de la taille de formation, l'élagage des arbres est l'opération qui permet d'obtenir progressivement un tronc net de branche. Cela permet d'avoir rapidement du bois de qualité, mais aussi de provoquer la croissance en hauteur de l'arbre et d'éviter les branches latérales, gênantes pour le travail de l'agriculteur. Cela améliore également l'apport de lumière pour la culture intercalaire.

L'éclaircie consiste à supprimer vers 10 ans les arbres sans avenir, car tordus, malades ou abîmés. Il n'existe pas de règles sur le taux d'arbres à supprimer car cela dépend des objectifs, de la densité initiale qui a été choisie et de la qualité des arbres.

### Gestion de l'allée cultivée

La présence d'arbres nécessite une réflexion sur les pratiques et rotations culturales à mettre en place. L'agroforesterie est une pratique agroécologique invitant souvent à se poser des questions sur le fonctionnement de son agroécosystème. Il s'agit de trouver le bon dosage pour limiter les phénomènes de compétition aérienne et souterraine. Choix de cultures ou de variétés adaptées, semis sous couvert ou inter-culture pour contrôler l'enracinement des arbres en profondeur, raisonner l'irrigation...etc. Les arbres modifient l'environnement des cultures en apportant de la matière organique, en fournissant des habitats aux auxiliaires...etc. Les cultures en font de même en modelant l'enracinement des arbres...etc. L'ensemble de ses interactions doivent être observées et prises en compte dans la conduite du système. Elles peuvent permettre l'économie d'intrants.



*Pour l'ensemble des actes techniques, on se référera aux ouvrages spécialisés (voir bibliographie).*

## PHASE 4 – ESTIMATION DU POTENTIEL DE SEQUESTRATION CARBONE

Une fois les surfaces cibles pour l'agroforesterie sur le territoire du PCET caractérisées et définies, on peut estimer leur contribution au bilan carbone du PCET par séquestration directe ou par substitution à des produits non renouvelables.

### SEQUESTRATION DE CARBONE PAR LES ARBRES AGROFORESTIERS

En se basant sur des données expérimentales de l'INRA (Hamon et al, 2009) et des données de modélisation issues du logiciel Hi-sAFe, nous avons retenu les potentiels de stockage suivants par type de densité et essence (cf. annexe 1):

Type d'arbres	Durée de la rotation	Densité d'arbres	Potentiel de stockage (tC/ha/an) INRA	Potentiel prudent à retenir (tC/ha)
Croissance moyenne	50 ans	50 arbres /ha	1.5	0.75
Croissance moyenne	50 ans	100 arbres/ha	3	1.5
Croissance rapide	15 ans	50 arbres/ha	2	1
Croissance rapide	15 ans	100 arbres/ha	4	2

Ainsi, pour un projet de 50 arbres/ha mis en place sur un sol au potentiel adapté pour une agroforesterie « carbone », la quantité de carbone stockée (biomasse aérienne et racinaire) pourrait potentiellement être de 1,5 tC/ha/an au moins. Comme indiqué en annexe 1, afin de formuler une hypothèse de stockage prudent, il est préférable de retenir une valeur représentant 50% de ce potentiel, à savoir 0,75 tC/ha/an.

#### Calculer les volumes de carbone stockés à l'échelle d'un PCET :

Pour connaître les quantités de carbone stockées à l'échelle du territoire, on reprend les estimations découlant des étapes 2 et 3 du projet.

- Lors du diagnostic territorial de l'étape 2, le potentiel maximal a été calculé en termes de surface sur l'ensemble du territoire du PCET.
- Lors de l'étape 3, après le filtre des diagnostics exploitations, on a une estimation plus basse, correspondant aux surfaces définies d'une part par le pourcentage d'agriculteurs intéressés, et d'autre part, par la part de leur SAU qu'ils souhaitent planter. Dans les calculs, on tiendra compte du type de production agricoles (car les densités seront différentes) et du type d'essence (croissance rapide ou moyenne).

Si les aménagements comprennent l'implantation de haies, on complètera également ces calculs par les quantités séquestrées par le linéaire de haies.

Attention : tous les agriculteurs déclarés intéressés lors de la phase d'enquête ne se lancent pas dans un projet à court terme. Par expérience, on retiendra que seulement la moitié d'entre eux se lanceront effectivement dans un projet. On divisera donc la surface obtenue par 2. Par ce calcul, nous avons donc la surface minimale potentielle. En fonction de l'animation qui sera faite sur le territoire, ce chiffre pourra être revu à la hausse afin d'avoir un objectif maximal. En effet, on peut espérer convaincre une large partie de l'autre moitié des agriculteurs intéressés, et même un certain nombre des agriculteurs déclarés indécis mais pouvant changer d'avis grâce une bonne communication et animation du réseau.

Le tableau suivant illustre un exemple de fourchette attendue selon une estimation basse (avec animation minimum sur le terrain) et haute (avec une communication et animation soutenue). Bien entendu, les surfaces sont fictives. On se réfèrera à l'exemple du Languedoc Roussillon pour un exemple précis (voir rapport 2).

Production	Essence	Durée de la rotation	densité arbre/ha	Surface ou linéaire cible		Potentiel de stockage (tC/an)	
				Surface mini (ha)	Surface max (ha)	mini	max
Grandes cultures	Moyenne	50 ans	50	350	1300	263	975
	Rapide	15 ans	50	100	300	100	300
Maraichage	Moyenne	50 ans	60	55	75	50	68
	Rapide	15 ans	60	35	50	42	60
Prairies permanentes	Moyenne	50 ans	80	200	450	240	540
	Rapide	15 ans	80	100	250	160	400
Vigne, fruitiers	Moyenne	50 ans	40	30	150	18	90
<b>TOTAL Agroforesterie intraparcellaire</b>				<b>870 ha</b>	<b>2575 ha</b>	<b>872</b>	<b>2433</b>
Haies pour 100m	Moyenne	50 ans	100	5 000 m	20 000 m	5	20
<b>TOTAL Agroforesterie intraparcellaire + haie</b>						<b>877</b>	<b>2453</b>

Exemple de calcul pour un PCET. Estimation basse et haute en termes de séquestration.

Bien entendu, ce potentiel est purement théorique et ne prend en compte qu'un chiffre moyen de séquestration lié aux arbres, sans tenir compte de l'âge des peuplements. Or, dans la réalité le potentiel de stockage devient de plus en plus important avec l'âge des arbres (cf. annexe 1). Au fur et à mesure de la mise en place des projets, il est préférable d'affiner les estimations par des mesures réalisées directement sur l'ensemble des projets.

De même, pour être au plus proche de la réalité, on tiendra compte de l'échéancier de plantation prévisible (tous les projets ne seront pas plantés au même moment...). Généralement, en agroforesterie, il faut compter entre 1 et 4 ans avant que les candidats repérés plantent leurs premiers arbres. De plus, pour un même projet si celui-ci est conséquent en terme de surface, il n'est pas rare d'avoir plusieurs lots de plantation échelonnés dans le temps afin d'équilibrer le temps de travail au fil des années.

#### Quelle correspondance en termes de bilan carbone ?

Dans l'exemple, un programme d'agroforesterie pourrait stocker entre 877 et 2453 tC par an, soit 3216 à 8995 tCO<sub>2</sub>/an. A mettre alors en correspondance avec les objectifs de compensation du PCET.



*Ce projet fixe la quantité de carbone émise de 670 à 1870 voitures parcourant 40 000 km/an et émettant 120 g CO<sub>2</sub>/km.*

*En France, un habitant émet en moyenne 6 tonnes de CO<sub>2</sub>/an dues à l'énergie (l'objectif étant d'arriver à 2 tonnes de CO<sub>2</sub>/habitant/an pour limiter le réchauffement climatique à 2°C). Si l'on s'en tient aux émissions actuelles, le projet permet de « supporter » les émissions liées à l'activité entre 540 et 1500 personnes par an.*

## EVALUATION DES EMISSIONS CARBONE ECONOMISEES PAR SUBSTITUTION

### 1. Cas de la biomasse Energie

Le CO<sub>2</sub> émis par la combustion du bois est faiblement émetteur d'un point de vue bilan carbone. L'utilisation de la plaquette comme biomasse énergie permet de remplacer des énergies fossiles et diminuent les émissions carbone. Plusieurs études de l'ADEME présentent des calculs d'équivalence. Ces chiffres évoluent avec l'amélioration de la performance des chaudières et de la qualité des plaquettes.

**Petit rappel en termes de correspondance énergétique...**



De manière générale, l'utilisation de 4m<sup>3</sup> (on parle de MAP : Mètre cube apparent plaquettes) de bois-énergie (1 tonne de MS de plaquettes environ) permet d'économiser 1 tep (Tonne équivalent Pétrole) et d'éviter en moyenne en France :

- l'émission de 2,5 tonnes de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) dans l'atmosphère (secteur collectif résidentiel)
- l'émission de 1,5 tonnes de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) dans l'atmosphère (secteur résidentiel)

Calcul des tonnes de CO<sub>2</sub> évitées pour des résidences en comparaison des différentes sources d'énergie (Combustion complète) :

Combustible	kgCO <sub>2</sub> /tep (PCI)	gCO <sub>2</sub> /kWh
<b>Fioul domestique</b>	3 150	271
<b>Fioul Lourd</b>	3 276	282
<b>Gaz naturel</b>	2 394	206
<b>Propane</b>	2 688	231
<b>Charbon</b>	3 990	343
<b>Electricité</b>	2 092	180

Sources ADEME 2007

$$\text{Calcul : tonnes de CO}_2 \text{ évitées} = (C_{\text{référence}} * R_{\text{référence}} - C_{\text{appoint}} * R_{\text{appoint}}) / 1000$$

avec :

- C<sub>référence</sub> = consommation de référence en tep
- R<sub>référence</sub> = ratio lié au combustible de référence en kgCO<sub>2</sub> / tep
- C<sub>appoint</sub> = consommation d'appoint (solution bois) en tep
- R<sub>appoint</sub> = ratio lié au combustible d'appoint de la solution bois en kgCO<sub>2</sub> / tep

### Reprenons l'exemple du paragraphe précédent...

En agroforesterie non aménagée pour une production de biomasse, on ne récolte que des volumes de plaquettes issues du broyage des branches élaguées et émondées, et du houppier final lorsqu'on abat l'arbre. En moyenne, on estime une production annuelle possible de 8 MAP/ha/an soit 2 tMS/ha/an environ. En reprenant les chiffres précédents, 8 MAP permettent d'économiser 2 tep en milieu résidentiel et d'éviter l'émission de 3 tonnes de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère.

Si l'on reprend les surfaces théoriques de l'exemple précédent, on peut calculer la diminution des émissions de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère en fonction des volumes de biomasse énergie (basée sur le calcul moyen de l'exemple b de l'annexe 2) :

Surface ou linéaire cible		Production biomasse type plaquettes MAP/an		Tonnes de CO <sub>2</sub> évitées (tCO <sub>2</sub> /an)	
Surface mini (ha)	Surface max (ha)	mini	max	mini	max
350	1300	2800	10400	1050	3900
100	300	800	2400	300	900
55	75	440	600	165	225
35	50	280	400	105	150
200	450	1600	3600	600	1350
100	250	800	2000	300	750
30	150	240	1200	90	450
<b>870 ha</b>	<b>2575 ha</b>	<b>6 960</b>	<b>20 600</b>	<b>2 610</b>	<b>7 725</b>
5 000 m	20 000 m	86*	343*	32	128
		<b>7 046</b>	<b>20 943</b>	<b>2 642</b>	<b>7 853</b>

\*Chiffre moyen estimé pour une haie avec une production de 17 m<sup>3</sup>/an pour 1000 m linéaire. Sources : Liagre, 2006. Les Haies Rurales.

Ce chiffre est également à relativiser dans le sens où la production effective de plaquette sera en rythme de croisière à partir de la 15<sup>ème</sup> année, avec des fréquences de récolte de 4 à 8 ans selon les modes d'exploitation.

## 2. Cas de la biomasse Bois d'œuvre

Le bois d'œuvre se substitue à d'autres matériaux plus coûteux en énergie (béton, acier, produits de synthèse). Certes, le bois d'œuvre qui sera produit en agroforesterie sur le territoire d'un PCET ne sera pas toujours valorisé localement. Mais, comme pour le bois énergie, son utilisation peut permettre de diminuer les émissions de CO<sub>2</sub>. Ainsi, à performances égales, 1m<sup>3</sup> de bois fait ainsi économiser environ 0,8 tonne de CO<sub>2</sub> en construction (sources FCBA).

Si l'on reprend la simulation précédente, en estimant la production de bois d'œuvre objectif, on peut en déduire les économies d'émission de CO<sub>2</sub>.

Production	Essence	Durée de la rotation	densité arbre/ha	Volume m <sup>3</sup> /ha en fin de rotation	Volume en m <sup>3</sup> final selon surfaces prévues		Economie d'émission (tCO <sub>2</sub> /ha)	
					Volume mini (m <sup>3</sup> )	Volume max (m <sup>3</sup> )	mini	max
Grandes cultures	Moyenne	50 ans	50	40	14000	52000	11200	41600
Maraichage	Moyenne	50 ans	60	48	2640	3600	2112	2880
Prairies permanentes	Moyenne	50 ans	80	64	12800	28800	10240	23040
Vigne, fruitiers	Moyenne	50 ans	40	32	960	4800	768	3840
<b>TOTAL</b>					<b>30 400 m3</b>	<b>89 200 m3</b>	<b>24 320 t</b>	<b>71 360 t</b>

Dans ce calcul, nous n'avons pas retenu le cas des essences à croissance rapide comme le peuplier mais uniquement les essences à croissance lente plus intéressantes d'un point de vue filière bois d'œuvre. De même, nous n'avons pas repris le cas des haies. En effet, si elles sont utilisées comme ressources pour du bois énergie, ce sera difficilement compatible avec une production de bois d'œuvre. Néanmoins, on peut imaginer conserver des arbres de haut jet tous les 10 à 15 m, ce qui ferait alors une production d'environ 12 m<sup>3</sup> à 50 ans pour 100 ml. Prévoir un délai plus long car les arbres vont pousser moins vite qu'en condition intraparcellaire (compétition liée à la proximité des autres essences dans la haie).

Au final, dans la simulation, avec une production théorique de 30 000 et 90 000 m<sup>3</sup> de bois à la récolte, cela permet une économie de 24 à 71 000 tCO<sub>2</sub>/ha. Sur 50 ans en moyenne, cela donne donc 600 à 1800 m<sup>3</sup>/an soit 486 à 1427 tCO<sub>2</sub>/ha.



## CONCLUSION

Le développement de l'agroforesterie comme outils carbone dans les PCET passe par différents diagnostics nécessaires et complémentaires : diagnostic physique du territoire, foncier et socioéconomique. En plus de ces diagnostics, la concertation entre les différents acteurs, l'accompagnement des porteurs de projets et l'animation du territoire vont être les clés de la réussite et de la pérennité du projet collectif. Si l'agroforesterie allie les intérêts des agriculteurs et des collectivités, elle nécessite sur le long terme des actions d'animation et de soutien à son développement pour ne pas laisser s'essouffler les premiers élans. Nous verrons dans le guide n°2 l'application de cette méthodologie aux PCET du Languedoc Roussillon : Le PCET de l'agglomération de Montpellier et le PCET du Grand Narbonnais.

Toutefois, dans le cadre de cette agroforesterie « carbone », l'estimation des quantités de carbone potentiellement séquestrées est un exercice difficile pour plusieurs raisons. Tout d'abord, les références sur le potentiel de séquestration de carbone en agroforestiers sont encore faibles. Une multitude de facteurs entre en jeu (essences d'arbres, âge des peuplements, conditions pédoclimatiques, entretien), et il est difficile d'estimer le carbone stocké durablement dans les sols. Ensuite, la diversité des agriculteurs et de leurs stratégies d'exploitation conjuguée à la diversité des projets agroforestiers qui peuvent exister font qu'il est également difficile d'anticiper la direction que va prendre le développement des systèmes agroforestiers sur un territoire. Développement qui est également fortement conditionné par la dynamique d'animation, d'accompagnement et de soutien qui sera mise en place. Ces points font ressortir la nécessité d'être prudent sur l'estimation des potentiels de stockage sur un territoire et sur la communication de ces chiffres. Il est toutefois plus aisé d'estimer la biomasse énergie qui pourrait être produite par les arbres et qui viendrait en substitution de matériaux non renouvelables. Le bois énergie d'origine agroforestière représente un des aspects les plus intéressants en matière de lutte contre le changement climatique.

Mais pour les collectivités, l'agroforesterie présente d'autres enjeux d'importance pour le territoire : protection des ressources en eau potable (forte diminution des fuites de nitrates en agroforesterie), création de corridors écologiques (trame verte et bleue), mise en place d'un paysage plus attractif, lutte contre l'érosion des sols... D'un point de vue économique, ces avantages présentent une rentabilité nouvelle qui justifie leur prise en compte. Devant le coût des externalités négatives de l'agriculture, imaginer une agriculture à la fois productrice et protectrice de l'environnement devient le défi majeur à relever. Il suffit de calculer le coût de traitement de l'eau par hectare agricole pour la collectivité ou encore l'économie qui pourrait être réalisée en mettant en place un programme de développement de production de biomasse arborée, pour se rendre compte que l'investissement dans l'animation et l'accompagnement des agriculteurs porteurs de projets devient un élément à considérer.

Favoriser la réflexion générale sur les autres intérêts territoriaux de l'agroforesterie permet d'avoir une approche globale des enjeux et favoriser une dynamique positive de développement de cette pratique encore peu connue. Ces aspects seront développés dans le guide n°3 sur les enjeux de l'agroforesterie.

## ANNEXE 1 : ELEMENTS DE CALCUL POUR ESTIMER LES QUANTITES DE CARBONE SEQUESTREES EN AGROFORESTERIE

Comment estimer les quantités de carbone séquestrées en agroforesterie ? Grâce à la photosynthèse, l'arbre assimile du gaz carbonique. Le carbone est la composante principale du bois et représente environ un tiers du poids du bois vert, près de la moitié pour du bois sec. Chaque mètre cube de bois sec représente une séquestration moyenne d'environ 1 tonne de CO<sub>2</sub>. Le carbone provenant de ce gaz carbonique va être utilisé dans les différents compartiments du bois (lignine et cellulose notamment, sous différentes molécules). Sachant qu'un arbre adulte comporte entre 2 et 4 m<sup>3</sup>, chaque arbre va fixer environ 2 à 4 tonnes de CO<sub>2</sub>. L'utilisation du bois pour la construction constitue un stockage temporaire (pour quelques décennies, voire quelques siècles...). Le stockage de carbone dans le sol est moins facile à estimer (racines, BRF...) : après décomposition par la macro et microfaune, quelle part va pouvoir être stabilisée dans le sol? Les molécules qui composent le bois vont progressivement servir à alimenter tout le réseau trophique du sol, et donc favoriser la respiration et les émissions de carbone dans l'air. Des travaux sont actuellement en cours pour quantifier ces processus. De même, la décomposition des feuilles et branches vont émettre également du carbone. On sait aussi que dans les sols agricoles cultivés, les teneurs en matières organiques sont faibles en comparaison avec les sols forestiers : le potentiel de stockage est très important (Arrouays et al, 2001 ; 2011). Plusieurs millions de tonnes de carbone sont perdues en France chaque année à cause de cette baisse des teneurs en matières organiques et les problèmes d'érosion engendrés. Inverser la tendance serait un premier pas important. Les sols sont très facilement dégradés, mais il faut du temps pour les reconstituer. Des arbres à croissance rapide dans de bonnes conditions pédoclimatiques vont stocker rapidement le carbone mais arriveront rapidement à maturité ; au contraire, des arbres à croissance plus lente joueront un rôle de stockage sur une plus longue période.

Enfin, et c'est sans doute un des aspects les plus intéressants en matière de lutte contre le changement climatique, la biomasse carbonée créée pourra être utilisée pour remplacer des matériaux très coûteux d'un point de vue bilan carbone car provenant de matériaux non renouvelables (comme le pétrole) ou remplacer des sources d'énergies fortement émettrices et non renouvelables (gaz, fuel...).

On distinguera donc d'une part la fonction d'assimilation de carbone (photosynthèse), la fonction de séquestration, la fonction de stockage de carbone (création d'un stock de carbone dans le temps) et la fonction de substitution (remplacement de matériaux ou énergies fossiles ou énergivores par le bois).

## TRES PEU D'ETUDES SUR LE SUJET...

Shroeder (1994) suggère que la valeur médiane pour le taux de stockage de carbone dans la biomasse aérienne est de presque 4 tC/ha/an en zone tempérée sur un période de 30 ans. Cependant, l'article montre le peu d'études consacrées à ce sujet (n=4) jusque dans les années 1990, et le manque de précision quant aux espèces d'arbres et aux densités mises en jeu. Les résultats de la recherche en agroforesterie tempérée sur la thématique de la séquestration du carbone proviennent essentiellement de la France, du Canada et des Etats-Unis. Ces derniers sont notamment en avance au niveau des estimations de surface et des estimations de potentiel de stockage (Tableau 1).

Pratique agroforestière	Surface potentielle estimée (en millions d'hectares)	Potentiel de Stockage Carbone (en Mt C). Somme des compartiments aériens et souterrains.
Alignements d'arbres et cultures intercalaires	80	73,8
Silvopastoralisme	70	9,0
Haie brise vent	85	4,0
Haie ripisylve	800 000 km de 30 m de large	1.5
Taillis à courte rotation (TCR) et autres pratiques forestières sur les exploitations	2 400 000 km de zones tampons boisées (TCR inclus)	2.0
<b>TOTAL</b>		<b>90.3</b>

Tableau 1: Estimations du stockage potentiel de carbone grâce aux pratiques agroforestières aux USA d'ici 2025. *Adapté de Montagnini and Nair 2004.*

## EXPERIENCES AU CANADA ET AUX ETATS-UNIS

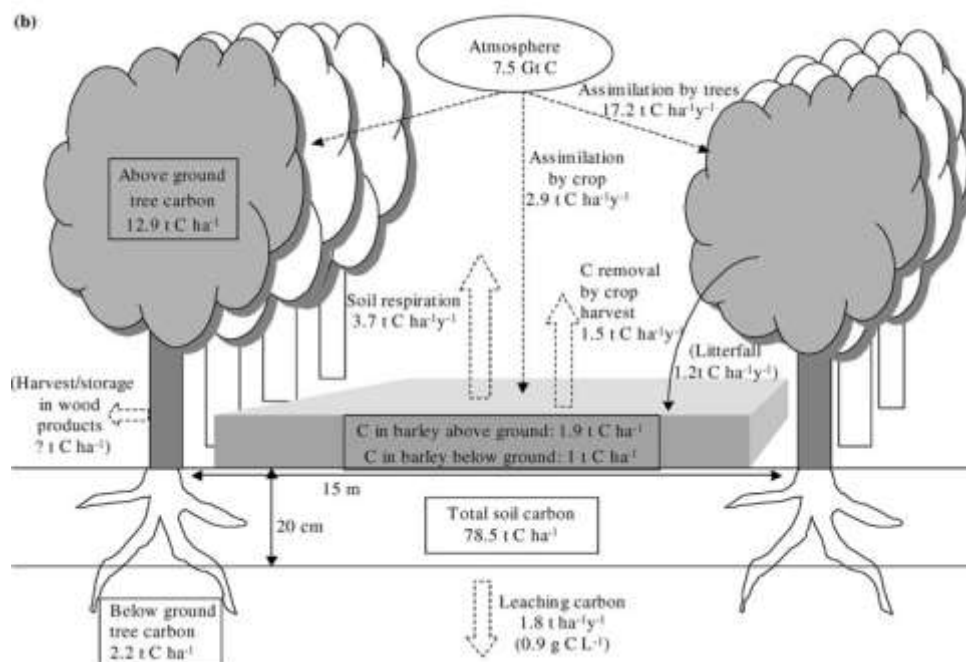
Thevathasan (2004) rapporte que des peupliers agroforestiers (111 arbres/ha), sur des sols limono-sableux de la station expérimentale de Guelph (Ontario, Canada) ont stocké 39 tC/ha sur une période de 13 ans dont 25tC stockés dans le sol (litière et turn over racinaire). Si l'on compte le re-largage de carbone à travers la minéralisation microbienne, le potentiel de stockage net pour les peupliers de cette station est de 1.65 tC/ha/an. Les auteurs ont montré que la parcelle agroforestière produit 4 fois plus de litières que le témoin sans arbres.



Photo aérienne du site agroforestier de Guelph au Canada – Photo Rémi Cardinael

Le potentiel de conversion de terres cultivées en agroforesterie au Canada a été estimé à 45,5 millions hectares. Si la fixation de carbone est au minimum de 200 Kg/ha/an sur cette superficie, alors l'objectif de réduction de 20% des GES pourrait être atteint uniquement grâce à l'agroforesterie d'ici 10 à 15 ans.

Sur le même site, Peichl et al (2006) ont calculé in situ les pools (biomasse aérienne et racinaire + sol) et les flux (respiration, lessivage) de carbone dans la même plantation de peupliers âgée, et rapportent un flux net de fixation de + 13.2 tC/ha/an pour l'association peupliers-orge, + 1.1 tC/ha/an pour l'association épicéa-orge comparé à un flux négatif de -2.9 tC/ha/an pour l'orge en culture pure.



Modèle de tous les pools et flux de carbone dans une parcelle agroforestière de peuplier âgée de 13 ans – Station expérimentale de Guelph, Ontario (Canada). Source : Peichl et al. 2006



En système silvopastoral au Canada, dans des parcelles de peupliers hybrides (*Populus sp.*) à 111 arbres/ha, le potentiel net de stockage de carbone est de l'ordre de 2.7 tC/ha/an alors qu'il est de moins d'1 tC/ha/an dans une prairie sans arbres (Gordon et al. 2005).

Sharrow et Ismail (2004) rapportent également un flux potentiel de stockage de carbone plus élevé en système agroforestier, de l'ordre de 1.11 tC/ha/an, pour une prairie de ray grass et de trèfle complantée avec des Douglas (*Pseudotsuga menziesii*) de 11 ans. Les travaux de Haile et al. (2008) montrent que, comparées à une prairie sans arbres, les parcelles silvopastorales contiennent plus de carbone dans les couches profondes du sol dans des conditions écologiques équivalentes. Ceci serait imputé au fait que la décomposition des racines mortes des arbres est une source importante de carbone organique dans le sol.

On retiendra qu'une estimation raisonnable du stockage potentiel des prairies agroforestières, pour des densités de 100 arbres/ha est de l'ordre de 2 tC/ha/an.

---

## EXPERIENCE EN FRANCE (INRA)

### **Zoom sur les Haies Champêtres et le Bocage en France**

Les équipes de l'INRA de Rennes et d'Orléans ont travaillé sur le carbone organique des sols dans le réseau de bocage français (Baudry et al. 2000, Walter et al. 2003). Ces travaux ont été repris par l'Expertise Scientifique Collective qui suggère des estimations de flux annuels nets (pour un scénario à 20 ans) de 0.1 tC/ha/an pour 100mL de haie par hectare (Arrouays et al. 2002).

Ces stocks additionnels sont principalement localisés autour de la haie grâce un horizon superficiel préservé et enrichi par la litière aérienne de l'arbre (feuillage, bois) (Follain et al. 2007). Même si le rôle des haies et du réseau bocager dans le stockage de carbone est avéré, les données et la connaissance sur le fonctionnement de la dynamique du carbone du sol manquent cruellement, si l'on veut pouvoir proposer des estimations fiables pour des politiques environnementales qui viendraient s'inscrire dans la réduction de nos émissions de GES.

A titre de comparaison, aux Etats-Unis, le United States Department of Agriculture (USDA) estime que si l'on protégeait les 85 millions d'hectares cultivés du centre nord des Etats-Unis, en bordant 5% de cette surface avec des haies, on pourrait stocker 58 millions de tC en 20 ans soit 2.9 millions tC/an (USDA National Agroforestry Center Ressources).

### **Cas de projets agroforestiers intraparcellaires**

#### 3. Parcelle de Vézénobres (Gard): peupliers (13 ans)

Presque sous les mêmes latitudes mais en climat méditerranéen, les peupliers agroforestiers de la station expérimentale de Vézénobres ont stocké en 13 ans environ 540 Kg C/arbre, dans le tronc et les branches (Dupraz comm. pers.). Les estimations du stockage de carbone dans les racines des peupliers de Vézénobres sont de l'ordre de 60 Kg C/arbre.



Excavation et mesure de la biomasse racinaire des peupliers par l'équipe INRA de Montpellier à Vézénobres (Gard). *Crédit photo : N. Girardin*

Les 140 peupliers de la parcelle agroforestière de Vézénobres sont donc capables de stocker 85 tC en 13 ans dans leur biomasse ligneuse aérienne et souterraine. L'évaluation du stock de carbone dans le sol dans la parcelle agroforestière de Vézénobres n'a pas donné de résultats exploitables étant donné le décapage de la couche étudiée (0-30 cm) après une forte inondation en 2002. Des estimations du stock de carbone organique pour l'horizon 0-20 cm seraient d'environ 100 t C/ha (CASDAR 2008) et ne seraient a priori pas différentes du stock de carbone en témoin agricole sans arbre



laissant supposer une faible, voire inexistante, séquestration du carbone dans le sol sur terrain sableux en climat méditerranéen. Le potentiel de stockage de carbone dans la composante arborée serait donc de 6,5 t C/ha/an pour une parcelle agroforestière (140 peupliers/ha) sur sols limono-sableux en climat méditerranéen.

#### 4. Parcelle des Eduts (Charente Maritime) : noyers noirs (30 ans)

Dans d'autres situations, des noyers noirs (*Juglans nigra*) sur sols de grois superficiels en climat océanique, ont montré une capacité de stockage estimée à 190 Kg C/arbre en 30 ans (CASDAR 2008) dans la partie aérienne et d'environ 100 Kg C/arbre dans les racines de structure (Gavaland et Burnel 2005 ; Gavaland. Comm.pers.) ce qui représente un potentiel de stockage de carbone dans la composante arborée de 20.3 tC/ha sur une période de 30 ans.



Parcelle agroforestière des Eduts composée de noyers et merisiers de 30 ans (Charente Maritime) (à gauche). *Crédit photo : F. Liagre*  
En profondeur, les racines principales et secondaires constituent un stock important de carbone. *Crédit photo : R. Cardinael*

A cela s'ajoute le carbone stocké dans le sol à travers le turn-over des racines fines des arbres. Ce stock a été estimé en faisant la différence entre le stock actuel en témoin agroforestier et en témoin agricole sans arbres. La différence de valeurs en termes de C organique donne environ 20 tC/ha entre les 2 témoins.

Néanmoins, cette différence correspond à une atténuation du déstockage de carbone lors d'un défrichage et non d'une accumulation de carbone. La cinétique de stockage du carbone étant 2 fois moins rapide que celle de déstockage durant les 20 premières années (Arrouays 2002), on estime à 10 t C/ha le stock de carbone additionnel dans le compartiment du sol agroforestier, ramenant le potentiel total de la parcelle à 30.3 t C/ha en 30 ans soit un stockage potentiel de 1 t C/ha/an pour une plantation de noyers noirs (70 arbres/ha) sur sols argilo-calcaires superficiels en climat océanique.

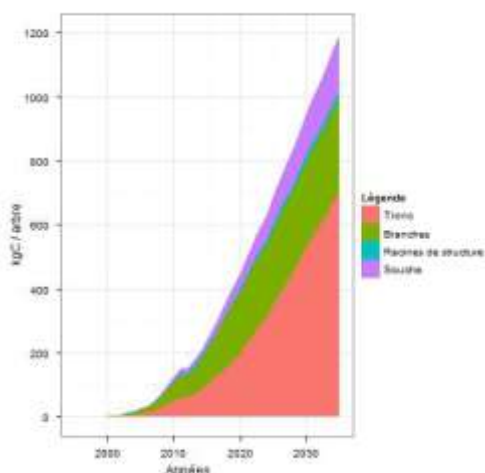
#### 5. Parcelle de Restinclières (Hérault) : noyers hybrides (10 ans)

Les noyers hybrides de la station de Restinclières (*Juglans regia* x *nigra* / 80 arbres/ha) sont associés à des cultures céréalières depuis maintenant 18 ans. L'INRA de Montpellier (UMR System) a développé un modèle (Hi-sAFé) de partage des ressources pour comprendre les interactions arbres-cultures en parcelle agroforestière. Ce modèle nous permet aujourd'hui d'estimer la fixation annuelle moyenne des noyers à entre 2 et 3 tC/ha/an (sur 40 ans) conduisant à un stock final de C dans les parties ligneuses de 100 à 120 tC/ha (Dupraz comm.pers.). Les travaux sur l'évaluation des variations de la teneur en C du sol sont en cours. Le stockage potentiel cumulé (biomasse de l'arbre et carbone du sol) serait compris entre 3 et 3.5 tC/ha/an pour des parcelles de 80 noyers hybrides par hectare.



Mesure de la biomasse aérienne des noyers hybrides de la station INRA de Restinclières (Hérault). *Crédit photo : C. Dupraz*

Le graphique suivant montre la répartition du carbone séquestré par compartiment de l'arbre (en kgC/arbre). Après 40 ans, le tronc de l'arbre aura stocké plus de 600 kg de carbone. Ce qui est important de noter, c'est bien la forme de la courbe : les premières années après la plantation, l'arbre stocke très peu de carbone. A 10 ans, le volume séquestré est peu significatif. Il faut attendre le dernier tiers de la vie de l'arbre pour avoir des volumes conséquents... Investir en agroforesterie ou plus généralement dans des plantations d'arbres pour séquestrer du carbone, c'est une question de long terme...



Simulation de la parcelle de Restinclières (noyers hybrides/blé dur) avec le modèle Hi-sAFe (source INRA Montpellier). Dans ces travaux, on note que la partie carbone stockée dans les racines de structure semble encore sous-estimée. Crédit photo : R. Cardinael.

## QUELLES HYPOTHESES RETENIR ?

Compte tenu des travaux menés par la recherche en France et en Amérique du Nord, on peut estimer que la création d'une parcelle agroforestière conduit à stocker annuellement entre 1.5 et 4 tC/ha pour des densités comprises entre 50 et 100 arbres/ha soit en moyenne 2 fois plus qu'un hectare forestier moyen, estimé à 1 tC/ha/an (Chevassus au Louis 2009) et entre 5 et 10 fois plus que les Techniques Culturelles Simplifiées (0.3 tC/ha/an) (TCS 2009). Mais cela reste en dessous des projets de boisement de terres agricoles, où le stockage est estimé à environ 6 tC/ha.

La conversion des terres arables ou des prairies en agroforesterie représente donc, sur une unité de surface, un potentiel de stockage intéressant sur le long terme. D'autant plus que les parcelles agroforestières, contrairement aux forêts, partent d'un stock initial presque nul ...

Afin de ne pas surestimer les quantités de carbone séquestrées, on retiendra comme hypothèse principale que le potentiel de stockage d'une parcelle agroforestière moyen est égal à la moitié du stock final calculé dans les travaux de la recherche.

Type d'arbres	Durée de la rotation	Densité d'arbres	Potentiel de stockage (tC/ha/an)	Stockage moyen sur la durée de la rotation (tC/ha)	Stockage final (tC/ha)
Croissance lente	50 ans	50 arbres /ha	1.5	37.5	75
Croissance lente	50 ans	100 arbres/ha	3	75	150
Croissance rapide	15 ans	50 arbres/ha	2	15	30
Croissance rapide	15 ans	100 arbres/ha	4	30	60

Potentiel de stockage des principaux systèmes agroforestiers en fonction du type d'arbres et de la densité.

Ces données correspondent à une fourchette basse. La séquestration du carbone dépend des conditions pédoclimatiques, des essences et de la gestion des systèmes, ces systèmes pouvant être extrêmement diversifiés. De plus, le stockage du carbone dans les sols et son évolution en lien avec les processus biogéochimiques et biologiques sont encore à l'étude et font l'objet du projet de recherche AGRIPSOL<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> Agroforesterie pour la Protection des SOLs – Etude de l'impact des arbres agroforestiers sur le fonctionnement biogéochimique du sol – Financé par l'ADEME.

## ANNEXE 2 : ELÉMENTS DE CALCUL POUR ESTIMER LA PRODUCTION DE BIOMASSE ÉNERGIE EN AGROFORESTERIE

Dans la filière énergie, le bois prend une place de plus en plus importante. On distingue le bois bûche, les plaquettes et les granulés.

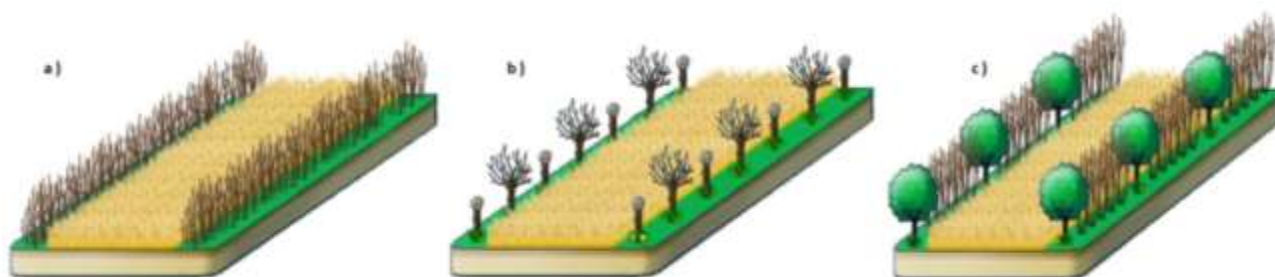
<p>Le bois bûche</p> 	<p>Généralement obtenu à partir des branches au diamètre supérieur à 20 cm, les volumes produits sont mesurés en stères (=empilement de bûches dans un volume d'un m<sup>3</sup>). Il représente encore 80% du bois énergie consommé en France (France Bois Forêt, 2012). C'est la forme de bois énergie qui demande le <b>MOINS DE TRANSFORMATION</b>, mais il présente le désavantage d'être <b>ENCOMBRANT</b> et d'avoir un rendement énergétique moins important que les plaquettes et les granulés.</p>
<p>Les plaquettes (bois déchiqueté)</p> 	<p>Obtenues à partir d'un bois au diamètre inférieur à 25cm, de rémanents (écorce, brindille, houppier) déchiquetés. Les volumes produits sont mesurés en Mètre cube Apparent (MAP). L'utilisation de ces produits <b>DEPEND FORTEMENT DE L'ORGANISATION DE FILIERES AU NIVEAU LOCAL</b>, devant mettre en cohérence l'offre et la demande et organiser le marché. Cela nécessite des volumes relativement importants (suivant l'utilisation qui en est faite). Dans le cas de faibles chantiers d'abattage ou de taille, l'exploitation des rémanents n'est pas rentable économiquement pour de la vente mais peut être valorisé au niveau de l'exploitation.</p>
<p>Les granulés ou pellets</p> 	<p>Ils sont fabriqués à partir de sciures de bois compressées formant ainsi un <b>COMBUSTIBLE DENSE</b> dont la masse volumique est de 0,65 t/m<sup>3</sup>. Ils sont utilisés dans des chaufferies automatisées. Bruler 1m<sup>3</sup> de granulés fourni la même énergie que 3-4m<sup>3</sup> de plaquettes (CRPF Poitou Charente, 2009).</p>

Le bois déchiqueté est sans doute le produit biomasse le plus intéressant car nécessitant aujourd'hui le moins d'énergie pour sa transformation par rapport aux autres produits comme le granulé par ex.

La mécanisation permet aujourd'hui de rentabiliser la transformation de cette biomasse, notamment dans les haies bocagères. De plus en plus de références arrivent des différents projets menés par les CUMA en France. A titre d'exemple, en fonction du type d'essence, des conditions climatiques et de la gestion suivie, une haie peut produire 2 à 9 tMS/ha/an de bois énergie.

Mais une parcelle agroforestière, sous ses formes les plus diverses autre que les haies, constitue également une source de biomasse. Comment estimer les volumes produits selon le type de système ? Des expérimentations et modélisations réalisées dans le projet CasDAR 2011 « Améliorer l'efficacité agroenvironnementale des systèmes agroforestiers en grandes cultures » ont permis d'estimer la production de bois énergie dans différents systèmes agroforestiers innovants.

Trois systèmes ont particulièrement été étudiés selon leur faisabilité technico-économique :



Exemples de scénarios de systèmes agroforestiers à vocation production de biomasse

- a) Des alignements de cépées à des densités de 800 à 2200 arbres/ha, facilement mécanisables, permettraient de produire en 4ans, 10 à 13 tMS/ha. Ce bois pourrait être alors valorisé en BRP ou plaquettes.
- b) Des systèmes intégrant des alignements de trognes qui seraient récoltés tous les 7ans dès la 15<sup>e</sup> année permettraient de produire 7 à 11 tMS/ha pour des densités de 50 à 100 arbres/ha. Les trognes isolées sont utilisées dans différentes régions de France de manière traditionnelle. Les trognes peuvent toutefois parfois présenter des difficultés pour la récolte des houppiers et la mécanisation est un enjeu important pour le développement de cette option.
- c) Un système mixte avec des cépées (100 – 150 arbres/ha) entre des arbres de haut-jet (20 – 30 arbres/ha) permettrait de récolter en 7ans, 6 à 8 tMS/ha de bois énergie.

Le tableau suivant présente les principaux résultats des simulations en les comparant avec des scénarios de taillis à courte et très courte rotation (TTCR). La dernière ligne indique la surface à aménager pour produire l'équivalent de 200 MAP sec par an.

	A) SC. TAILLIS	B) SC. TROGNES	C) SC. CEPEE AVEC ARBRES DE HAUT-JET	TTCR	TCR
INTERVALLE DE RECOLTE DE BIOMASSE (ANS)	3 à 5	4 à 8	6 à 8	2 à 3	7 à 10
PRODUCTION PAR INTERVALLE DE RECOLTE (T MS/HA)	10 à 13	7,4 à 11,3	5,7 à 7,6	16 à 36	56 à 180
INVESTISSEMENT INITIAL	293 €	725 à 943 €	918 €	1740 €	1204 €
SURFACES POUR 200 MAP SEC/AN DE BE (HA)	19 à 20	22 à 34	47 à 61	4,2 à 6,3	2,8 à 6,25

Sources : Béral et Ori, 2012.

Pour un projet agroforestier classique, c'est le scénario b) que l'on retiendra comme scénario de base car il est envisageable avec des arbres de haut-jets sans autre aménagement supplémentaire comme c'est le cas pour les 2 autres scénarios.

L'ensemble de ces scénarios donnent une idée du potentiel en termes de production de biomasse mais restent à être étudiés plus finement selon les conditions pédoclimatique et les ressources disponibles dans chaque contexte agricole.

On se référera à la brochure produite par le projet DAR pour plus de détails dans les modes de calcul, le détail des scénarios et la rentabilité des projets. Nous attirons votre attention sur le fait que cette brochure doit être utilisée comme un outils d'aide à l'aménagement ou à l'expérimentation. Les chiffres donnés correspondent à des scénarios issus d'exemples de terrain et de simulation par modèle.



## ANNEXE 3 : EXEMPLE DE QUESTIONNAIRE D'ENQUETE POUR UN DIAGNOSTIC EXPLOITATION

<b>Connaître la propension de l'interviewé à innover</b>
<p><i>Interviewé(e) :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Son âge, son origine géographique, l'origine de son lien avec l'agriculture</li> <li>- Sa formation professionnelle</li> <li>- Son parcours personnel, ses éventuelles activités avant l'installation</li> <li>- Son installation (date, conditions)</li> <li>- Son entourage proche : sa situation familiale (précisions sur les membres de la famille et leurs rôles respectifs dans l'exploitation)</li> <li>- Ses passions et activités hors du monde agricole : vie associative, vie locale, ses responsabilités politiques, syndicales ou représentatives dans le domaine agricole</li> </ul>
<p><i>Sa vision de l'agriculture qu'il exerce: état des lieux (environnemental)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sa vision de l'avenir : Comment l'agriculture va-t-elle évoluer ?</li> <li>- La situation idéale : pour lui et son entreprise</li> <li>- Pour la société : quelle agriculture ? Quelle campagne ?</li> <li>- Comment pourrait-on y parvenir ?</li> </ul>
<p><i>Ses préoccupations personnels et ses projets :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ses préoccupations et les points qui lui posent problème dans son système de production actuel</li> <li>- Ses projets pour l'exploitation et comment compte-t-il s'y prendre : investissements, conseils, formation... <ul style="list-style-type: none"> <li>• à court terme, d'ici 3-5 ans</li> <li>• à plus long terme, d'ici 10-15 ans</li> </ul> </li> </ul>

<b>Description de l'exploitation agricole</b>
<p><i>Forme juridique</i></p> <p><i>Nombre d'associés, durée du partenariat, expériences passées d'association, constat</i></p> <p><i>Equivalent UTH, emplois saisonniers, enfants et femme participant (quels ateliers, tâches)</i></p> <p><i>Repreneur potentiel, degré de certitude – avis personnel sur l'intérêt de la reprise</i></p> <p><i>Organisation du travail, répartition des tâches / main d'œuvre</i></p> <p><i>Détailler journée type, semaine type / saison</i></p> <p><i>Détailler organisation WE et vacances</i></p>

<b>Déterminer de sa stratégie globale de gestion de l'exploitation</b>
<p><i>Histoire de l'exploitation et grandes évolutions :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- histoire de l'exploitation avant installation, grandes évolutions et leur origine</li> <li>- situation à l'installation</li> <li>- les évolutions en cours, les changements et leurs motivations</li> </ul>
<p><i>Modes de valorisation, de commercialisation (label, certifications ...)</i></p> <p><i>Que pense-t-il de la conditionnalité à venir (PAC)? Pourquoi ?</i></p> <p><i>Engagement volontaire et démarche agroenvironnementale (MAE, CAD, PVE...). Raisons ?</i></p>

<b>Sa stratégie de production</b>
<p><i>SAU totale, règle d'assolement, nature du parcellaire (nb/taille des parcelles, ilots, dispersion, accès, qualité)</i></p> <p><i>Disposition des bâtiments</i></p> <p><i>Organisation spatiale (bâtiments et parcellaire)</i></p> <p><i>SAU en propriété / en fermage (%) – Type de bail et contrat ? Bail à clauses environnementales ?</i></p>

<p>SFP décomposition précise (dont % plantes fourragères annuelles ou pérennes)</p> <p>Sole SCOP et autres (par culture) (en %)</p> <p>Répartition prairies permanentes et temporaires au sein de la SFP</p> <p>Rotations (successions) types, surfaces et type de sols réservés à ces rotations</p>
<p>ITK détaillé (produits, dates, doses, fréquence) (par culture):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- conduite des cultures (traitements, fertilisation, irrigation...)</li> <li>- conduite des intercultures (nature, période d'implantation, de destruction, méthodes employées...)</li> <li>- conduite des prairies (traitements, fertilisation, durée...)</li> </ul> <p>Mécanisation (matériels de travail du sol, de désherbage, de semis, de broyage (interculture))</p> <p>Méthode de gestion de la fertilisation azotée, nature des intrants azotés (organique, minéraux, valorisation de matières organiques importées...), modalités de gestion des effluents d'élevage...</p> <p>Approvisionnement phytosanitaire, fertilisants, semences (diversité des sources et donc du conseil)</p>
<p>Objectifs de rendement fixés (par culture) = niveau de production moyen</p> <p>Ecart du rendement au rendement objectifs (par culture) et raison de l'écart supposé</p> <p>Cheptel (nb animaux/catégories, races, organisation spatiale et temporelle de la gestion du troupeau, système fourrager, alimentation des animaux-ration/saison et origine des aliments)</p> <p>Volume/quantité de production (grains, lait, animaux...)</p>

<p><b>Son potentiel d'acceptation et d'innovation</b></p>
<p>La nature des conseils/échanges au cours de discussion formelles: ☑☑techniciens, conseillers (CL, CA, association de développement, GAL, syndicats de rivière, de bassin versant...)</p> <p>Sa participation à des groupes d'échange : de terres, de matériels, de techniques</p> <p>Dispose-t-il de conseils informels : syndicats, investissement politique, voisins, fournisseurs, clients</p> <p>Autres sources de conseil et d'information : médias : journaux et revues, radio, télévision, internet (lesquels ?), lectures, conférences, etc.</p>

<p><b>Sa perception de son impact sur les ressources naturelles</b></p>
<p>Identification et localisation au sein ou à proximité de phénomènes d'érosion, de colmatage du réseau hydrographique, de destruction passée et à venir d'infrastructures agroécologiques (IAE, telles les haies, bosquets, mare...), de bétouilles, de déchetterie sauvage ...</p>
<p>Prise de conscience des effets négatifs sur les compartiments environnementaux (eau, sols, air, biodiversité, paysage commun)</p> <p>Participation à des diagnostics agroenvironnementaux : nombre, nature, compartiment ciblé, raison, fréquence?</p> <p>Engagement volontaire ou contraint?</p> <p>Opportunité momentanée (€), obligation pour subvention supplémentaire ou décision personnelle?</p> <p>Projets réalisés ou en cours de modernisation (isolation, performance...) des outils de production (bâti, machinisme, traction, chauffage renouvelable solaire, géothermie, éolien)</p>
<p>Priorisation des enjeux sur son exploitation (sols/érosion; eau/pollutions, revenus/diversification ou densification; air/réchauffement climatique et consommation azote, pesticides et carburants ; biodiversité/aménagements pollinisateur, jachères cynégétiques ; paysagères / haies, vergers, reboisement, remise en herbe...</p>
<p>Niveau d'acceptabilité de l'implantation sur son parcellaire d'infrastructures agroécologiques (haies, fascines mécaniques ou vivantes, TCR/TTCR, agroforesterie, remise en herbe, reboisement, lignes d'arbres dont têtards, culture biomasse, ...) ou de modification des pratiques de mécanisation (strip till, SD, SDSCV, TCS, pulvérisation autoguidée, carte de rendement et d'application...)</p>

<p><b>Son degré d'acceptation ex-ante de l'agroforesterie</b></p>
<p>Considération du rôle de l'arbre</p> <p>Présence d'arbres sur l'exploitation ? Description (nombre, surface, essences, rôle)</p> <p>Quelle est la gestion de ces arbres présents ? Qui les gère ?</p> <p>A-t-il planté des arbres ?</p>



*Les arbres peuvent-ils être le support d'innovation ou de diversification ?*

*Connaissance de l'agroforesterie*

*Définition et sources d'informations*

*Connait-il des exemples ? A-t-il visité des projets ?*

*Qu'en pense-t-il à priori ?*

*Après une présentation diaporama, questions sur la faisabilité de l'agroforesterie*

*Quelles seraient les motivations à la mise en place d'un projet ?*

*Quelles seraient les contraintes ?*

*Quelles seraient les raisons de la conception d'un projet agroforestier? Avec quels objectifs de production, de commercialisation envisagés?*

*Quels genres de sols, de parcelles pourraient être disponibles pour accueillir un projet agroforestier?*

*Quelles successions / rotations pourraient héberger un tel système?*

*Pourquoi telle culture ne serait pas concernée ?*

*Quelles contraintes matériels, organisationnelles voire culturelles faudrait-il lever?*

*Dans quelles conditions (€ comme contractuelles) s'engagerait-il? Quelle serait la part de financement qui serait assumée ?*

*Quelles ressources (humaine, expertise, conseil...) devrait lui être allouées ? et qui devrait fournir ces ressources?*

*Si un propriétaire lui propose un projet sur ses terres en fermage, serait-il prêt à collaborer ? A quelles conditions ?*

*Selon lui, comment faire pour intéresser les agriculteurs à cette pratique ? Comment les sensibiliser ?*

*Connait-il quelqu'un qui serait susceptible de se lancer ?*

*Souhaite-il visiter une parcelle ? Etre recontacté pour un rendu ou des réunions d'informations?*

## ANNEXE 4 : EXEMPLE DE GRILLE DE DIAGNOSTIC PROJET

Dossier type en 2 parties : description technique du projet et estimation du budget. On peut imaginer une convention entre le porteur de projet et la collectivité afin de s'assurer de la pérennité du projet. Dans le cadre de la mesure 222 du PDRH, le cahier des charges peut servir d'engagement entre le porteur de projet et la collectivité.

### DESCRIPTION TECHNIQUE DU PROJET

Date

#### 1. Présentation de l'exploitation et du projet

##### Exploitation agricole

Nom et Prénom :  
Forme juridique :  
SAU :  
Adresse :  
Téléphone :  
Mail :

##### Contenu du projet

##### Objectifs et intérêts du projet

##### Caractéristiques de la parcelle (Cf. Carte)

Surface cadastrale:  
Surface cultivable :  
Localisation :  
  
Eligibilité :  
  
Utilisation actuelle :  
  
Type de sol :  
  
Description de la fosse (1 mètre profondeur) :

##### Dimensions du matériel utilisé

Travail du sol :  
Semis :  
Traitement :  
Récolte :  
Système d'irrigation :  
Autres :

## 2. Dispositif agroforestier :

### Implantation

#### Agroforesterie intraparcellaire

Distance entre les lignes d'arbres :

Distance entre les arbres sur le rang :

Largeur cultivée :

Largeur des fourrières :

Nombre de rangs d'arbres:

Nombre de tiges par rang :

Orientation des rangs :

Nombre d'arbres intraparcellaires :

#### Haies

Linéaire de haies :

Haies simples :

Ecartement sur la ligne :

Haies doubles :

Ecartement sur la ligne :

Ecartement entre les 2 rangs :

Nombre d'arbres haies :

NOMBRE ARBRES TOTAL : arbres/arbustes/lianes

### Cultures

#### Cultures intercalaires :

Type de cultures et rotation:

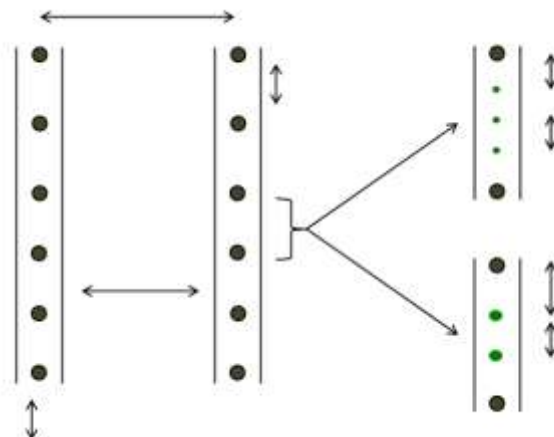
Préciser les difficultés éventuelles liées à la présence des arbres :

Matériel utilisé (préciser la largeur) :

### Commentaires

## 3. Schémas des dispositifs (Carte ou plan joint au document)

Agroforesterie intraparcellaire (indiquer les distances et mesures en mètres : les points noirs représentent arbres et les points verts des arbres ou arbustes intercalés entre les arbres d'avenir)



Haies  
Haut jet – cépée – arbustes

<i>Nom Parcelle :</i>			
	<b>CU</b>	<b>Projet</b>	<b>Invest/arbre</b>
Nombre hectares			
Sous-solage et préparation Piquetage			
<b>Total opérations</b>			
<b>Plants</b>			
<i>Densité par ha</i>			
<i>Essence 1</i>			
<i>Essence 2</i>			
<i>Essence 3</i>			
<i>Essence 4</i>			
<i>Coût Unitaire moyen</i>			
<b>Total</b>			
Protection gibier Paillage			
<b>Total protection</b>			
Plantation Pose protection			
<b>Total plantation</b>			
Frais de dossier par projet/ha			
Suivi des plantations assuré par Agroof Coût journée Coût par arbre/ha			
Total du projet sur 5 ans Total par ha / an			
<b>Total Investissement par ha</b>			
<b>Total Investissement par arbre</b>			
<b>Total investissement pour l'exploitation</b>		€	
<b>Total ha plantés pour l'exploitation</b>		xxx ha soit	xxx arbres
<b>Budget total plantation</b>	euros		
<b>% demandé</b>	xx %		
<b>Total aide demandée</b>		€	
	soit	€	par arbre

#### EVALUATION DU COUT DE MISE EN PLACE ET D'ENTRETIEN DES PARCELLES

Selon le nombre de projets, on peut centraliser les possibilités d'achat de plants auprès de pépiniéristes agréés afin de bénéficier de meilleures conditions.

## BIBLIOGRAPHIE

- ADEME, 2009. Construire et mettre en œuvre un Plan Climat Energie Territorial : Guide méthodologique. <http://www2.ademe.fr/servlet/getDoc?sort=1&cid=96&m=3&id=61443&ref=&nocache=yes&p1=111>
- ADEME, 2010. Agriculture, Sylviculture. <http://www.pcet-ademe.fr/domaines-actions/agriculture/contexte-et-enjeux>
- ARROUAYS D., BALESSENT J., GERMON J.C., JAYET P.A., SOUSSANA J.F., STENGEL P., 2002, Stocker du carbone dans les sols agricoles de France ?, Expertise Scientifique Collective INRA, 334p
- D. Arrouays, W. Deslais, V. Bateau, 2001. The carbon content of topsoil and its geographical distribution in France. *Soil Use and Management*, 17, 7-11.
- D. A. Angers, D. Arrouays, N. P.A. Saby & C. Walter, 2011. Estimating and mapping the carbon saturation deficit of French agricultural topsoils. *Soil Use and Management*, 27, 448-452
- BALESSENT J., ARROUAYS D., CHENU C., FELLER C., 2005. Chapitre 10 : Stockage et recyclage du carbone, 238-259 in GIRARD M.C., WALTER C., REMY J.C., BERTHELIN J., MOREL J.L. (2005) *Sols et Environnement*. Dunod (Ed.) 816p
- BAUDRY, J., BUNCE, R.G.H., et al., 2000. Hedgerows: an international perspective on their origin, function and management. *Journal of Environmental Management* 60 (1), 7-22.
- BAUMOL W.J, OATES W.E., 1975. *The Theory of Environmental Policy*. Prentice Hall, New York
- BADEAU V., DUPOUEY JL, CLUZEAU C., DRAPIER J., LE BAS C., 2010. Climate change and the biogeography of French tree species: first results and perspectives - *Forests, Carbon Cycle and Climate Change*
- BRISSON, N., GATE, P., GOUACHE, D., CHARMET, G., OURY, F.X., HUARD, F., 2010. Why are wheat yields stagnating in Europe? A comprehensive data analysis for France. *Field Crops Res.* 119:201-212.
- CARDINAEL R., 2011. Potentiel de développement de l'agroforesterie en Languedoc-Roussillon : Etude de cas sur les territoires concernés par des Plans Climat Energie Territoriaux. Mémoire de fin d'études AgroParisTech. 108pp.
- CARDINAEL R., GORDON A., MOHAMMED I., THEVATHASAN N., CLINCH R., SIDDEERS D., 2012. Growing woody biomass for bioenergy in a tree-based intercropping system in southern Ontario, Canada. *Agroforestry Systems* 86:279-286.
- CHEVASSUS-AU-LOUIS B., SALLES J-M., BIELSA S., RICHARD D., MARTIN G., PUJOL J-L, 2009. Approche économique de la biodiversité et des services liés aux écosystèmes – Contribution à la décision publique, 378p.
- CR LR, 2007. La filière bois énergie en Languedoc-Roussillon. [http://www.pole-energies11.org/IMG/pdf/depliant\\_filiere\\_bois.pdf](http://www.pole-energies11.org/IMG/pdf/depliant_filiere_bois.pdf)
- DUPRAZ C. et LIAGRE F., 2011. *Agroforesterie : des arbres et des cultures*. 2<sup>e</sup> édition France Agricole. 432pp.
- FAO 2009. Food security and Agricultural Mitigation in Developing countries: Options for capturing synergies. Food and Agriculture Organisation of the United Nations, Rome, November 2009, 84 p.
- FOLLAIN S., WALTER C., LEGOUT A., LEMERCIER B., DUTIN G., 2007. Induced effects of hedgerow networks on soil organic carbon storage within an agricultural landscape. *Geoderma*, 142, pp. 80-95
- GARDETTE Y-M. and LOCATELLI B., 2007. Les marchés du carbone forestier. Comment un projet forestier peut-il vendre des crédits carbone ? ONF International, CIRAD, 72 p.
- GAVALAND A. and BURNEL L., 2005. Croissance et biomasse aérienne de noyers noirs, *Chambres d'agriculture* n° 945, pp. 20-21
- GIEC, 2007. Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Équipe de rédaction principale, Pachauri, R.K. et Reisinger, A. (publié sous la direction de~)]. GIEC, Genève, Suisse, ..., 103 p.
- GORDON AM, Naresh RPF and Thevathasn V (2005) How much carbon can be stored in Canadian agro-ecosystems using a silvopastoral approach? In: Mosquera-Losada MR, McAdam JH and Riguerio-Rodriguez A. *Silvopastoralism and Sustainable Land Management*, CABI Publishing, Wallingford UK. pp 210-218.

- HAILE S. G., NAIR R. P. K., NAIR V. D., 2008. Carbon storage of different soil-size fractions in Florida silvopastoral systems, *Journal of Environmental Quality*, 37, pp. 1789–1797
- HAMONT X., DUPRAZ C., LIAGRE F., 2009. *L'agroforesterie : Outils de séquestration du carbone en agriculture*. 18pp.
- INRA 2008. Projections des émissions/absorptions de gaz à effet de serre dans les secteurs forêt et agriculture aux horizons 2010 et 2020, Rapport final, 202 p.
- IPCC 2000. Land use, land-use change and forestry (LULUCF). Watson, R.T. et al. (eds). Cambridge University Press. 375 pp.
- LECOQ F., 2006. Les marchés carbone dans le monde. *Revue d'économie financière*, 83.
- LEPAGE C., 2009. Changement climatique : parlons clair ! *Actu-Environnement*, 30 septembre 2009
- LIAGRE F., 2006. *Les Haies Rurales*, éditions France Agricole, 320 p.
- LAL R. 2003. Global potential of soil carbon sequestration to mitigate the greenhouse effect. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 22(2): 151-184.
- MEED 2007. Inventaire national des émissions de gaz à effet de serre, créé le 30 janvier 2009. Disponible en ligne à l'adresse : <http://www.ecologie.gouv.fr/Inventaire-national-2007.html> .
- MONBIOT G., 2009. Climat : ne pas baisser les bras, *The Guardian* (Londres). In : *Courrier International*, Hors série, Septembre-Octobre-Novembre 2009
- MONTAGNINI F. and NAIR P. K. R., 2004. Carbon sequestration: An underexploited environmental benefit of agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, 61, pp. 281–295
- MULIA R., DUPRAZ C., 2005. Unusual fine root distributions of two deciduous tree species observed in Southern France: what consequences for root dynamics modelling?, *Plant and Soil* 281, pp. 71-85
- NAIR P.K.R., KUMAR B.M., NAIR V.D., 2009a. Agroforestry as a strategy for carbon sequestration. *J. Plant Nutri. Soil Sci.* 172, 10–23.
- NAIR P.K.R., NAIR V. D., KUMAR B.M., HAILE Solomon G., 2009b. Soil carbon sequestration in tropical agroforestry systems: a feasibility appraisal. *Environmental Science and Policy*, in press.
- NATIONS UNIES – Conseil Economique et Social, 2009. La forêt et le changement climatique. Forum des Nations Unies sur les forêts, Huitième session. New York, 20 avril-1er mai 2009, 19 p.
- OELBERMANN M., VORONEY R.P., GORDON A.M., 2004. Carbon sequestration in tropical and temperate agroforestry systems: a review with examples from Costa Rica and southern Canada, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 104, pp. 359–377
- PEICHL M., THEVATHASAN N. V., GORDON A. M., HUSS J., ABOHASSAN R. A., 2006. Carbon sequestration potentials in temperate tree-based intercropping systems, southern Ontario, Canada, *Agroforestry Systems*, 66, pp. 243–257
- REISNER Y., DE FILIPPI R., HERZOG F., PALMA J., 2007. Target regions for silvoarable agroforestry in Europe, *Ecological Engineering*, 29, pp. 401-418
- SCHROEDER, P. 1994. Carbon storage benefits of agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 27: 89-97.
- SHARROW S.H., and ISMAIL S., 2004. Carbon and nitrogen storage in agroforests, tree plantations, and pastures in western Oregon, USA. *Agroforestry Systems*, 60, pp. 123–130
- TECHNIQUES CULTURALES SIMPLIFIEES 2009, Metz, n° 54, 35 p.
- THEVATHASAN N.V. and GORDON A.M., 2004. Ecology of tree intercropping systems in the North temperate region: Experiences from southern Ontario, Canada. *Agroforestry Systems*, 61, pp. 257-268,
- WALTER C., MEROT P., LAYER B. & DUTIN G., 2003. The effect of hedgerows on soil organic carbon storage in hillslopes. *Soil Use and Management*, 19, pp. 201-207
- WINEBRAKE J.J., FARRELL A.E., BERNSTEIN M.A., 1995. The clean air act's sulfur dioxide emissions market: Estimating the costs of regulatory and legislative intervention. *Resource and Energy Economics*, 17 (3), pp. 239-260