



HAL
open science

Bilan de carbone du déboisement lié au projet de parc photovoltaïque Horizeo

Denis Loustau, Barry Gardiner, Christophe Chipeaux, Pierre Trichet

► To cite this version:

Denis Loustau, Barry Gardiner, Christophe Chipeaux, Pierre Trichet. Bilan de carbone du déboisement lié au projet de parc photovoltaïque Horizeo : Planches de présentation, communication au débat public organisé par la Commission Particulière du Débat Public, Bordeaux, 30 11 2021. Cité des Sciences.. [Rapport Technique] INRAE. 2021. hal-03778710

HAL Id: hal-03778710

<https://hal.science/hal-03778710>

Submitted on 16 Sep 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

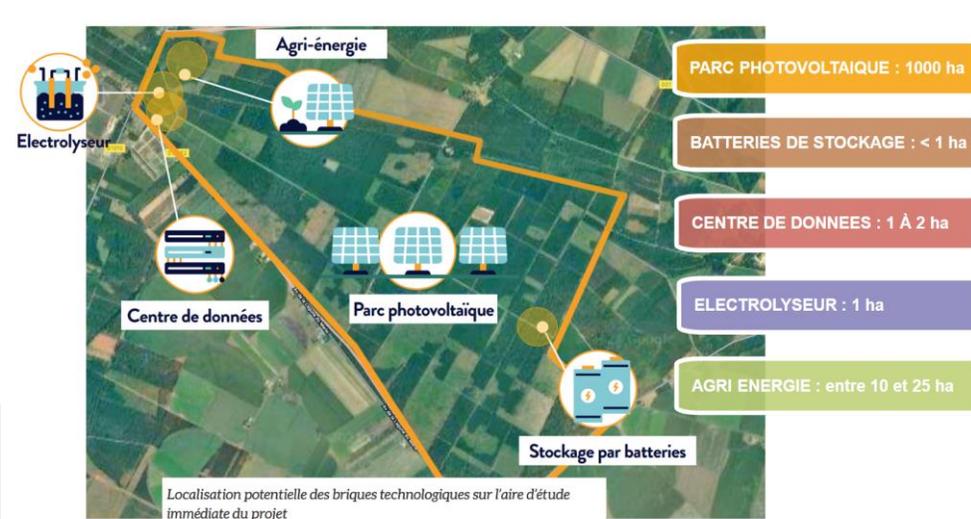
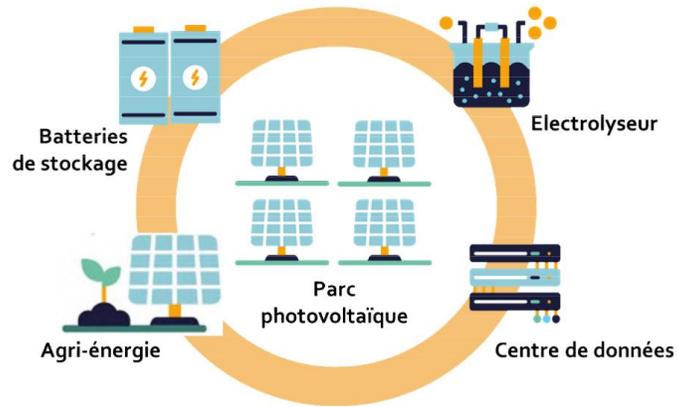
L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Bilan de carbone du déboisement lié au projet de parc photovoltaïque *Horizeo*.



Le projet HORIZEO : parc photovoltaïque de 2000ha en Gironde.

Le projet en bref



(Pessac Léognan)

Périmètre de 2000 ha, commune de SAUCATS

Data center, usine de batterie, serres,
1000 ha déboisés → panneaux solaires

Construction envisagée en 2024

ENGIE –GREEN, NEOEN.

INRAE (UMR ISPA) chargée du bilan carbone du déboisement

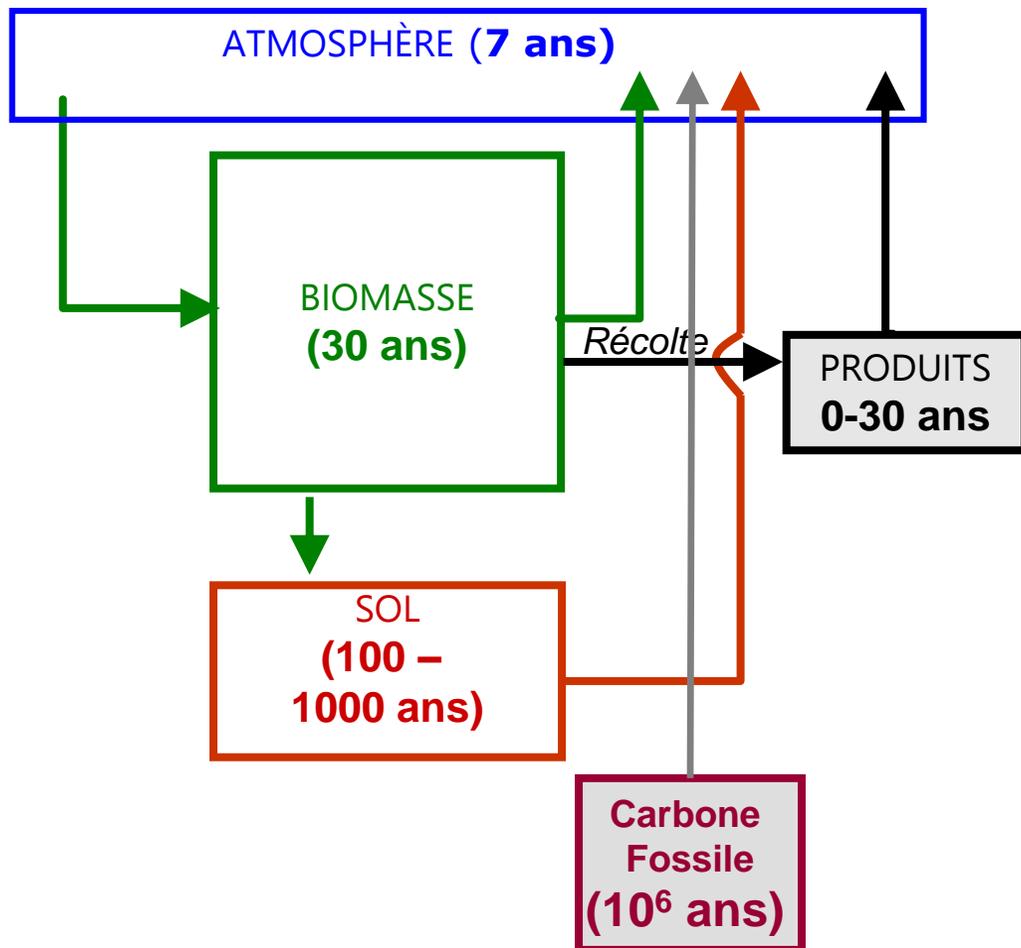


Forêt des Landes de Gascogne

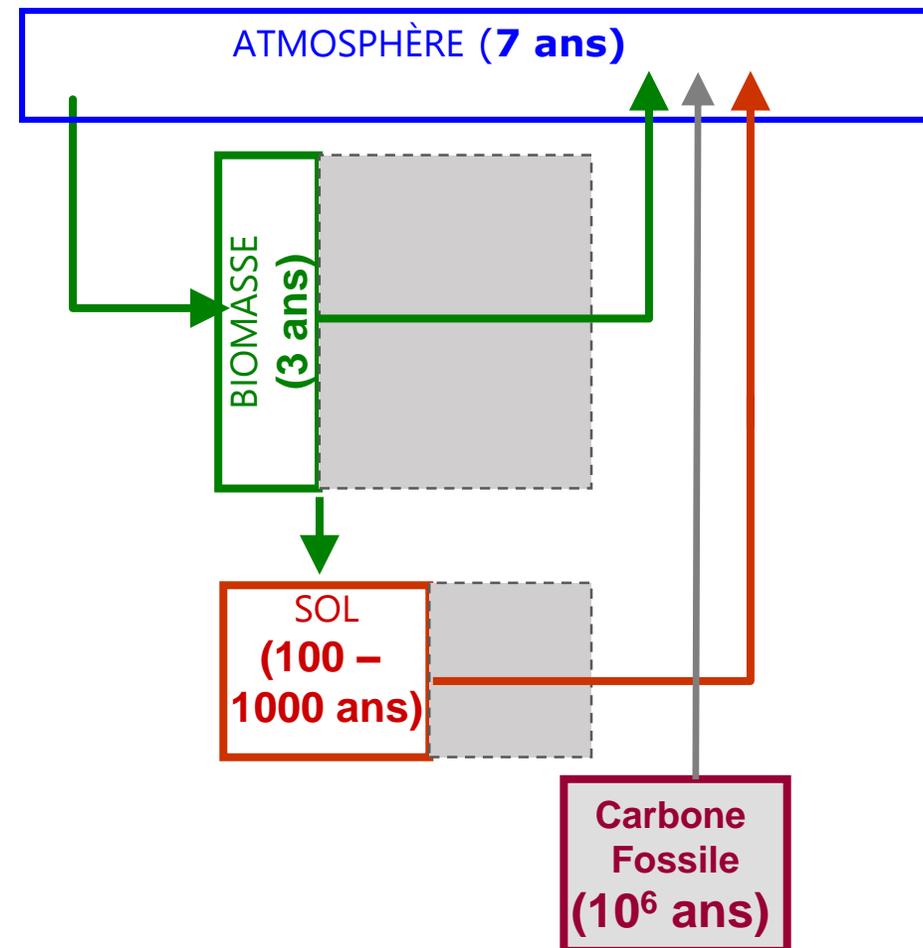
1. Approche conduite
2. Modèle et données mobilisés
3. Résultats : bilan de carbone du projet HORIZEO
 - biomasse
 - sol
 - émissions fossiles
4. Synthèse et conclusion

1. Cycle biogéochimique du carbone biogénique *in situ*

Forêt (référence)



Parc



1. Approche de calcul « net-net »:

- Projection des stocks de carbone 2020-2100
 - Pour la forêt de référence : 1771 ha de forêts de pins et chênes
 - Pour le projet HORIZEO : 1082 ha déboisés et transformés en parc photovoltaïque + 689 ha conservés en forêts de pins
- Prise en compte des produits récoltés (troncs, branches, souches)
- Estimation des émissions fossiles sylvicoles

$$\text{Bilan du projet} = [\text{Stock C forêts de référence}] - [\text{Stocks C Horizeo}]$$

- Durées d'amortissement considérées: 30, 40, 50 (moyennes glissantes 5 ans)

2. Le Modèle GO+ (INRAE).

1. Ce modèle représente les processus du cycle du carbone en forêt :

- Transferts radiatifs et bilan d'énergie
- Flux de chaleur et transferts turbulents
- Évapotranspiration, drainage,
- Photosynthèse du couvert, respiration, allocation du carbone
- Dynamique du carbone dans le sol: minéralisation, humification
- Itinéraires techniques sylvicoles

2. Il est utilisé pour différentes applications forestières ou d'aménagement

- Projet de Champ captant du Médoc (Bdx Métropole)
- Projet Forêts-21 « Investissement pour l'amont forestier » (M.A.A.)
- Projet Sylviculture Douglas et Pin maritime (Evafora, Ademe)

Geosci. Model Dev., 13, 5973–6009, 2020
https://doi.org/10.5194/gmd-13-5973-2020
© Author(s) 2020. This work is distributed under the Creative Commons Attribution 4.0 License.



Article Assets Peer review Metrics Related articles

Model description paper

01 Dec 2020

Energy, water and carbon exchanges in managed forest ecosystems: description, sensitivity analysis and evaluation of the INRAE GO+ model, version 3.0

Virginie Moreaux et al.

Tree Physiology 25, 813–823
© 2005 Heron Publishing—Victoria, Canada

Modeling climate change effects on the potential production of French plains forests at the sub-regional level

DENIS LOUSTAU,^{1,2} ALEXANDRE BOSCH,¹ ANTOINE COLIN,¹ JÉRÔME OGÉE,¹ HENDRIK DAVI,³ CHRISTOPHE FRANÇOIS,³ ERIC DUFRÈNE,³ MICHEL DÉQUÉ,⁴ EMMANUEL CLOPPET,⁵ DOMINIQUE ARROUAYS,⁶ CHRISTINE LE BAS,⁶ NICOLAS SABY,⁶ GÉRÔME PIGNARD,⁷ NABILA HAMZA,⁷ ANDRÉ GRANIER,⁸ NATHALIE BRÉDA,⁸ PHILIPPE CIAIS,⁹ NICOLAS VIOVY⁹ and FRANÇOIS DELAGE⁹



Forest Ecology and Management
Volume 429, 1 December 2018, Pages 642–653

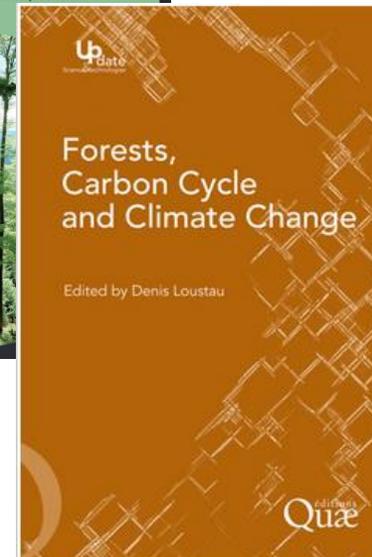
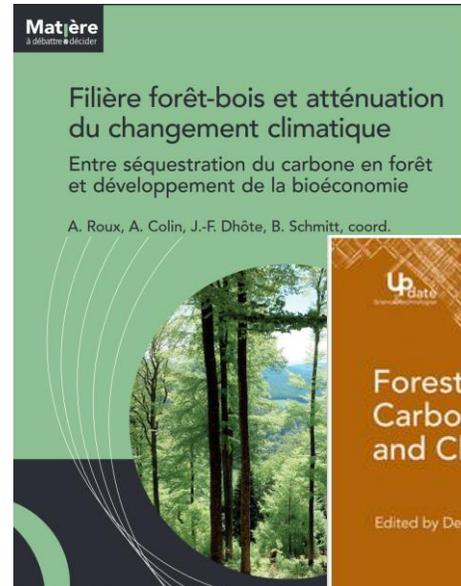


Modelling the nutrient cost of biomass harvesting under different silvicultural and climate scenarios in production forests

David L. Achat^{a, b, c, d, e}, Simon Martel^{a, b, c}, Delphine Picart^{a, b}, Christophe Moisy^{a, b}, Laurent Augusto^{a, b}, Mark R. Bakker^{a, b}, Denis Loustau^{a, b}



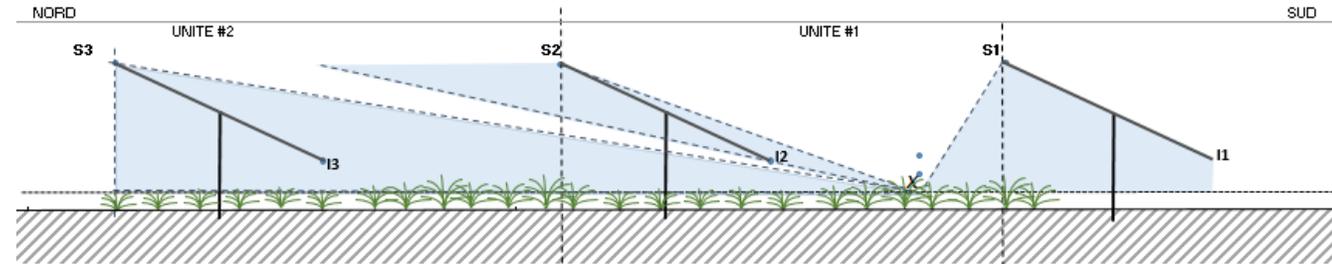
<https://forets21.inra.fr/pelican3.1/>



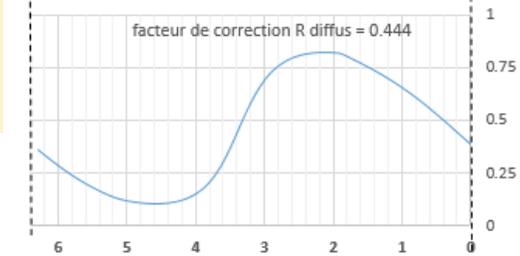
2. Modélisation des transferts radiatifs du parc

- 1) Rayonnement SW diffus transmis
- 2) Rayonnement SW direct transmis
- 3) Rayonnement IR lointain LW $\downarrow \uparrow$

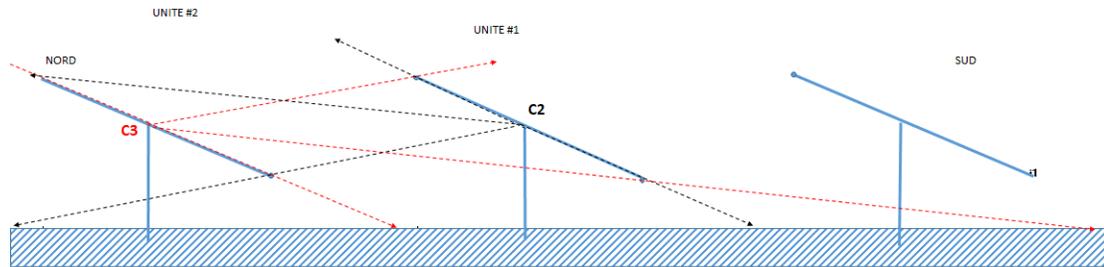
Calibration par mesures in situ



1) SW_d reçu par la végétation et sol



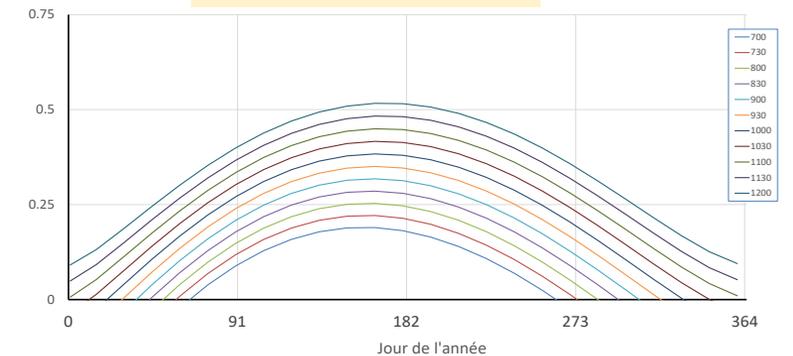
3) LW échangé par les faces des PV.



Approximations:

- Diffuseurs lambertiens,
- Rayonnement diffus uniforme
- Rediffusion II et plus négligées.
- Valeurs de paramètres PV de la littérature

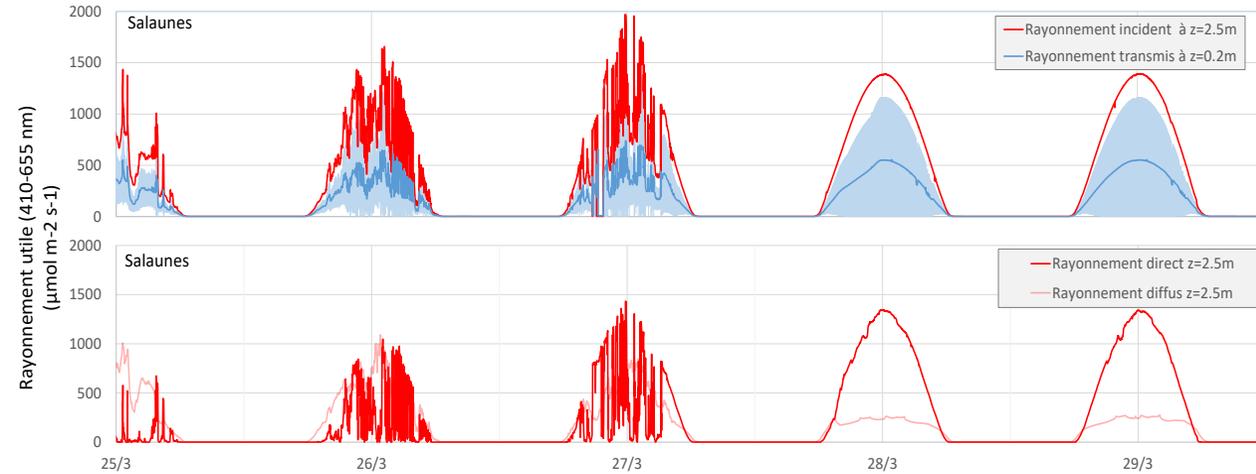
2) SW_b transmis



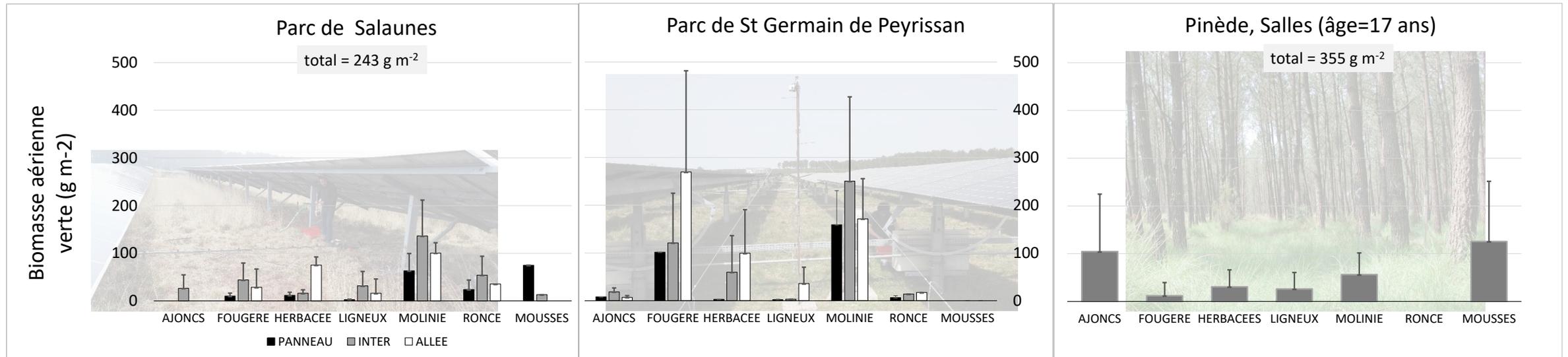
2. Calibrations du modèle: mesures in situ dans 3 parcs

1. Mesures de rayonnement visible (400-700nm) transmis sous panneaux dans 2 parcs en Gironde.

Le rayonnement transmis sous panneau est sensiblement égal à celui d'un sous bois de pinède.



2. La végétation sous panneau est pratiquement aussi développée que sous une pinède de 17 ans, la composition du tapis végétal est modifiée.



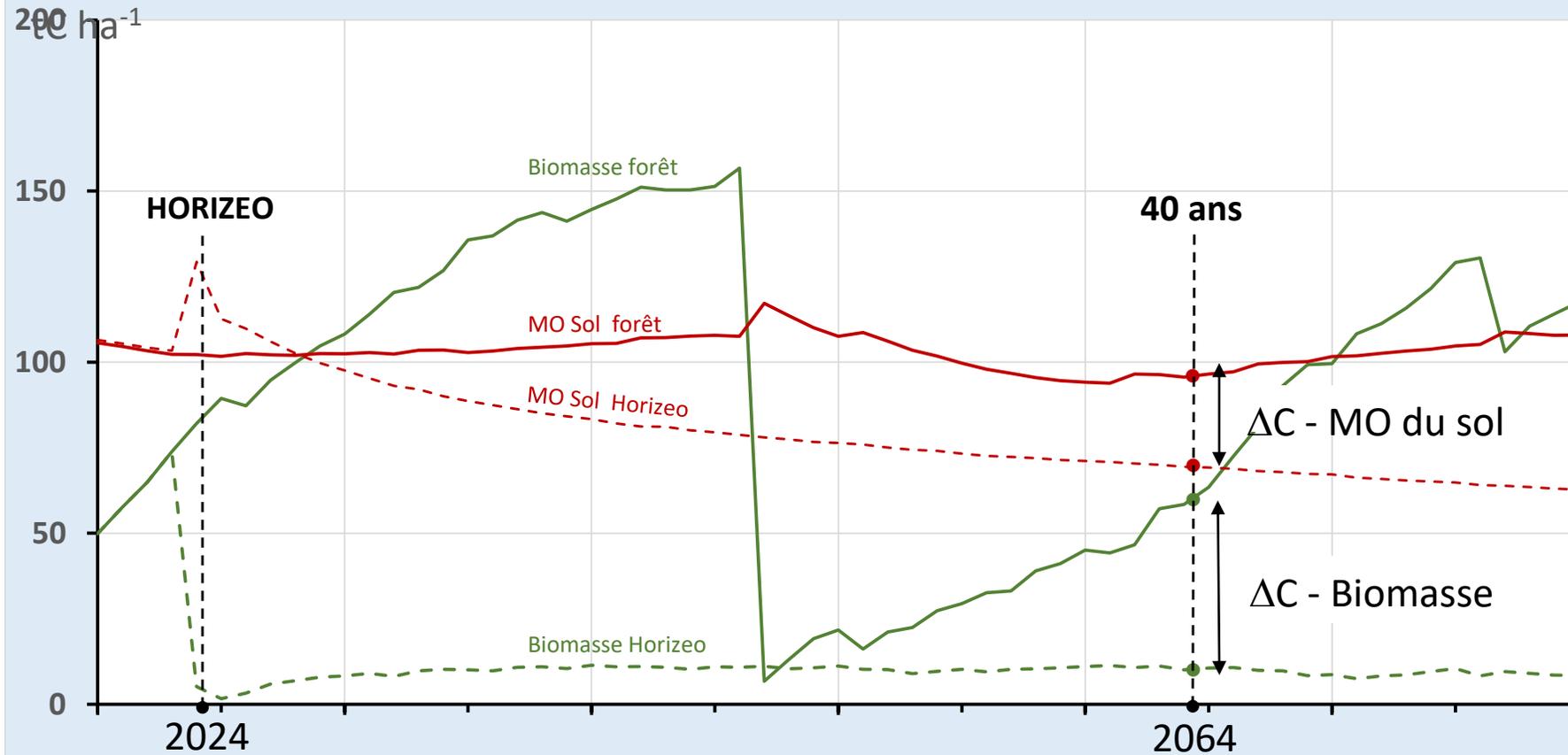
(Fauche juin - juillet)

(Fauche Août)

(Débroussaillage 5ans)

3. Bilan de carbone du projet: 1. Stocks biomasse et sol

Principe de calcul du bilan de carbone du projet. Ex. en 2064



ΔC est le bilan en carbone après 40 ans d'exploitation pour la matière organique du sol et pour la biomasse pour la classe d'âge (17 ans), RCP4.5.

3. Options sylvicoles et scénarios envisagés

Deux options de sylviculture:

- Sylviculture standard (Sardin, ONF, 2003)
 - 5 éclaircies
 - Coupe finale à 45 ans
- Sylviculture courte (ITS « Biomasse »)
 - 2 éclaircies
 - Coupe finale à 32 ans

(appliquées à la forêt de référence et au parc Horizeo)

Végétation sous panneaux:

- Fauche annuelle tardive, laissée sur place

Deux scénarios climatiques:

- Tendanciel optimiste (RCP4.5).

En 2100:

- + 1.6°C
- + 40 mm an⁻¹
- + 130 ppm CO₂
- + 20% demande évaporative



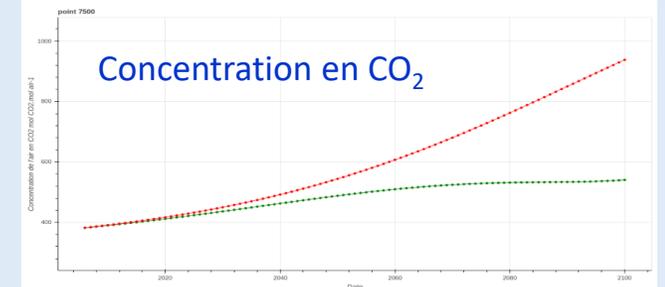
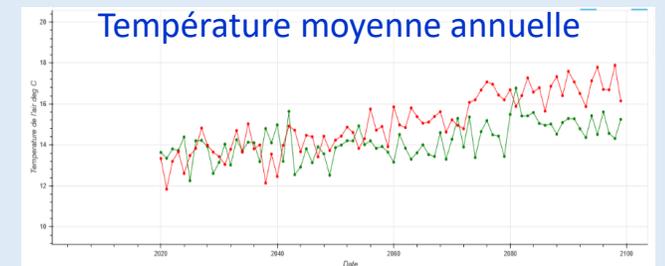
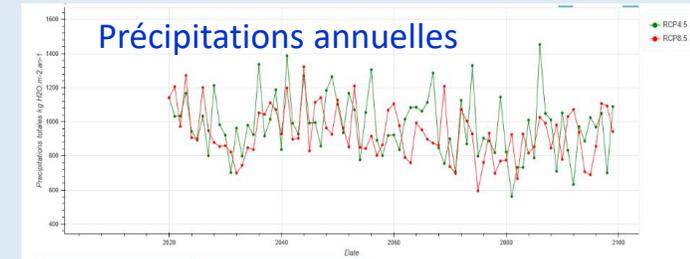
- Pessimiste (RCP8.5)

- + 4.2°C
- 83 mm an⁻¹
- + 530 ppm CO₂
- + 60% demande évaporative

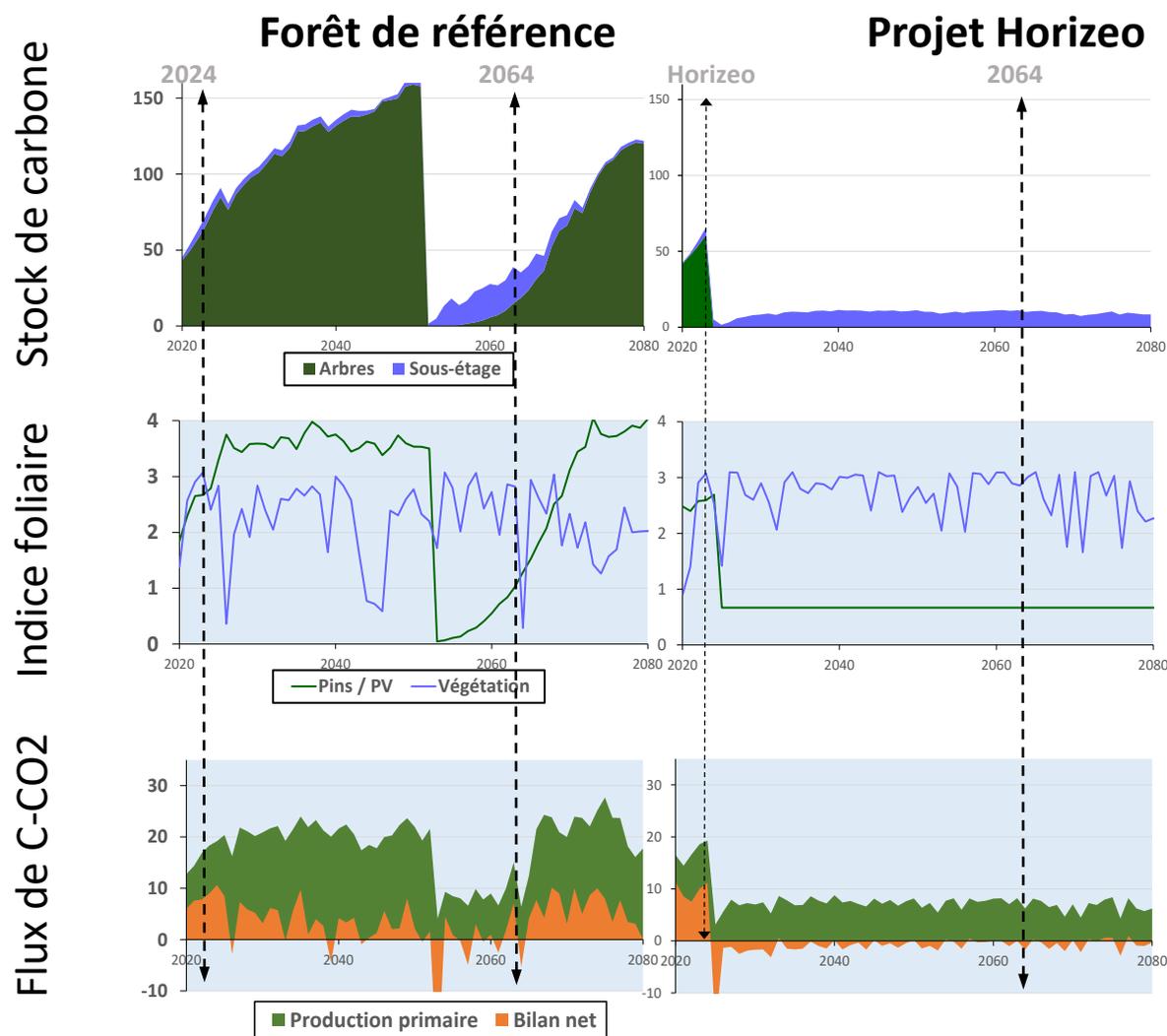


Projections pour Saucats (# 7500):

Portail DRIAS, Météo France, <http://www.drias-climat.fr/>



3. Résultats : 1. Impact du projet sur le carbone de la biomasse

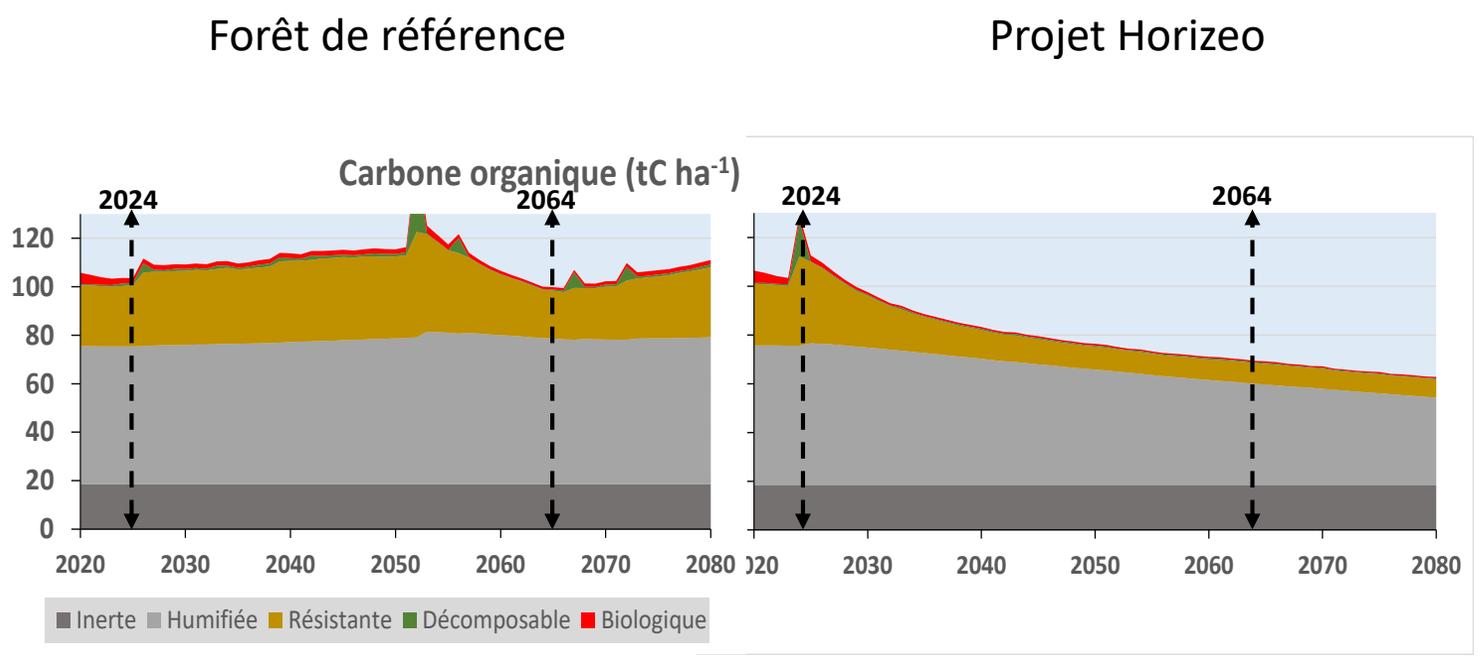


Évolution de 2020 à 2100 du stock de carbone de la biomasse, de l'indice foliaire et des flux de C-CO₂ sous forêt et sous parc photovoltaïque.

Peuplement de Pin maritime, âge 17 ans, DBH 19 cm, densité 500 tiges ha⁻¹. RCP4.5

- Le projet provoque une perte de carbone du compartiment arbres.
- La biomasse de la végétation sous panneau est ~comparable à celle d'un sous-bois de pinède de 15-25 ans.
- La production photosynthétique est diminuée de 65 % par rapport à la forêt.
- Le parc est une source nette de carbone

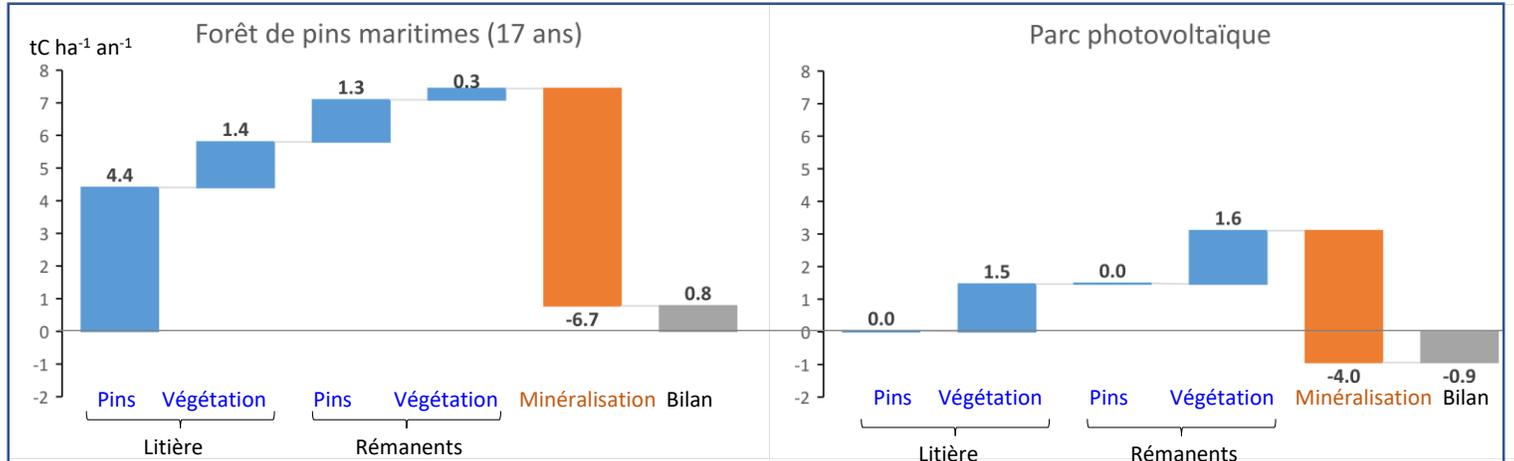
3. Résultats : 2. Impact sur la matière organique (MO) du sol



Évolution du carbone organique du sol de 2020 à 2100 sous forêt (à gauche) et sous parc photovoltaïque (à droite) . Peuplement de Pin maritime, âge 17 ans, DBH 19 cm, densité 500 tiges ha⁻¹.

- Le stock de MO du sol de la forêt de référence reste stable;
- Le stock de carbone de la matière organique du sol diminue sous le parc;
- Cette baisse affecte tous les compartiments de la M.O. du sol.
- Après 40 ans, les sols du périmètre Horizeo (1771 ha) ont perdu 28% de leur stock initial(scénario RCP 4.5, référence standard):
 - 1/1/2025: 183 000 tC
 - 31/12/2064: 131 550 tC

3. Résultats : 2. Composantes du bilan de la M.O. du sol



Bilan de la matière organique du sol sur la période 2024-2100

- La litière correspond aux apports par les organes caduques (ex feuilles, aiguilles), la rhizodéposition et la mortalité naturelle ;
- les rémanents sont les fractions de biomasse laissées sur place à la suite des récoltes et des fauches (souches, branches...) ;
- la minéralisation correspond à l'émission de CO₂ par les microorganismes du sol ;
- le bilan global (en gris) inclut les couches organiques superficielles, les rémanents de récolte et la matière organique des horizons organo-minéraux du sol ;
- l'horizon B a été considéré comme inerte ;

- La perte de M.O. du sol est due à la diminution des apports
- La minéralisation de la matière organique se rééquilibre lentement (selon le modèle utilisé).
- Ce résultat est très similaire aux observations sur la dynamique de la MO du sol après déboisement et mise en culture .

4. Résultats: 3. Émissions fossiles liées à la gestion sylvicole

Tarifs utilisés

Sources: Gonzalez-Garcia et al. 2014, *Journal of Cleaner Production* 64 (2014)
Berg et al. 2010, M3 *Eforwood Project Deliverable* 3.2.6 Jan 2010. Final Version

- Installation semis, plantation, labour: 400 kg CO₂ eq./ha
- Éclaircie: 3-4 kg CO₂ eq./m³
- Récolte, débardage: 5-6 kg/m³ “bord de route”
- Transport: 0.06 kg/km/m³

Résultats

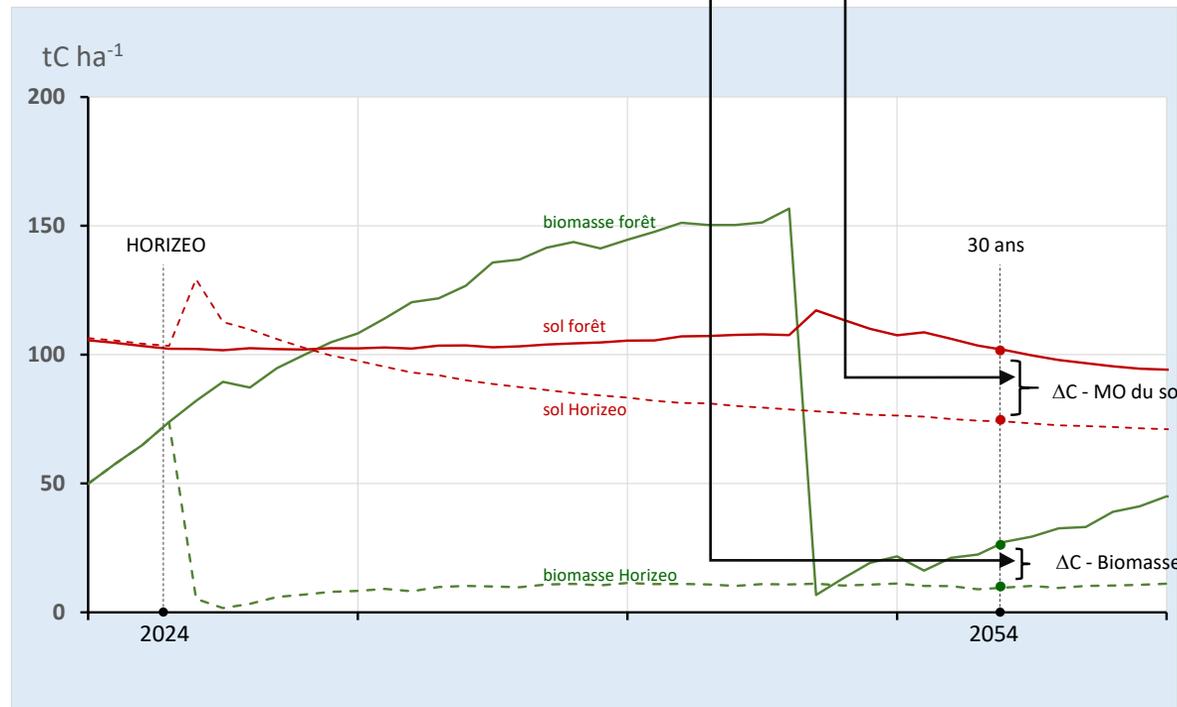
→ Intensif: 2 (installation) + 3 × 2 (éclaircies) + 6 (coupe) + 2 (transport 35 km)
=Total **16 kg CO₂e/m³** bois récolté (1.7 % du C récolté)

→ Standard: 1 (installation) + 3 × 5 (éclaircies) + 6 (coupe) + 2 (transport sur 35 km) =
=Total **24 kg CO₂e/m³** bois récolté (2.6% du C récolté)

Synthèse: Tableau de bord pour les 12 options envisagées

Tableaux de bord des émissions comparées du projet HORIZEO et de la forêt de référence.

Sylviculture intensive Scénario RCP4.5.				Biomasse	Sol	Total	Production	Fuel
Δstocks en tC						B+S	récoltée	
2024-2054	(1)	Forêt		- 43 141	- 10 150	- 53 291	127 611	- 2 217
	(2)	Projet	PV	- 68 175	- 51 716	- 119 891	30 542	- 755
			Pin	- 10 057	- 3 452	- 13 509	42 073	- 731
		Différence (1)-(2)		35 092	45 018	80 109	54 996	- 732
		<i>Déficit annuel par ha</i>		0.66	0.85	1.51		- 0.01



- Le tableau de bord proposé dans le rapport INRAE envisage les 12 options considérées: durées d'amortissement de 30, 40 ou 50 ans × 2 scénarios de climat × 2 options sylvicoles
- Le bilan des émissions provoquées par *Horizeo* est calculé pour les composantes « biomasse », « sol » et cumulée.
- Les émissions fossiles liées à la sylviculture et à la gestion de la végétation sont inférieures de deux ordres de grandeur.
- La prise en compte des produits récoltés est plus complexe et doit tenir compte de leur temps de résidence (2 – 15 ans en moyenne).

Variations des stocks de carbone de la biomasse, du sol et du bois récolté et émissions de carbone fossile sylvicoles en tonnes de carbone. **Sylviculture intensive, scénario climatique RCP 4.5.**

Sylviculture intensive Scénario RCP4.5.				Biomasse	Sol	Total	Production	Fuel
Δstocks en tC						B+S	récoltée	
2024-2054	(1)	Forêt		- 43 141	- 10 150	- 53 291	127 611	- 2 217
	(2)	Projet	PV	- 68 175	- 51 716	- 119 891	30 542	- 755
			Pin	- 10 057	- 3 452	- 13 509	42 073	- 731
		Différence (1)-(2)		35 092	45 018	80 109	54 996	- 732
		<i>Déficit annuel par ha</i>		0.66	0.85	1.51		- 0.01
2064	(1)	Forêt		- 45 766	- 17 686	- 63 452	159 543	- 2 772
	(2)	Projet	PV	- 67 122	- 56 086	- 123 208	30 542	- 829
			Pin	- 14 184	- 7 141	- 21 325	54 621	- 949
		Différence (1)-(2)		35 541	45 540	81 081	74 379	- 994
		<i>Déficit annuel par ha</i>		0.50	0.64	1.14		- 0.01
2074	(1)	Forêt		- 67 523	- 21 406	- 88 929	203 535	- 3 536
	(2)	Projet	PV	- 68 862	- 60 754	- 129 616	30 542	- 904
			Pin	- 18 052	- 9 225	- 27 278	64 538	- 1 121
		Différence (1)-(2)		19 391	48 574	67 965	108 455	- 1 511
		<i>Déficit annuel par ha</i>		0.22	0.55	0.77		- 0.02

Sylviculture standard Scénario RCP4.5.				Biomasse	Sol	Total	Production	Fuel
Δstocks en tC						B+S	récoltée	
2024-2054	(1)	Forêt		11 287	11 704	22 990	107 443	- 2 029
	(2)	Projet	PV	- 68 175	- 51 716	- 119 891	30 542	- 801
			Pin	10 103	1 254	11 357	29 736	- 561
		Différence (1)-(2)		69 359	62 166	131 525	47 165	- 667
		<i>Déficit annuel par ha</i>		1.31	1.17	2.48		- 0.01
2064	(1)	Forêt		- 6 845	1 223	- 5 621	151 057	- 2 852
	(2)	Projet	PV	- 67 122	- 56 086	- 123 208	30 542	- 875
			Pin	9 146	- 459	8 687	42 061	- 794
		Différence (1)-(2)		51 132	57 769	108 900	78 454	- 1 183
		<i>Déficit annuel par ha</i>		0.72	0.82	1.54		- 0.02
2074	(1)	Forêt		41 110	2 884	43 994	183 847	- 3 471
	(2)	Projet	PV	- 68 862	- 60 754	- 129 616	30 542	- 950
			Pin	14 419	- 897	13 522	61 053	- 1 153
		Différence (1)-(2)		95 553	64 535	160 088	92 252	- 1 369
		<i>Déficit annuel par ha</i>		1.08	0.73	1.81		- 0.02

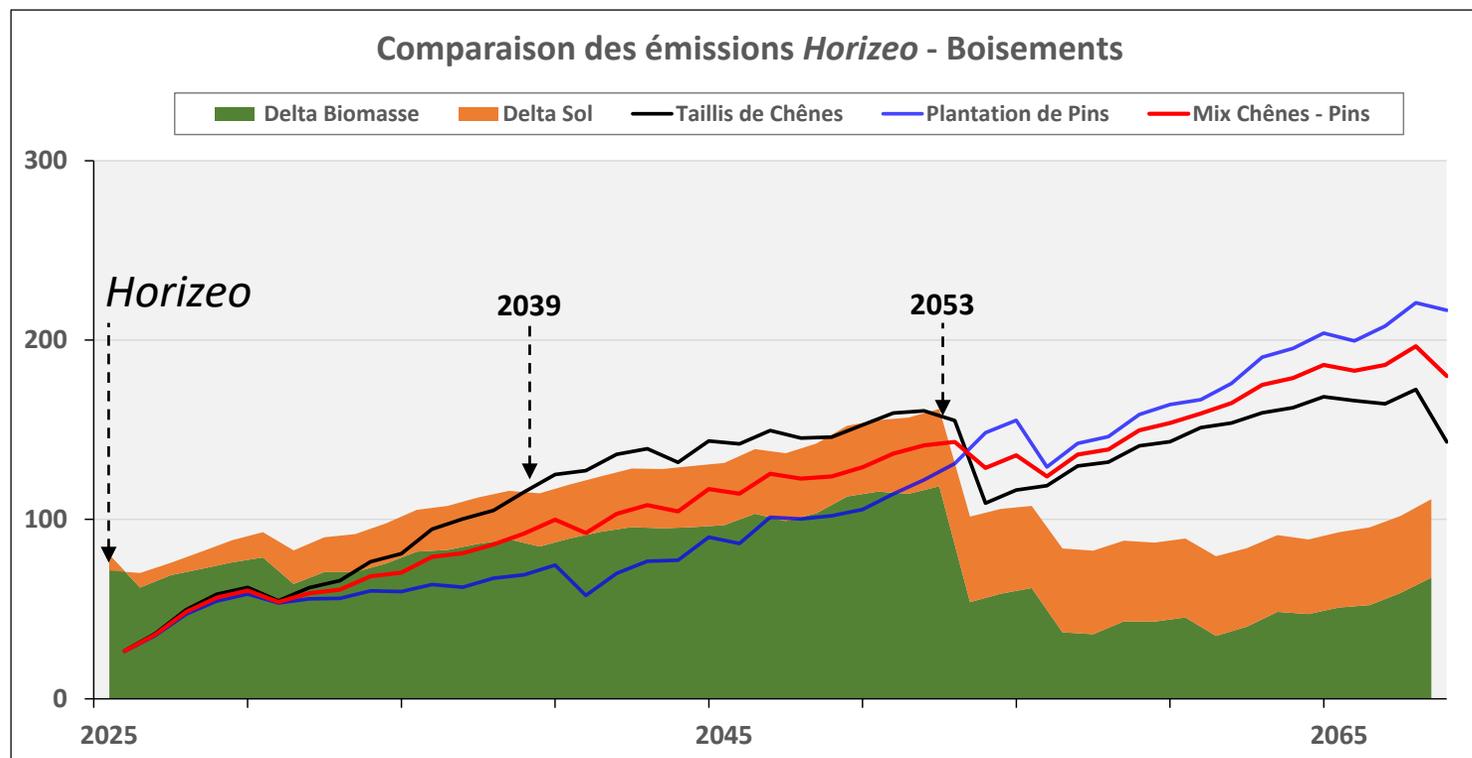
Sylviculture intensive Scénario RCP8.5.				Biomasse	Sol	Total	Production	Fuel
Δstocks en tC						B+S	récoltée	
2024-2054	(1)	Forêt		- 22 750	- 10 871	- 33 621	130 914	- 2 275
	(2)	Projet	PV	- 58 162	- 48 518	- 106 681	26 005	- 676
			Pin	- 2 369	- 3 191	- 5 559	45 563	- 792
		Différence (1)-(2)		37 781	40 838	78 619	59 346	- 807
		<i>Déficit annuel par ha</i>		0.71	0.77	1.48		- 0.02
2064	(1)	Forêt		- 13 086	- 15 852	- 28 938	163 983	- 2 849
	(2)	Projet	PV	- 59 413	- 53 301	- 112 714	26 005	- 750
			Pin	- 2 110	- 6 240	- 8 350	58 641	- 1 019
		Différence (1)-(2)		48 437	43 689	92 126	79 338	- 1 080
		<i>Déficit annuel par ha</i>		0.68	0.62	1.30		- 0.02
2074	(1)	Forêt		- 59 138	- 18 657	- 77 795	204 648	- 3 556
	(2)	Projet	PV	- 62 255	- 58 123	- 120 377	26 005	- 825
			Pin	- 14 558	- 7 889	- 22 447	67 641	- 1 175
		Différence (1)-(2)		17 675	47 355	65 030	111 002	- 1 555
		<i>Déficit annuel par ha</i>		0.20	0.53	0.73		- 0.02

Sylviculture standard Scénario RCP8.5.				Biomasse	Sol	Total	Production	Fuel
Δstocks en tC						B+S	récoltée	
2024-2054	(1)	Forêt		36 828	10 130	46 958	113 254	- 2 138
	(2)	Projet	PV	- 58 162	- 48 518	- 106 681	26 005	- 715
			Pin	21 547	1 067	22 613	32 018	- 605
		Différence (1)-(2)		73 443	57 582	131 025	55 231	- 819
		<i>Déficit annuel par ha</i>		1.38	1.08	2.47		- 0.02
2064	(1)	Forêt		23 793	5 746	29 539	159 706	- 3 016
	(2)	Projet	PV	- 59 413	- 53 301	- 112 714	26 005	- 790
			Pin	23 304	1 804	25 108	45 308	- 856
		Différence (1)-(2)		59 902	57 243	117 145	88 393	- 1 370
		<i>Déficit annuel par ha</i>		0.85	0.81	1.65		- 0.02
2074	(1)	Forêt		51 826	9 185	61 010	200 109	- 3 778
	(2)	Projet	PV	- 62 255	- 58 123	- 120 377	26 005	- 864
			Pin	18 716	1 951	20 668	70 600	- 1 333
		Différence (1)-(2)		95 364	65 356	160 720	103 504	- 1 581
		<i>Déficit annuel par ha</i>		1.08	0.74	1.82		- 0.02

A photograph of a dense forest of tall, thin trees, likely birches, with green foliage. The trees are reflected in a calm body of water in the foreground. The text "Merci pour votre attention" is overlaid in green on the water.

Merci pour votre attention

Synthèse: Comparaison de la dynamique Horizeo et Forêts



Dynamique des émissions de carbone du projet *Horizeo* (1771 ha) et de plantations de chênes pédonculés et pins maritimes conduits en taillis et futaie respectivement, en sylviculture standard, et sur 2000 ha.

Les émissions (sol et biomasse) provoquées par *Horizeo* seraient équivalentes à la séquestration réalisée par :

- un taillis de chênes, planté en 2024, en 2039
- une futaie de pins, ou un mix taillis de chênes - futaie de pins, plantés en 2024 en 2053

sur une superficie de 2000 ha.

Cette projection ne prend pas en compte une reforestation du parc après exploitation.

2. Calibration : mesures in situ

1. Mesure de rayonnement solaire transmis dans les parcs photovoltaïques de Salaunes (mars) et Langelé (avril):

- 12 capteurs (400-700nm) précalibrés en laboratoire, à 0.2m au dessus du sol sur un transect = panneau+interrang,
- 2 capteurs au dessus des panneaux (2.5m)
- Mesures enregistrées toutes les 60 secondes

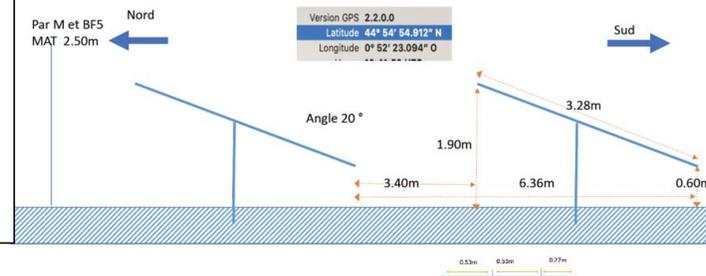
2. Échantillonnage de la biomasse de la végétation sous 2 parcs photovoltaïques et en forêt au pic de végétation (Juillet 2021)

- 21 placeaux de 1m² fauchés par site
- Tri par espèces et type d'organe (feuilles, parties ligneuses)

Langelé



Salaunes

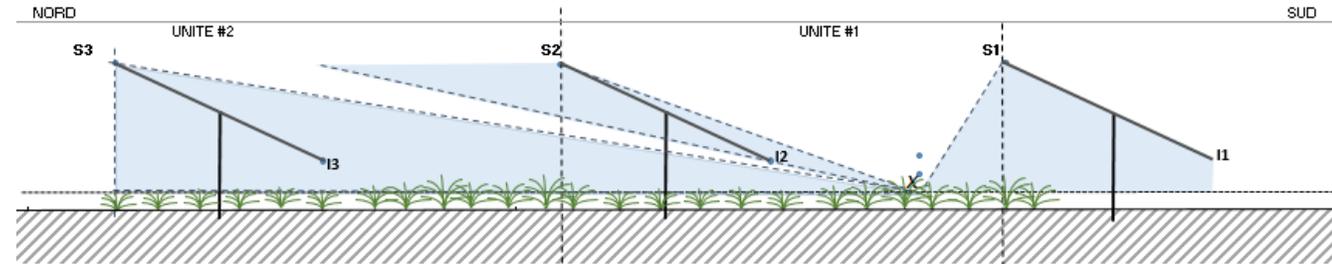


2. Adaptation aux transferts radiatifs sous panneaux solaires

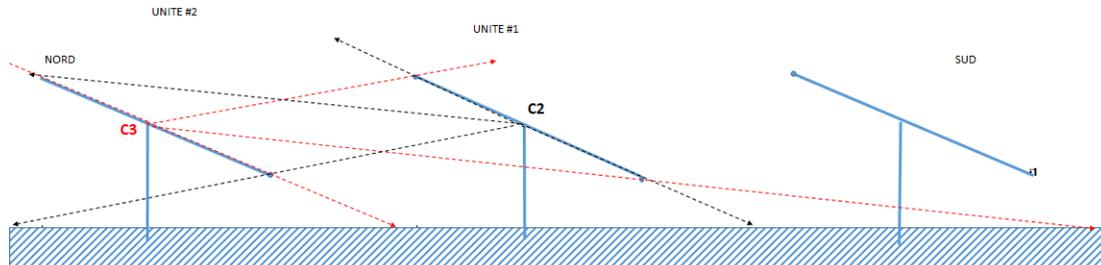
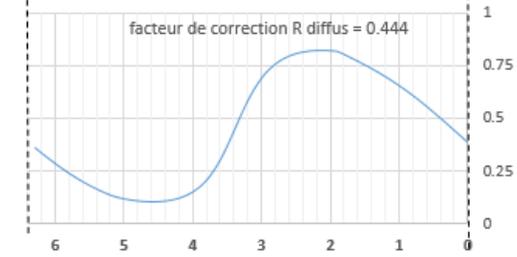
Le modèle a été adapté pour simuler le bilan radiatif de parc photovoltaïque.

Il tient compte de:

- la disposition des panneaux
- de leur propriétés optiques
- de leur émissivité



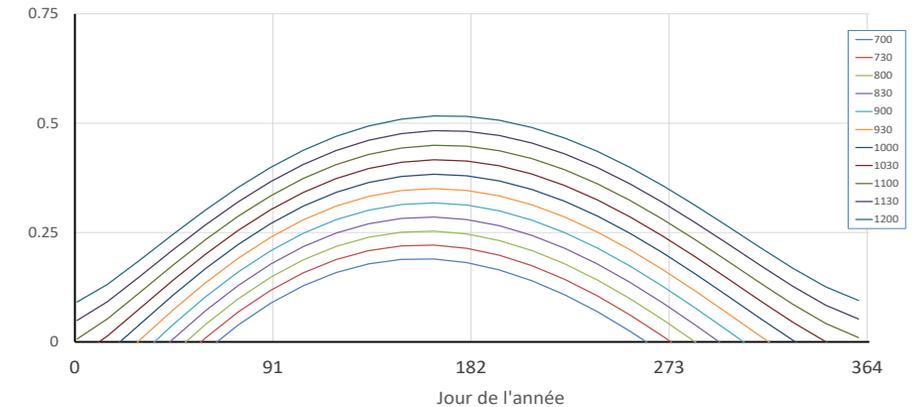
1) R. solaire diffus reçu par la végétation et sol.



3) R. IR échangé par les faces des PV.

Approximations:

- Diffuseurs lambertiens,
- Rayonnement diffus uniforme
- Rediffusion II et plus négligées.
- Valeurs de paramètres PV de la littérature



2) Métamodèle du R. solaire direct transmis