

n°20 • avril 2010

ANNEXE METHODOLOGIQUE – VERSION 1, AVRIL 2010

VALORISATION CARBONE DE LA FILIERE FORET-BOIS EN FRANCE

Mariana Deheza et Valentin Bellassen

Ce document présente les calculs des effets carbone de chaque projet ainsi que les résultats en complémentarité avec l'Annexe 1 de l'Etude Climat.

Les calculs exposés ont pour objectif de présenter des ordres de grandeur et doivent être prises avec prudence à cause des incertitudes liées à nos différentes hypothèses.

CALCULS REALISES POUR CHAQUE PROJET

Cette annexe détaille la procédure suivie pour le calcul de la séquestration carbone de chaque projet. Les hypothèses, généralisations et approximations employées imposent d'utiliser ces résultats avec précaution : ce sont les ordres de grandeur, plus que les résultats précis, qui doivent être considérés dans l'analyse.

Les coefficients de conversions utilisés dans nos calculs sont :

m^3 de bois exploité = 1 tonne CO_2

1 tonne de matière sèche (TMS) = 0,5 tonnes de carbone

1 tonne de carbone = 3,667 tonnes CO_2

Sauf indication contraire, tous les calculs et hypothèses ont été réalisés par la CDC Climat Recherche.

Exemple 1) Projet de boisement à vocation de bois d'œuvre

A. Informations générales du projet

Essence : Noyer hybride (*sp. juglans nigla*)¹

Localisation : Région Provence-Alpes-Cote-d'Azur (PACA)

Taille : 10 ha

Densité initiale de plantation : 200 tiges/ha – basse densité

Itinéraire sylvicole : Eclaircies les années 25, 40 et 55. Coupe rase l'année 80.

B. Méthodologie utilisée pour le calcul de la séquestration carbone du projet de boisement

Stock Forêt

Les données de séquestration carbone du projet pendant la période de certification sont extraites de la comptabilité réalisée par Reverchon (2006) pour ce projet. Ces données reposent sur des modèles de croissance (Becquey, 1997) et sur les méthodologies validées par l'UNFCCC pour les projets de boisement. Les paramètres utilisés par Reverchon incluent entre autres l'infradensité du bois ($D = 0.55^2$) et le taux de carbone dans la matière ligneuse sèche ($T_c = 0,5^3$).

La séquestration carbone du projet dans son compartiment forêt est présentée dans la Figure 1.

Destination de la récolte: A partir des données de Reverchon des niveaux de récolte lors de chaque opération sylvicole nous faisons quelques hypothèses d'usage. La conversion de m^3/ha à TMS/ha est réalisée en utilisant la densité⁴ de l'essence à 15% d'humidité = $0,670 \text{ TMS}/m^3$. Ces ordres de grandeur nous permettent de voir les autres effets de prolongation de la séquestration dans les produits bois et la réduction des émissions des autres filières grâce à l'utilisation du bois dans la production énergétique ou dans la construction.

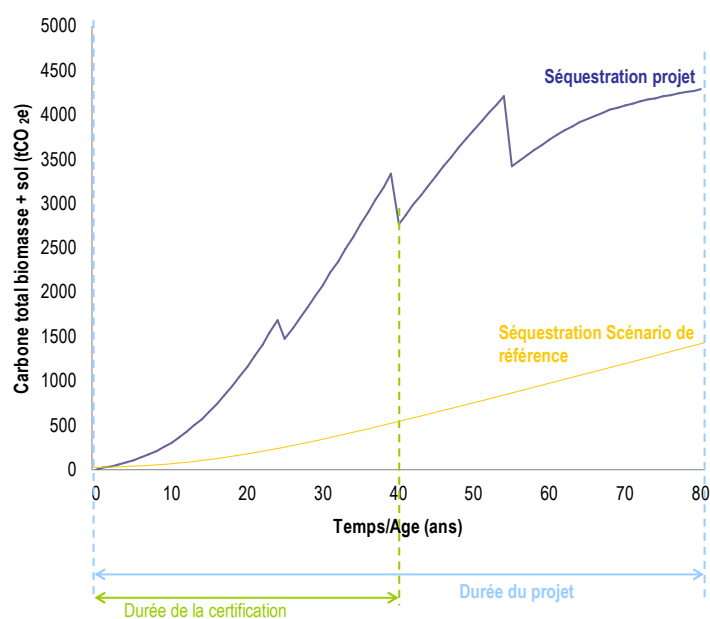
¹ **Autres essences éligibles** : merisier, noyer, aulne, érable sycomore, cornier, érable champêtre, mûrier blanc, tilleul, poirier. Ces essences ont été choisies en raison de leur adaptabilité au terrain et au climat de la région.

² Dupouey et al. (1999)

³ GIEC

⁴ <http://www.worldagroforestry.org/sea/Products/AFDbases/WD/asps/DisplayDetail.asp?SpecID=1877>

Figure 1 – Séquestration de carbone par le projet de plantation futaie régulière
(Exemple : 10 ha de Noyer – *Juglans sp.*)



Source : CDC Climat Recherche d'après Reverchon (2006)

Tableau 1 – Projet 1 : La récolte et son usage

Opération sylvicole	Age (années)	Récolte (m³/ha)	Conversion TMS/ha (15% hum)	Usages (%)			Volets à valoriser
				BE	BO	BI	
Eclaircie 1	25	27,7	18,5	100%	0%	0%	SE
Eclaircie 2	40	57,4	38,5	90%	10%	0%	SPB, SE, SM
Eclaircie 3	55	71,5	47,9	80%	20%	0%	SPB, SE, SM
Coupe Rase	80	272,9	182,8	50%	50%	0%	SPB, SE, SM

BE: Bois énergie, BO: Bois d'œuvre, BI: Bois d'industrie

SE: Substitution Energétique, SPB: Stock Produits Bois, SM: Substitution Matériaux

Stock Produits bois (SPB)

Nous utilisons la méthodologie CCX de calcul de la prolongation du stockage de carbone dans des produits bois. Cette méthodologie octroie un crédit carbone pour chaque tonne de CO₂ contenue dans les produits-bois (en usage ou enfouis en décharge) et qui n'a pas été réémise dans l'atmosphère 100 ans après la récolte. Elle repose sur des facteurs du Département de l'énergie américain : à chaque type de bois son facteur de conversion carbone, selon le produit auquel il est destiné (bois d'œuvre, bois d'industrie). Les coefficients CCX présentés au niveau régional nous permettent de calculer la valeur moyenne de prolongation du stockage de carbone dans les produits bois selon les deux catégories d'usage utilisées par la suite : Bois d'œuvre (*sawlog*) et Bois d'industrie (*pulpwood*)

	Bois d'œuvre	Bois d'industrie
Feuillus	0,276	0,241
Résineux	0,350	0,203

Source: CCX Offset Project Protocol - Forestry Carbon Sequestration⁵

⁵ http://www.chicagoclimatex.com/docs/offsets/CCX_Forestry_Sequestration_Protocol_Final.pdf (page 54)

Les hypothèses d'usage de la récolte du Tableau 1 conduisent aux résultats du Tableau 2 pour le stock dans les produits-bois.

Tableau 2 – Projet 1 : Séquestration dans les produits-bois

Opération sylvicole	Age (années)	Récolte (TMS/ha)	Récolte destinée aux produits bois (TMS)	Stock dans les produits bois (tC) (à 100 ans)		Stock dans les produits bois (tCO _{2e}) (à 100 ans)
				BO	BI	
Eclaircie 1	25	18,5	0,0	0,00	0,00	0
Eclaircie 2	40	38,5	38,5	5,30	0,00	19
Eclaircie 3	55	47,9	95,8	13,20	0,00	48
Coupe Rase	80	182,8	914,0	125,90	0,00	462

BE: Bois énergie, BO: Bois d'œuvre, BI: Bois d'industrie

Substitution énergétique (SE)

Les calculs utilisent la valeur moyenne par défaut de contenu énergétique suivante : une TMS de bois produit 2,93 kWh soit 10,56 GJ (Sources: CITEPA, 2007. OMINEA). On applique ensuite la moyenne des facteurs d'émission de CO₂ par GJ d'énergie générée du charbon, du fioul domestique et du gaz nature utilisés par le CITEPA (en accord avec les recommandations du GIEC), soit 0,8 tCO₂ évitées par TMS de bois utilisée.

Tableau 3 – Projet 1 : Substitution énergétique

Opération sylvicole	Age (années)	Récolte (TMS/ha)	Récolte total destinée à l'énergie (TMS)	Substitution énergétique	
				énergie produite (KWh)	émissions évitées (tCO ₂)
Eclaircie 1	25	18,5	185,0	542,1	148
Eclaircie 2	40	38,5	346,5	1015,2	277
Eclaircie 3	55	47,9	383,2	1122,8	307
Coupe Rase	80	182,8	914,0	2678,0	731

Substitution matériaux (SM)

Ce calcul repose sur l'hypothèse que tout le volume de bois d'œuvre récolté dans le projet est transformé en poutres, et que ces poutres en bois substituent des poutres en aluminium. Le coefficient de substitution utilisé est celui de l'ENSTIB pour une poutre de portée = 7,5 m, charge permanente de 75 kg/m et charge d'exploitation de 300 kg/m, et volume par poutre de 0,35 m³, c'est-à-dire 321 tonnes d'émission CO₂ évitée par poutre.

A partir du nombre de poutres de ce gabarit produits par TMS de bois, on obtient l'effet de substitution matériau:

Tableau 4– Projet 1: Substitution matériaux

Opération sylvicole	Age	Bois d'œuvre (m ³)	Substitution matériaux	
			Poutres	émissions évitées (tCO ₂) hyp. Aluminium
Eclaircie 1	25	0,00	0,00	0
Eclaircie 2	40	38,46	109,90	35
Eclaircie 3	55	95,78	273,67	88
Coupe Rase	80	914,08	2611,66	838

BO: Bois d'œuvre

C. Bilan de séquestration carbone projet de 10 ha de plantation de noyer

	Stock Forêt	Produits Bois	Total Stock	Substitution	Total
Scénario de référence (à 25 ans)	0,05 ktCO ₂	0	0,05 ktCO ₂	0	0,05 ktCO ₂
Scénario de référence (à 80 ans)	0,3 ktCO ₂	0	0,3 ktCO ₂	0	0,3 ktCO ₂
Projet (à 25 ans)	1,18 ktCO ₂	0	1,18 ktCO ₂	0,14 ktCO ₂ (SE)	1,33 ktCO ₂
Projet (à 79 ans)	3,77 ktCO ₂ e	0,07 ktCO ₂	3,84 ktCO ₂	0,73 ktCO ₂ (SE) + 0,12 ktCO ₂ (SM)	4,70 ktCO ₂
Projet (à 80 ans – récolte)	0 ktCO ₂	0,53 ktCO ₂	0,53 ktCO ₂	1,47 ktCO ₂ (SE) + 0,96 ktCO ₂ (SM)	2,95 ktCO ₂

Exemple 2) Projet industriel de reconversion d'une friche agricole en surface boisée

A. Informations générales du projet

Essence : Saule (*sp. Salix*)

Localisation : Région Aquitaine

Taille : 1 000 ha

Itinéraire sylvicole : Projet conçu pour 30 ans avec des coupes rases tous les 3 ans et reboisement naturel jusqu'à l'échéance du projet. 300 hectares sont plantés les années 1, 2 et 3, et les 100 hectares restants l'année 4 et ainsi de suite jusqu'à l'échéance du projet.

B. Méthodologie utilisée pour le calcul de la séquestration carbone du projet

Stock Forêt

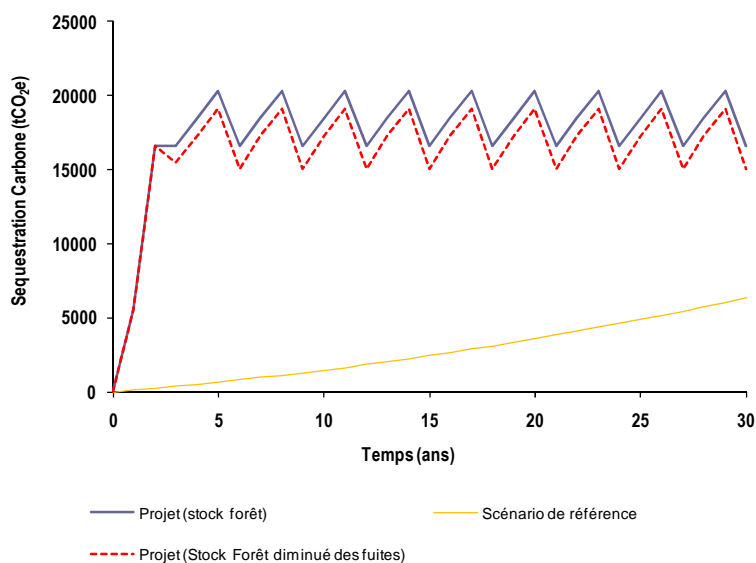
La comptabilité de la séquestration carbone du projet a été réalisée en s'inspirant des méthodologies validées par l'UNFCCC pour les projets de boisement.

Parmi les paramètres utilisés dans nos calculs figurent la densité du bois ($D = 0,45 \text{ TMS/m}^3$), le facteur d'expansion de la biomasse ($BEF = 1,4$), et le taux de carbone dans la matière ligneuse sèche ($T_c = 0,5 \text{ tC/tMS}$)⁶. L'incrément annuel de la biomasse est estimé à $inc = 16 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{an}$.

Au final, la séquestration carbone du projet dans son compartiment forêt résultant est observable sur la Figure 2.

⁶ IPCC National Inventory Good Practice Guidelines, 2006

Figure 2– Séquestration de carbone par le projet de reconversion



Source : CDC Climat Recherche

Destination de la récolte : Nous déduisons les niveaux annuels de récolte à partir de l’itinéraire sylvicole. Les conversions de tCO₂ à TMS sont réalisés avec les facteurs suivants : masse volumique=1,30 TMB/m³ et humidité=0,45 TMS/TMB. La totalité de la récolte est destinée à la production de bois-énergie.

Tableau 5 – Projet 2 : La récolte et son usage

Années	Opération sylvicole	Récolte par coupe rase (ktCO ₂)	Conversion kTMS (au total)	Usages (%)			Volets à valoriser
				BE	BO	BI	
3, 4, 5, 7, 8, 10, 11, 13, 14, 16, 17, 19, 20, 22, 23, 25, 26, 28, 29, 31	Coupe rase	16,6	194,6	100%	0%	0%	SE
6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27, 30	Coupe rase	22,2	116,7	100%	0%	0%	SE

BE: Bois énergie, BO: Bois d’œuvre, BI: Bois d’industrie

Stock Produits bois (SPB)

Non valorisable.

Substitution énergétique (SE)

Calcul réalisé avec la même méthodologie que pour le projet précédent:

Tableau 6 – Projet 2 : Substitution énergétique

Année	Opération sylvicole	Récolte (kTMS)	Récolte totale destinée à l’énergie (kTMS)	Substitution énergétique	
				énergie produite (MWh)	émissions évitées (ktCO ₂)
3,4,5,7,8,10,11,13,14,16, 17, 19,20,22,23,25,26,28,19,31	Coupe rase	194,6	194,6	570	156
6,9,12,15,18,21,24, 27, 30	Coupe rase	116,8	116,8	342	93

Substitution matériaux (SM)

Non valorisable.

Emissions de carbone (EC)

Les émissions de carbone ont été estimées à partir des calculs réalisés par Liberloo et al. pour un projet de TTCR à 3 ans et correspondent à 15% des émissions évitées grâce à l'utilisation de bois pour la production énergétique.

C. Bilan de séquestration carbone – projet de projet de reconversion d'une friche agricole en surface boisée

	Stock Forêt	Produits Bois	Total Stock	Substitution	Emissions carbone	Total
Scénario de référence (à 25 ans)	4,9 ktCO ₂ e	0	4,9 ktCO ₂ e	0	0	4,9 ktCO ₂ e
Scénario de référence (à 30 ans)	6,6 ktCO ₂ e	0	6,6 ktCO ₂ e	0	0	6,6 ktCO ₂ e
Projet (à 4 ans)	18,5 ktCO ₂ e	0	18,5 ktCO ₂ e	15,6 ktCO ₂ e (SE)	- 2,3 ktCO ₂ e	31,7 ktCO ₂ e
Projet (à 25 ans)	18,5 ktCO ₂ e	0	18,5 ktCO ₂ e	197,2 ktCO ₂ e (SE)	- 29,6 ktCO ₂ e	186,1 ktCO ₂ e
Projet (à 30 ans)	16,6 ktCO ₂ e	0	16,6 ktCO ₂ e	241,3 ktCO ₂ e (SE)	- 36,2 ktCO ₂ e	221,8 ktCO ₂ e

Exemple 3) Conversion de taillis de châtaigner en futaie irrégulière

A. Informations générales du projet

Essence : Châtaigner (*sp. Castanea sativa Mill.*)

Localisation : Région Rhône-Alpes

Taille : 800 ha

Itinéraire sylvicole : Passage d'un Taillis à Courte Révolution (TCR) de 20 ans, avec une densité d'environ 1000 tiges/ha à une gestion en futaie irrégulière. Lors d'une phase de transition, deux éclaircies sont effectuées à trois ans d'intervalle (pour obtenir une densité de 100 à 300 tiges/ha). Le peuplement est ensuite maintenu en futaie irrégulière par des éclaircies tous les 7 ans.

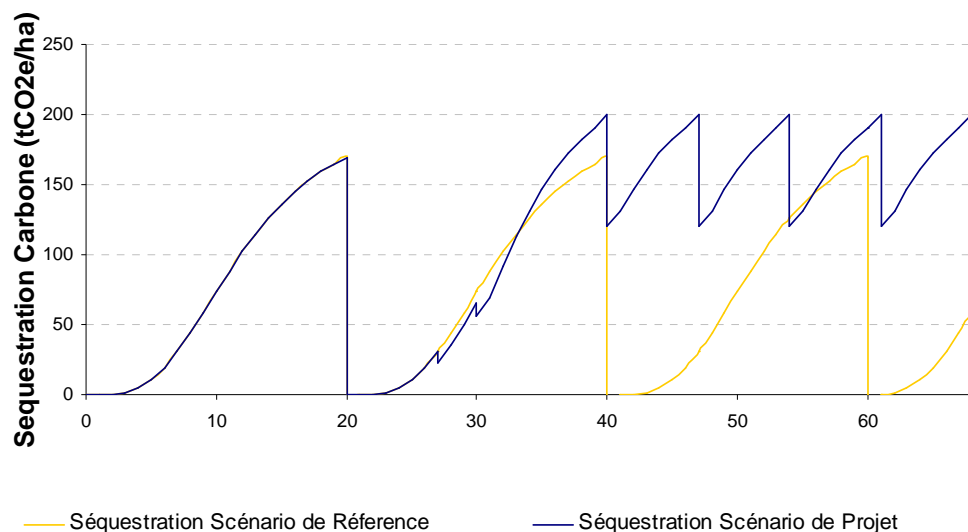
B. Méthodologie utilisée pour le calcul de la séquestration carbone du projet

Stock Forêt

La comptabilisation de la séquestration carbone du projet et du scénario de référence ont été réalisées à partir d'une extrapolation du modèle de croissance de Bédéneau (1993) pour un taillis de châtaigner en appliquant les valeurs moyennes de séquestration carbone pour une essence feuillue en taillis et en futaie reportés par le projet CARBOFOR (2004).

Au final, la séquestration carbone du projet dans son compartiment forêt est présentée dans la Figure 3.

Figure 3— Séquestration de carbone par le projet de conversion de taillis de châtaigner en futaie irrégulière



Source : CDC Climat Recherche

Destination de la récolte : Les quantités récoltées annuellement pour les deux scénarios sont déduites de l'itinéraire sylvicole décrit, après conversion de tCO₂ en tMS (densité de l'essence objectif à 15% d'humidité = 0,5 TMS/m³)⁷. Pour le scénario de référence, les hypothèses d'usage utilisées sont tirées de Guyon (1998) pour la récolte d'un châtaigner en taillis : 40% Trituration, 50% parquet et 10% Menuiserie industrielle, soit 100% bois d'industrie. Pour le scénario de projet nous supposons que la répartition est identique à la coupe finale du projet de boisement à vocation de bois d'œuvre (50% bois d'œuvre et 50% bois d'industrie).

Tableau 7 – Projet 3 : La récolte et son usage

Scénario de référence

Opération sylvicole	Age (année)	Récolte (m ³ /ha)	Conversion TMS/ha (15% hum)	Usages (%)			Volets à valoriser
				BE	BO	BI	
Coupe rase 1	20	169,5	84,7	0%	0%	100%	SPB
Coupe rase 2	40	169,5	84,7	0%	0%	100%	SPB
Coupe rase 3	60	169,5	84,7	0%	0%	100%	SPB

BE: Bois énergie, BO: Bois d'œuvre, BI: Bois d'industrie

SE: Substitution énergétique, SPB: Stock Produits Bois, SM: Substitution Matériaux

⁷ <http://www.worldagroforestry.org/Sea/Products/AFDbases/wd/asps/DisplayDetail.asp?SpecID=679>

Scénario de projet

Opération sylvicole	Age	Récolte (m ³ /ha)	Conversion TMS/ha (15% hum)	Usages (%)			Volets à valoriser
				BE	BO	BI	
Coupe rase 1	20	169,5	84,7	0%	0%	100%	SPB, SM
éclaircie conversion	27	8,6	4,3	0%	50%	50%	SPB, SM
éclaircie conversion	30	9,3	4,7	0%	50%	50%	SPB, SM
éclaircie futaie irrégulière -1	40	79,5	39,8	0%	50%	50%	SPB, SM
éclaircie futaie irrégulière - 2	47	79,5	39,8	0%	50%	50%	SPB, SM
éclaircie futaie irrégulière - 3	54	79,5	39,8	0%	50%	50%	SPB, SM
éclaircie futaie irrégulière - 4	61	79,5	39,8	0%	50%	50%	SPB, SM

BE: Bois énergie, BO: Bois d'œuvre, BI: Bois d'industrie

SE: Substitution énergétique, SPB: Stock Produits Bois, SM: Substitution Matériaux

Stock Produits bois (SPB)

Nous utilisons la méthodologie CCX de calcul de la prolongation du stockage de carbone dans des produits bois qui a été détaillée pour le premier projet

Tableau 8 – Projet 3 : Séquestration dans les produits-bois

Scénario de référence

Opération sylvicole	Age	Récolte (TMS/ha)	Récolte destinée au SPB (TMS)	Stock dans les produits bois (tC) (à 100 ans)		Stock dans les produits bois (tCO ₂ e) (à 100 ans)
				BO	BI	
Coupe rase 1	20	84,7	67 784,5	0,0	8 180,7	30 023
Coupe rase 2	40	84,7	67 784,5	0,0	8 180,7	30 023
Coupe rase 3	60	84,7	67 784,5	0,0	8 180,7	30 023

BO: Bois d'œuvre, BI: Bois d'industrie

Scénario de projet

Opération sylvicole	Age	Récolte (TMS/ha)	Récolte destinée au SPB (TMS)	Stock dans les produits bois (tC) (à 100 ans)		Stock dans les produits bois (tCO ₂ e) (à 100 ans)
				BO	BI	
Coupe rase 1	20	84,7	67 784,5	0,0	8180,7	30 023
éclaircie conversion	27	4,3	3 443,2	237,2	207,8	1 633
éclaircie conversion	30	4,7	3 736,8	257,4	225,5	1 772
éclaircie futaie irrégulière -1	40	39,8	31 815,9	2 191,3	1 919,9	15 088
éclaircie futaie irrégulière - 2	47	39,8	31 815,9	2 191,3	1 919,9	15 088
éclaircie futaie irrégulière - 3	54	39,8	31 815,9	2 191,3	1 919,9	15 088
Eclaircie futaie irrégulière - 4	61	39,8	31 815,9	2 191,3	1 919,9	15 088

BO: Bois d'œuvre, BI: Bois d'industrie

Substitution énergétique (SE)

Pas valorisable.

Substitution matériaux (SM)

Sur l'hypothèse que toute la récolte en bois d'œuvre est destinée à la fabrication de poutres, l'effet de substitution matériaux (*aluminium*) est calculé de la même manière que pour le projet de boisement à

vocation de bois d'œuvre. L'effet de substitution du bois d'industrie, celui du scénario de référence, est considéré comme nul.

Tableau 9 – Projet 3 : Substitution matériaux

Scénario de projet

Opération sylvicole	Age	Bois d'œuvre (m ³)	Substitution matériaux	
			Poutres	émissions évitées (tCO ₂) <i>hyp. Aluminium</i>
CR 1	20	0,0	0,0	0,0
éclaircie conv	27	3443,2	9837,8	3217
éclaircie conv	30	3736,8	10676,5	3491
éclaircie FI-1	40	31815,9	90902,7	29725
éclaircie FI-2	47	31815,9	90902,7	29725
éclaircie FI-3	54	31815,9	90902,7	29725
éclaircie FI-4	61	31815,9	90902,7	29725

BO: Bois d'œuvre

C. Bilan de séquestration carbone – projet de conversion de taillis à futaie irrégulière

	Stock Forêt	Produits Bois	Total Stock	Substitution	Total
Scénario de référence (à 25 ans)	81,5 ktCO ₂	30,1 ktCO ₂	111,6 ktCO ₂	0 ktCO ₂ (SM)	111,6 ktCO ₂
Scénario de référence (à 30 ans)	122,04 ktCO ₂	60,04 ktCO ₂	182,08 ktCO ₂	ktCO ₂ (SM)	228,0 ktCO ₂
Projet (à 25 ans)	146,0 ktCO ₂	33,4 ktCO ₂	213 ktCO ₂	ktCO ₂ (SM)	168,6 ktCO ₂
Projet (à 30 ans)	128,4 ktCO ₂	78,7 ktCO ₂	207,1 ktCO ₂	95,9 ktCO ₂ (SM)	303,0 ktCO ₂

Exemple 4) Projet de Surdensification

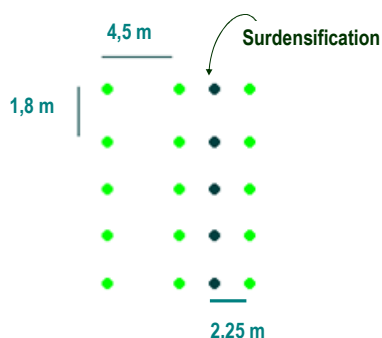
A. Informations générales du projet

Essence : Pin Maritime (*sp. Castanea sativa Mill.*)

Localisation : Région Aquitaine

Taille : 1 000 ha

Itinéraire sylvicole : Surdensification d'une plantation de Pin Maritime selon le dispositif présenté ci-dessous.



• Itinéraire Scénario de Référence

Densité de 1250 tiges/ha (espacement de 4,5 m)
25 % des tiges coupées à 15 ans, puis coupes tous les 5 ans, jusqu'à 50 ans où on coupe les 200 tiges/ha restantes.

Cycle :

Eclaircie 1 (Année 15) = 25% tiges

Eclaircie 2-5 (Années 20, 25, 30, 35) = 25%

Eclaircie 6-7 (Années 40, 45) = 15%

Coupe Rase (Année 50) = 15%

• Itinéraire Scénario de projet

Ajout d'une nouvelle ligne de pins entre deux rangées permettant de passer de 1250 tiges/ha à 2500.

Cette rangée est coupée au bout de 8 ans pour fournir du bois-énergie.

Le mode de gestion des autres rangées reste inchangé.

B. Méthodologie utilisée pour le calcul de la séquestration carbone du projet

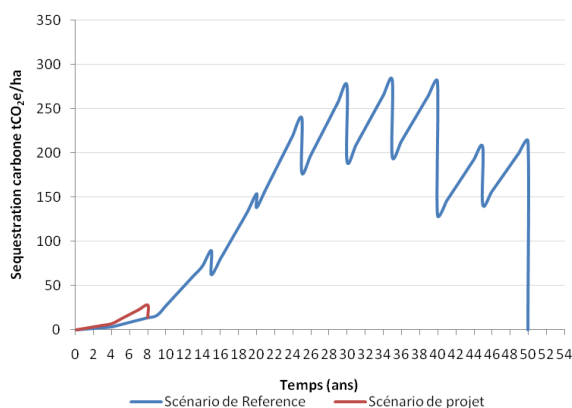
Stock Forêt

La comptabilité de la séquestration carbone dans le compartiment forêt a été réalisée à partir de l'incrément annuel de la biomasse du Pin Maritime, tiré de la base de données EFISCEN.

Age (ans)	0-5	5-9	10-14	15-19	20-24	25-29	30-34	35-39	40-44	45-49	50
Incrément m ³ /ha/an	0,87	2,61	11,09	17,77	20,32	19,88	18,56	17,28	15,51	14,52	13,05

La séquestration carbone dans le compartiment forêt du projet est présentée en Figure 4.

Figure 4 – Séquestration de carbone par le projet de surdensification



Source : CDC Climat Recherche

Destination de la récolte : Nous déduisons les niveaux de récolte pour les deux scénarios d'après l'itinéraire sylvicole après conversion des tCO₂ en TMS (densité moyenne de l'essence à 15% d'humidité = 0,6 tMS/m³)⁸. Les hypothèses d'usage pour le scénario de référence et le scénario de projet sont décrites dans les tableaux ci-dessous. Pour le scénario de projet, l'intégralité de la récolte supplémentaire est destinée à la génération d'énergie.

Tableau 10 – Projet 4 : La récolte et son usage

Scénario de référence

Opération sylvicole	Age (années)	Récolte (m ³ /ha)	Conversion TMS/ha (15% hum)	Usages (%)			Volets à valoriser
				BE	BO	BI	
éclaircie 1	15	20,8	12,5	0%	0%	100%	SPB
éclaircie 2	20	46,1	27,6	0%	10%	90%	SPB
éclaircie 3	25	59,2	35,5	0%	20%	80%	SPB
éclaircie 4	30	63,5	38,1	0%	20%	80%	SPB
éclaircie 5	35	65,3	39,1	0%	30%	70%	SPB,SM
éclaircie 6	40	38,3	22,9	0%	30%	70%	SPB,SM
éclaircie 7	45	41,7	25,0	0%	40%	60%	SPB,SM
Coupe rase	50	287,8	172,5	0%	50%	50%	SPB,SM

Scénario de projet

Opération sylvicole	Age (années)	Récolte (m ³ /ha)	Conversion TMS/ha (15% hum)	Usages (%)			Volets à valoriser
				BE	BO	BI	
Coupe rase Surdensification	8	13,9	8,3	100%	0%	0%	SE

BE: Bois énergie, BO: Bois d'œuvre, BI: Bois d'industrie

SE: Substitution énergétique, SPB: Stock Produits Bois, SM: Substitution Matériaux

Stock Produits bois (SPB)

⁸ <http://www.worldagroforestry.org/sea/Products/AFDbases/WD/asps/DisplayDetail.asp?SpecID=2682>

La prolongation du stockage de carbone dans des produits bois est estimée en suivant la méthodologie CCX qui a été détaillée pour le premier projet seulement pour le scénario de référence car le projet ne prévoit que des usages énergétiques.

Tableau 11 – Projet 3 : Séquestration dans les produits-bois

Scénario de référence

Opération sylvicole	Age (années)	Récolte (TMS/ha)	Récolte destinée au SPB (TMS)	Stock dans les produits bois (tC) (à 100 ans)		Stock dans les produits bois (tCO ₂ e) (à 100 ans)
				BO	BI	
éclaircie 1	15	12,5	12490	0,0	1655	6073
éclaircie 2	20	27,6	27633	490	3295	13894
éclaircie 3	25	35,5	35513	1261	3764	18442
éclaircie 4	30	38,1	38095	1352	4038	19783
éclaircie 5	35	39,1	39123	2083	3629	20963
éclaircie 6	40	22,9	22940	1222	2128	12292
éclaircie 7	45	25,0	25005	1775	1988	13811
Coupe rase	50	172,5	172533	15312	11430	98146

BO: Bois d'œuvre, BI: Bois d'industrie

Scénario de projet

Non valorisable.

Substitution énergétique (SE)

Tableau 12 – Projet 4 : Substitution énergétique

Opération sylvicole	Age (années)	Récolte (TMS/ha)	Récolte total destinée à l'énergie (TMS)	Substitution Energétique	
				énergie produite (KWh)	émissions évitées (tCO ₂)
Coupe Rase Surdensification	8	8,3	8332	24414	6666

Substitution matériaux (SM)

De la même manière que pour les projets précédents l'effet de substitution matériaux est calculé pour le bois d'œuvre seulement, à partir de la cinquième éclaircie, en faisant l'hypothèse qu'il substitue des poutres en aluminium.

Tableau 13 – Projet 4 : Substitution matériaux

Scénario de référence

Opération sylvicole	Age (années)	Bois d'œuvre (m ³)	Substitution Matériaux	
			Poutres	émissions évitées (tCO ₂) <i>hyp. Aluminium</i>
éclaircie 1	15	0	0	0
éclaircie 2	20	4609	0	0
éclaircie 3	25	11848	0	0
éclaircie 4	30	12709	0	0
éclaircie 5	35	19578	55936	17956
éclaircie 6	40	11480	32799	10528
éclaircie 7	45	16684	47669	15302
Coupe rase	50	143898	411136	131975

Scénario de projet

Non valorisable.

C. Bilan de séquestration carbone – projet de surdensification

	Stock Forêt	Produits Bois	Total Stock	Substitution	Total
Scénario de référence (à 7 ans)	13,9 ktCO ₂	0 ktCO ₂	13,9 ktCO ₂	0 ktCO ₂	13,9 ktCO ₂
Scénario de référence (à 8 ans)	13,9 ktCO ₂	0 ktCO ₂	13,9 ktCO ₂	0 ktCO ₂	13,9 ktCO ₂
Scénario de référence (à 25 ans)	177,7 ktCO ₂	38,4 ktCO ₂	216,1 ktCO ₂	0 ktCO ₂	216,1 ktCO ₂
Projet (à 7 ans)	27,8 ktCO ₂	0 ktCO ₂	27,8 ktCO ₂	0 ktCO ₂	27,8 ktCO ₂
Projet (à 8 ans)	13,9 ktCO ₂	0 ktCO ₂	13,9 ktCO ₂	6,7 ktCO ₂ (SE)	20,6 ktCO ₂
Projet (à 25 ans)	177,7 ktCO ₂	38,4 ktCO ₂	216,1 ktCO ₂	6,7 ktCO ₂ (SE)	222,7 ktCO ₂

Exemple 5) Projet de changement d'essences

D. Informations générales du projet

Essences: Pin Maritime

Localisation : Région Aquitaine

Taille: 100 ha

Itinéraire sylvicole : Changement pour une essence hybride plus productive.

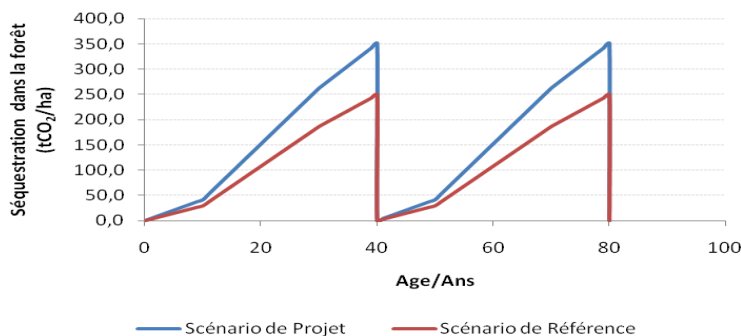
E. Méthodologie utilisée pour le calcul de la séquestration carbone du projet

Stock Forêt

La comptabilisation de la séquestration carbone du projet et du scénario de référence a été réalisée à partir d'une extrapolation des données de Zaehle (2006) pour la croissance de la biomasse de résineux avec les hypothèse de production de bois suivantes :

- Scénario de Référence : 250 m³ bois/ha au bout de 40 ans (coupe rase)
- Scénario de Projet : 350 m³ bois/ha au bout de 40 ans (coupe rase) avec une essence du pin plus productive

Figure 5– Séquestration carbone dans le compartiment forêt du projet de changement d'essences



Source : CDC Climat Recherche

Destination de la récolte:

Tableau 14 – Projet 5 : La récolte et son usage

USAGES	Ensemble de la récolte	Volets à valoriser
Bois d'œuvre	40%	SPB, SM
Bois d'industrie	50%	SPB
Bois énergie	10%	SE

SE: Substitution énergétique, SPB: Stock Produits Bois, SM: Substitution Matériaux

Stock Produits bois (SPB)

De nouveau, la prolongation du stockage de carbone dans des produits bois est calculée en suivant la méthodologie du CCX.

Tableau 15 – Projet 5 : Séquestration dans les produits-bois

Scénario de référence

Type d'essence	Récolte à 40 ans (m ³)	Récolte destinée au SPB (m ³)	SPB (tC) (à 100 ans)		SPB (tCO ₂ e) (à 100 ans)
			BO	BI	
Pin maritime	25 000	22 500	954,4	689,7	6 033,80

BO: Bois d'œuvre, BI: Bois d'industrie

Scénario de projet

Type d'essence	Récolte à 40 ans (m ³)	Récolte destinée au SPB (m ³)	SPB (tC) (à 100 ans)		SPB (tCO ₂ e) (à 100 ans)
			BO	BI	
Pin maritime	35 000	31 500	1336,1	965,6	8447,3

BO: Bois d'œuvre, BI: Bois d'industrie

Substitution énergétique (SE)

Les facteurs de conversion utilisés pour le pin maritime sont une masse volumique de 0,9 TMB/m³ et un taux d'humidité=0,61 TMS/TMB.

Tableau 16 – Projet 5 : Substitution énergétique

Scénario de référence

Récolte à l'année 40 (m ³)	Récolte total destinée à l'énergie (TMS)	SE	
		énergie produite (kWh)	émissions évitées (ktCO ₂)
25 000	1372,5	4021,4	1,1

Scénario de projet

Récolte à l'année 40 (m ³)	Récolte total destinée à l'énergie (TMS)	SE	
		énergie produite (kWh)	émissions évitées (ktCO ₂)
35 000	1921,5	5630	1,5

Substitution matériaux (SM)

De la même manière que pour les projets précédents l'effet de substitution matériaux est calculé pour le bois d'œuvre seulement, en faisant l'hypothèse qu'il substitue des poutres en aluminium.

Tableau 17 – Projet 5 : Substitution matériaux

Scénario de référence

Récolte à l'année 40 Bois d'œuvre (m ³)	Récolte total destinée aux poutres (m ³) (70% BO)	Substitution Matériaux	
		Poutres	émissions évitées (ktCO ₂) hyp. Aluminium
10 000	7 000	20 000	6,4

Scénario de projet

Récolte à l'année 40 Bois d'œuvre (m ³)	Récolte total destinée aux poutres (m ³) (70% BO)	Substitution Matériaux	
		Poutres	émissions évitées (ktCO ₂) hyp. Aluminium
14 000	9 800	28 000	9

F. Bilan de séquestration carbone – projet de changement d'essences

	Stock Forêt (KtCO ₂)	Produits Bois (KtCO ₂)	Total Stock (KtCO ₂)	Substitution (KtCO ₂)	Total (KtCO ₂)
Scénario de référence (à 25 ans)	14,7	0	14,7	0	14,7
Scénario de référence (à 39 ans)	24,4	0	24,4	0	24,4
Scénario de référence (à 40 ans)	0	6	6	1,1 (SE) + 6,4 (SM)	13,5
Projet (à 25 ans)	20,7	0	20,7	0	20,7
Projet (à 39 ans)	34,1	0	34,1	0	34,1
Projet (à 40 ans)	0	8,4	8,4	1,5 (SE) + 9 (SM)	18,9

Exemple 5) Projet de changement d'usages de bois

A. Informations générales du projet

Localisation : Région Aquitaine

Récolte annuelle : 8,828 Mm³/an (Source : Agreste - Enquête annuelle exploitation forestière 2007)

Affectation de la récolte : Quantité récoltée constante mais augmentation du bois destiné à la construction (de 7,5% à 20%) au détriment du poste « papier, kraft et emballages ».

B. Méthodologie utilisée pour le calcul de la séquestration carbone du projet

Stock Forêt

Constant, à environ 256 MtCO₂e⁹.

Destination de la récolte :

Tableau 18 – Projet 6 : La récolte et son usage

Usages	SR %	SR Catégorie	SP %	SP Catégorie
Mortalité	1,0%	Non usage	1,0%	Non usage
Pertes	10,5%	(11,5%)	10,5%	(11,5%)
Charpentes en bois (*)	0,8%	Bois d'œuvre (10%)	20,0%	Bois d'œuvre (22,5%)
Bâtiments préfabriqués en bois (*)	0,2%			
Portes et fenêtres (*)	0,5%			
Bois sciés (*)	6,0%			
Autres sciages dont coffrages	1,0%			
Ameublement et agencements à partir sciages	1,5%			
Palettes en bois et emballages	9,0%	Bois d'industrie (71,5%)	9,0%	Bois d'industrie (59%)
Plancher agglos et agencements	7,0%			
autres usages dont carbonisation	0,5%			
écorces décoratifs et de jardins	7,0%			
écorces non comptabilisés	6,0%			
Amueblement et agencements à partir panneaux	10,0%			
Papiers crafts et emballages	24,0%			
Papiers industrielles	8,0%			
Ecorces sur usage énergétique	7,0%			

SR: Scénario de Référence SP: Scénario Projet

(*) Usages Bois de construction

Source : Malfait et al. (2008)

Stock Produits bois (SPB)

L'utilisation des coefficients CCX repose ici sur l'hypothèse que la proportion feuillus/résineux de la récolte total (90% résineux) est identique dans les différentes catégories d'usage.

Tableau 19 – Projet 6 : Séquestration dans les produits-bois

Scénario de référence

Type d'essence	Récolte annuelle (Mm ³)	Récolte destinée au SPB (Mm ³)	Stock dans les produits bois (tC) (à 100 ans)		Stock dans les produits bois (tCO ₂ e) (à 100 ans)
			BO	BI	
Feuillu	0,84	0,68	6 311	39 534	168
Résineuse	7,99	6,51	76 297	315 397	1 438
Total	8,83	7,19	82 608	354 931	1 606

BO: Bois d'œuvre, BI: Bois d'industrie

⁹ Stock de bois sur pied de forêt de Production en Région Aquitaine (Source : Mémento FCBA 2008)

Scénario de projet

Type d'essence	Récolte annuelle (Mm ³)	Récolte destinée au SPB (Mm ³)	Stock dans les produits bois (tC) (à 100 ans)		Stock dans les produits bois (tCO ₂ e) (à 100 ans)
			BO	BI	
Feuille	0,84	0,68	12 740	33 900	171
Résineuse	7,99	6,51	154 024	270 460	1 557
Total	8,83	7,19	166 764	304 360	1 729

BO: Bois d'œuvre, BI: Bois d'industrie

Substitution énergétique (SE)

Les réductions d'émissions liées à la substitution énergétique ne sont pas valorisables car la part de la récolte dédiée à l'usage énergétique reste invariable. En utilisant la masse volumique et l'humidité du pin maritime pour l'ensemble de la récolte, on obtient l'ordre de grandeur de 0,3 MtCO₂e d'effet de substitution énergétique par ans, pour le scénario de référence comme pour le scénario projet.

Substitution matériaux (SM)

De la même manière que pour les projets précédents l'effet de substitution matériaux est calculé pour le bois d'œuvre seulement, en faisant l'hypothèse qu'il substitue des poutres en aluminium.

Tableau 20 – Projet 6 : Substitution matériaux

Scénario	Bois d'œuvre pour Poutres (m ³)	Substitution Matériaux	
		Poutres	émissions évitées (ktCO ₂) hyp. Aluminium
Récolte Scénario de référence	441,4	1261143	405
Récolte Projet	993,2	2837571	911

C. Bilan de séquestration carbone – projet de Changement d'usage

	Stock Forêt (MtCO ₂)	Produits Bois (MtCO ₂)	Total Stock (MtCO ₂)	Substitution (MtCO ₂)	Total (MtCO ₂)
Scénario de référence (à 20 ans)	256	32,09	288,1	6 (SE) + 8,1 (SM)	330,1
Projet (à 20 ans)	256	34,58	290,6	6 (SE) + 18,2 (SM)	302,2

Exemple 7) Projet d'augmentation de la récolte

A. Informations générales du projet

Essences: Résineuses

Localisation: Région Lorraine

Itinéraire sylvicole: Augmentation de la récolte d'arbres résineux dans la région

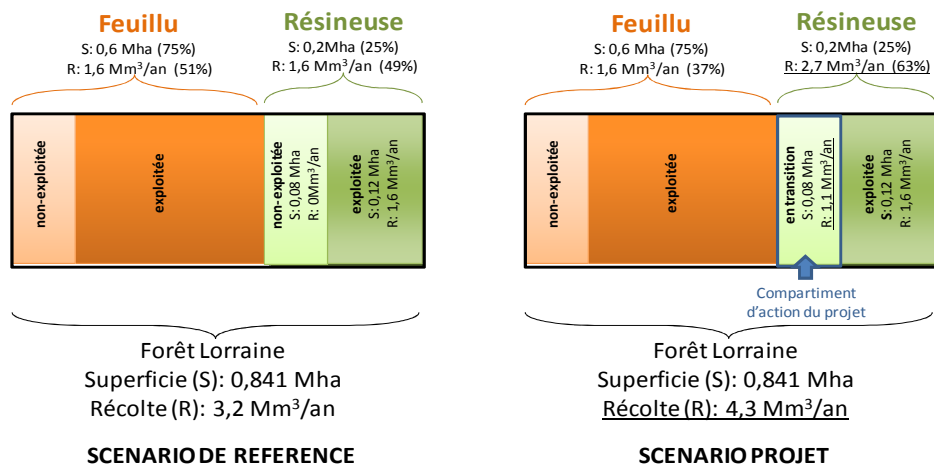
B. Méthodologie utilisée pour le calcul de la séquestration carbone du projet

B1. Stock Forêt

La comptabilisation de la séquestration carbone du projet et du scénario de référence a été réalisée à partir des hypothèses suivantes :

- Scénario de référence: - Stock sur pied de la région Lorraine = 166 Mm³ (Source : Mémento FCBA 2009)
- L
a
Scénario Projet : - Objectif de Récolte en 2030 (à 20 ans): 4,3 Mm³/an (+1,1 Mm³/an)
- f
i
g
u
r
e
L
- D'après les données de Zaehle (2006) pour les résineux matures (stock de 441,5 m³/ha pour les peuplements de 100 ans) et sur l'hypothèse d'un incrément annuel moyen de 13 m³/ha/an, nous estimons le nombre d'hectares supplémentaires à mobiliser pour répondre à l'objectif de récolte, la baisse associée du stock en forêt et la récolte liée aux coupes rases pendant la phase de transition.

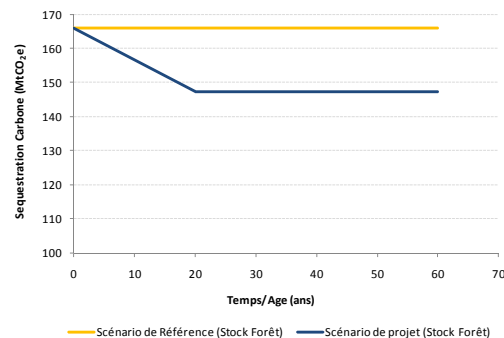
La figure ci-dessous présente le dispositif du projet et montre le nombre d'hectares mobilisées et la récolte en phase de transition:



Source : CDC Climat Recherche

Comme indiqué auparavant, la mobilisation de 0,08 Mha entraîne une réduction du stock forêt jusqu'à 147Mm³. Selon nos hypothèses, la forêt rentre dans un nouvel équilibre au bout de 20 ans. Ceci est observable dans la Figure 6.

Figure 6 – Séquestration carbone du projet d'augmentation de la récolte



Source : CDC Climat Recherche

Destination de la récolte: Elle est basée sur les résultats de l'enquête 2006 sur les branches d'activité d'exploitation forestière et sciage pour la région Lorraine¹⁰ :

Tableau 21 – Projet 7 : La récolte et son usage

USAGES	Ensemble de la récolte	Feuillu	Résineux
Bois d'œuvre	54%	40%	69%
Bois d'industrie	37%	52%	22%
Bois énergie	8%	8%	9%

Source : Enquête 2006 – Branches exploitations forestières

Stock Produits bois (SPB)

Nous utilisons la méthodologie CCX de calcul de la prolongation du stockage de carbone dans des produits bois qui a été détaillée pour le premier projet. Le calcul est présenté dans un horizon de 20 ans.

Tableau 22 – Projet 7 : Séquestration dans les produits-bois

Scénario de référence

Type d'essence	Récolte destinée au SPB (Mm ³)	Stock dans les produits bois (MtC) (à 100 ans)		Stock dans les produits bois (ktCO ₂ e) (à 100 ans)
		BO	BI	
Feuillus	32,6	0,9736	1,1186	7 674
Résineux	31,4	2,0734	0,3835	9 017
Total	64,0	3,0470	1,5021	16 691
			<i>à 25 ans</i>	21 705

Scénario de projet

Type d'essence	Récolte destinée au SPB (Mm ³)	Stock dans les produits bois (MtC) (à 100 ans)		Stock dans les produits bois (ktCO ₂ e) (à 100 ans)
		BO	BI	
Feuillus	38,3	1,1409	1,3108	8 998
Résineux	36,8	2,4298	0,4495	10 567
Total	75,0	3,5707	1,7603	19 565
			<i>cum. à 25 ans</i>	26 008

Substitution énergétique (SE)

Les facteurs de conversion utilisés sont ceux du pin maritime : une masse volumique de 0,9 TMB/m³, et une humidité de 0,61 TMS/TMB.

¹⁰ http://draaf.lorraine.agriculture.gouv.fr/fichiers/37_05_Infos_DRAF_10.pdf

Tableau 23 – Projet 7 : Substitution énergétique

Scénario de référence

Année	Récolte (Mm ³)	Récolte totale destinée à l'énergie (Mm ³)	Récolte total destinée à l'énergie (MTMS)	Substitution énergétique	
				énergie produite (GWh)	émissions évitées (MtCO ₂)
0	3,20	0,27	0,15	0,44	0,12
20	64,00	5,44	2,99	8,75	2,39
40	64,00	5,44	2,99	8,75	2,39
				cum. à 25 ans	3,1

Scénario de projet

Année	Récolte (Mm ³)	Récolte total destinée à l'énergie (Mm ³)	Récolte total destinée à l'énergie (MTMS)	Substitution énergétique	
				énergie produite (GWh)	émissions évitées (MtCO ₂)
0	3,20	0,27	0,15	0,44	0,12
20	75,00	6,38	3,50	10,25	2,80
40	86,00	7,31	4,01	11,76	3,21
				cum. à 25 ans	3,8

Substitution matériaux (SM)

Sur l'hypothèse que 70% de la récolte en bois d'œuvre est destinée à la fabrication de poutres nous réalisons les calculs de l'effet de substitution matériaux (*aluminium*).

Tableau 24 – Projet 7 : Substitution matériaux

Scénario de référence

Année	Récolte Bois d'œuvre (Mm ³)	Récolte totale destinée aux poutres Mm ³ (70% BO)	Substitution Matériaux	
			Poutres / millions de poutres	émissions évitées (MtCO ₂) <i>hyp. Aluminium</i>
0	1,73	1,21	3,47	0,39
20	34,70	24,29	69,39	7,80
40	34,70	24,29	69,39	7,80
			cum. à 25 ans	10,1

Scénario de projet

Année	Récolte Bois d'œuvre (Mm ³)	Récolte total destinée aux poutres Mm ³ (70% BO)	Substitution Matériaux	
			Poutres / millions de poutres	émissions évitées (MtCO ₂) hyp. Aluminium
0	1,73	1,21	3,47	0,39
20	40,66	28,46	81,32	9,14
40	46,62	32,64	93,24	10,48
			cum. à 25 ans	12,1

C. Bilan de séquestration carbone – projet d'augmentation de la récolte

	Stock Forêt MtCO ₂	Produits Bois MtCO ₂	Total Stock MtCO ₂	Substitution MtCO ₂	Total MtCO ₂
Scénario de référence (à 25 ans)	166	21,7	187,7	3,1 (SE) + 10,1 (SM)	200,9
Projet (à 25 ans)	147	26,0	173	3,8 (SE) + 12,1 (SM)	189,3

II. RÉFÉRENCES

- Arrouays, D., J. Balesdent, J.C. Germon, P.A. Jayet, J.F. Soussana et P. Stengel (eds). (2002). Contribution à la lutte contre l'effet de serre. Stocker du carbone dans les sols agricoles de France ? Expertise scientifique collective. Synthèse du rapport. INRA (France), 32 pp.
- Bilek, E. M., Becker, P., McAbee, T. 2009. CVal: A Spreadsheet Tool to Evaluate the Direct Benefits and Costs of Carbon Sequestration Contracts for Managed Forests. FPL-GTR-180. U.S. Forest Service, Forest Products Laboratory, Madison, WI. 30 p.
- CarbonFix, 2008, CarbonFix Standard - Version 2.0 Criteria. CarbonFix, Staufen – Germany
- Chenost C., Septembre 2007, Vers une gestion intégrée des forêts et des produits bois pour la lutte contre le changement climatique, Thèse Professionnelle, Institut Supérieur International de Gestion de l'Environnement
- Chicago Climate Exchange, 2006, Rulebook : CCX Exchange Offsets and Exchange Early Action Credits
- Climate, Community, and Biodiversity Standard, 2008, 2nd Edition
- Pearce D., Turner K., 1990, Economics of Natural Resources and the Environment, The John Hopkins University Press.
- De Cara S., Thomas, A., Projections d'émissions/absorptions de gaz à effet de serre dans les secteurs forêt et agriculture aux horizons 2010 et 2020, Rapport final pour le Ministère de l'Agriculture et de la Pêche. Thiverval-Grignon : UMR Economie publique, 2008. 202 p.
- FCBA, juillet 2008, Comptabilisation du carbone dans les produits bois en France, en vue d'un rapportage volontaire dans l'inventaire national 2006 des émissions et absorptions de gaz à effet de serre, réalisé au titre du Protocole de Kyoto
- Galik C., Baker J., Grinnell, J., Transaction costs and forest management carbon offset potential, Duke University, 2008, 15 p.
- Galik, C., Mobley, M., Richter, D., forthcoming. A virtual "field test" of forest management carbon offset protocols: the influence of accounting. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change. 2008
- Galik, C. S., Richter, D. deB., Mobley, M. L., Olander, L. P., Murray, B. C. 2008. A Critical Comparison and Virtual "Field Test" of Forest Management Carbon Offset Protocols. Climate Change Policy Partnership, Durham, NC. 45 p.
- Gardette Y-M., Locatelli B., Mai 2007, Les marchés du carbone forestier, ONF International, Cirad
- GIEC, 2006, <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>, IPCC AFOLU Guidelines
- Guigon P., Bellassen V., Ambrosi P., Voluntary Carbon Markets: What the Standards Say..., CDC Climat Recherche
- Goodale, C. L., Apps, M. L., Birdsey, R. A., Field, C. B., Heath, L. S., Houghton, R. A., Jenkins, J. C., Kohlmaier, G. H., Kurz, W., Liu, S., Nabuurs, G., Nilson, S., and Shvidenko, A. Z. (2002). Forest carbon sinks in the Northern hemisphere. Ecological Applications 12, 891-899.
- Guyon, J.P. (1998), Références Forêt 2^e Edition, Editions Synthèse Agricole, 296 p.
- Hamilton K., Sjardin M., Marcello T., Shapiro A. (2009), Fortifying the Foundation: State of the Voluntary Carbon Markets 2009, Ecosystem Marketplace & New Carbon Finance
- Hamilton K., Chokkalingam U., Bendana M., (2010), State of the Forest Carbon Markets 2009: Taking Root & Branching Out, Ecosystem Marketplace
- Janssens, I. A., Freibauer, A., Ciais, P., Smith, P., Nabuurs, G., Folberth, G., Schlamadinger, B., Hutjes, R. W. A., Ceulemans, R., Schulze, E. D., Valentini, R., and Dolman, A. J. (2003). Europe's terrestrial biosphere absorbs 7 to 12% of European anthropogenic CO₂ emissions. Science 300, 1538-1542.
- Kägi, Schmidtke. A qui va l'argent ? Qu'est-ce que les propriétaires de forêts des pays développés attendent du protocole de Kyoto, Document préparé pour la FAO.
- Leguet B., Merckx V. (2005), « Puits de Carbone » domestique : quel intérêt pour la France ?, CDC Climat Recherche (CDC), ONF

- Leseur A., 20 Février 2007, Promotion de la séquestration biologique du carbone par l'agriculture et la forêt en France, Caisse des Dépôts et Consignations CDC Climat Recherche et Société des Agriculteurs de France
- Luysaert et al. (2007), The CO₂-balance of boreal, temperate and tropical forests derived from a global database, *Global Change Biology*, 13(12), 2509-2537.
- Malfait J. J., Pajot G., Séquestration des flux de carbone forestier: Mise en place d'un projet d'additionnalité des usages du bois dans la construction, Université de Bordeaux GREThA UMR CNRS 5113 & Macaulay Institute, Aberdeen, UK Cahiers du GREThA n°2008-16
- Malfait J. J., Pajot G., Séquestration des flux de carbone forestier : rotations des peuplements, prise en compte des produits bois et optimisation des stocks de carbone, Université de Bordeaux GREThA UMR CNRS 5113 & Macaulay Institute, Aberdeen, UK Cahiers du GREThA n°2008-19
- Maris C., 2008, L'accès aux marchés du carbone pour les propriétaires forestiers français : Sortir de Kyoto ?, CRPF d'Aquitaine, Mémoire de fin d'étude pour l'ENITA Bordeaux
- Martin A., Nollen G., (2009), Financial and economic analysis of forestry carbon trading
- MEEDDAT (2008), Réaliser un projet MDP ou MOC de réduction des émissions de gaz à effet de serre : Quelles opportunités, comment passer à l'action.
- Merger E., Williams A., (2008), Comparison of Carbon Offset Standards for Climate Forestation Projects participating in the Voluntary Carbon Market, University of Canterbury, Christchurch, New Zealand
- Merger E., (2008), Forestry Carbon Standards 2008
- New Carbon Finance, 15 September 2008, Voluntary Carbon Index
- Office National des Forêts, printemps 2008, Forêt, bois énergie, bois matériau et carbone, RDV techniques n°20
- Pearson, T., Brown, S., Andrasko, K. 2008. Comparison of registry methodologies for reporting carbon benefits for afforestation projects in the United States. *Environmental Science and Policy* 11(6): 490 p. 504.
- Puech J. (2009), Mise en valeur de la forêt française et développement de la filière bois, Paris : Ministère de l'Agriculture
- UNFCCC, 1997, Protocole de Kyoto
- Reverchon, F., 2006 Fixation de carbone par des plantations forestières provençales et application à la lutte contre l'effet de serre en région PACA, Mémoire de fin d'études, FIF, ENGREF.
- Taverna, R., Hofer, P., Werner, F., Kaufmann, E., Thürig, E., (2007): The CO₂ effects of the Swiss forestry and timber industry. Scenarios of future potential for climate-change mitigation. *Environmental studies* no. 0739. Federal Office for the Environment, Bern, 102 pp.
- Trumper, K., Bertzky, M., Dickson, B., van der Heijden, G., Jenkins, M., Manning, P. (2009), The Natural Fix? The role of ecosystems in climate mitigation. A UNEP rapid response assessment, United Nations Environment Programme, UNEP-WCMC, Cambridge, UK
- U.S. Department of Energy, 2006, Forestry Appendix
- Voluntary Carbon Standard, 2009, Guidance for Agriculture Forestry and Other Land Use Projects
- Werner F., Taverna R., Hofer P., Richter K., October 2005, Carbon pool and substitution effects of an increased use of wood in buildings in Switzerland : first estimates, Environment and Development, Zurich
- WWF, Kollmuss A., Zink H., Polycarp C., March 2008, Making Sense of the Voluntary Carbon Market : A Comparison of Carbon Offset Standards, Stockholm Environment Institute

