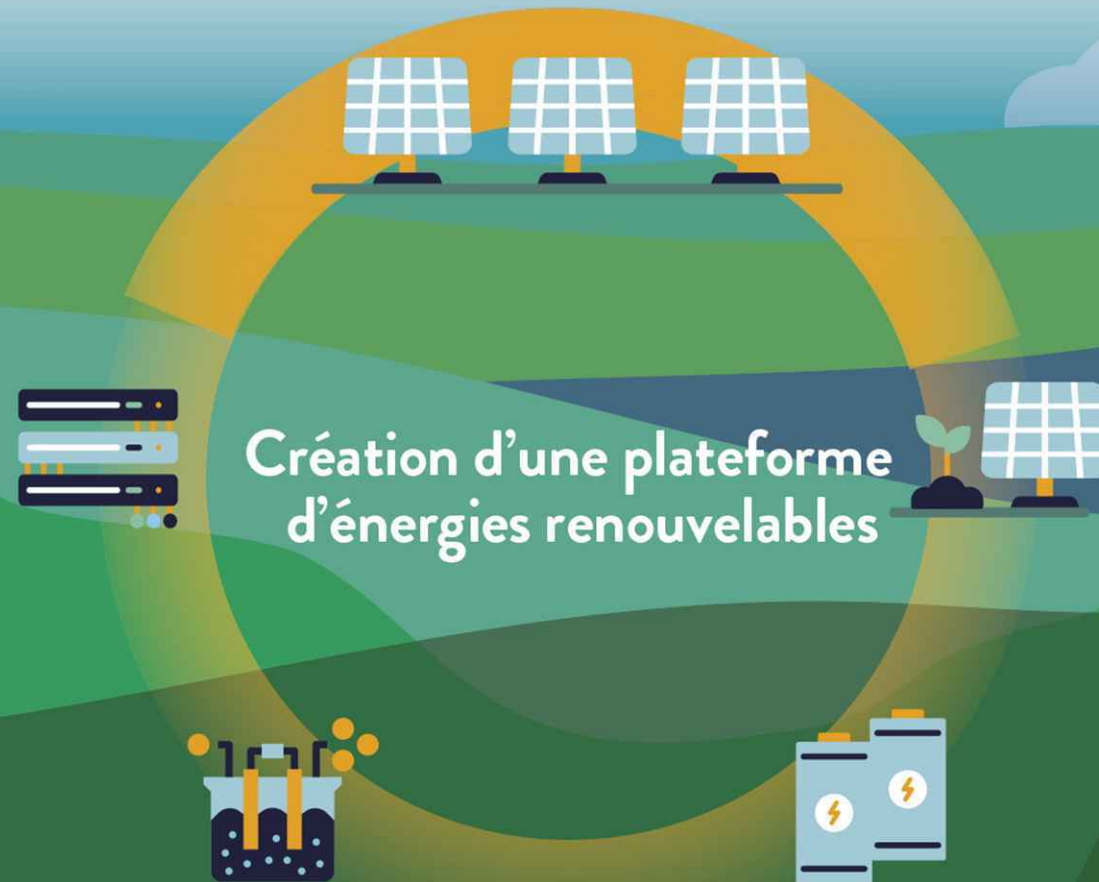


Pour une bonne compréhension de ce document, la vidéo de présentation de l'atelier doit être consultée.



Parc photovoltaïque • Centre de données • Agri-énergie • Electrolyseur • Batteries de stockage



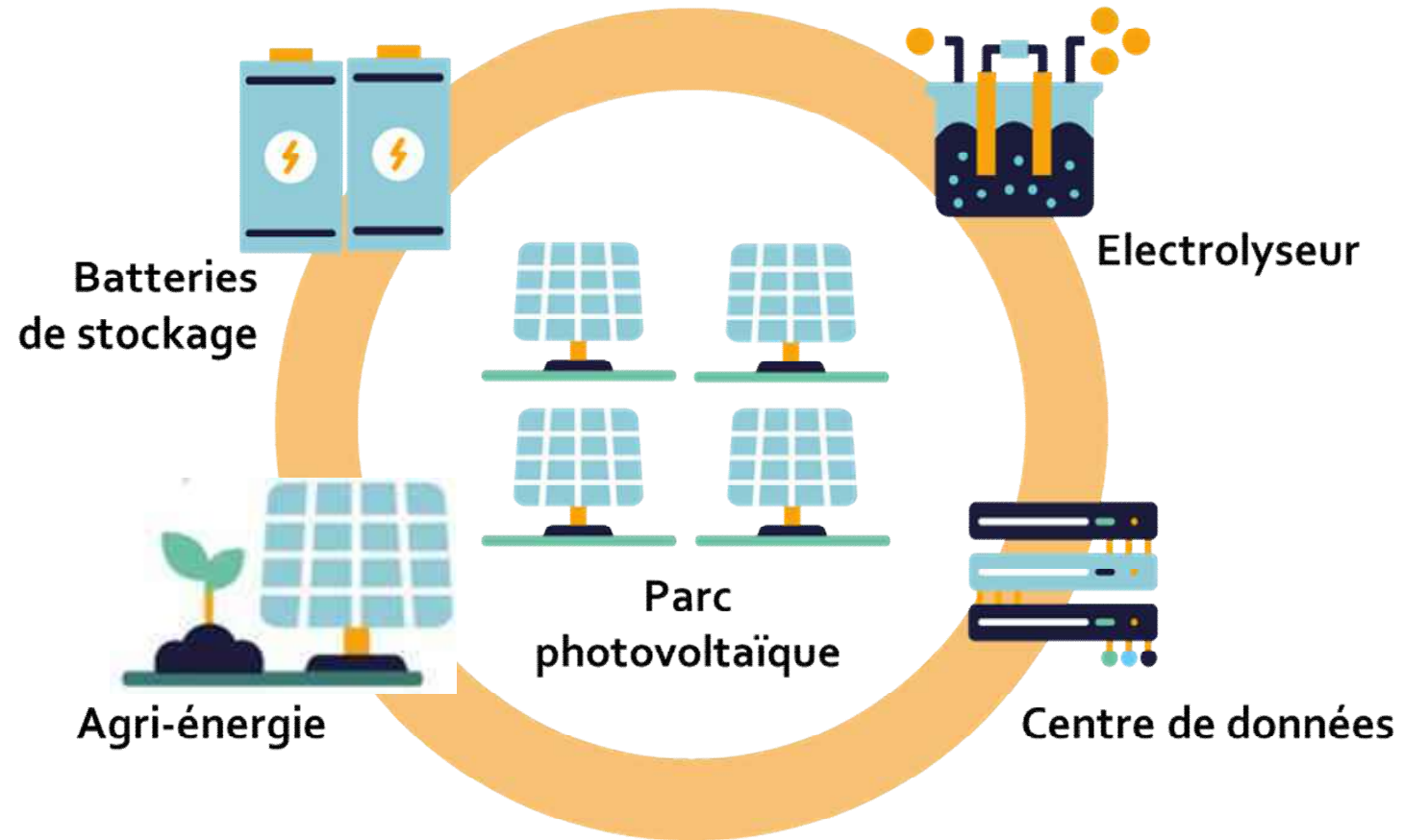
HORIZEO

Atelier sur l'empreinte carbone du projet HORIZEO

09 novembre 2021

à Bordeaux

Le projet en bref



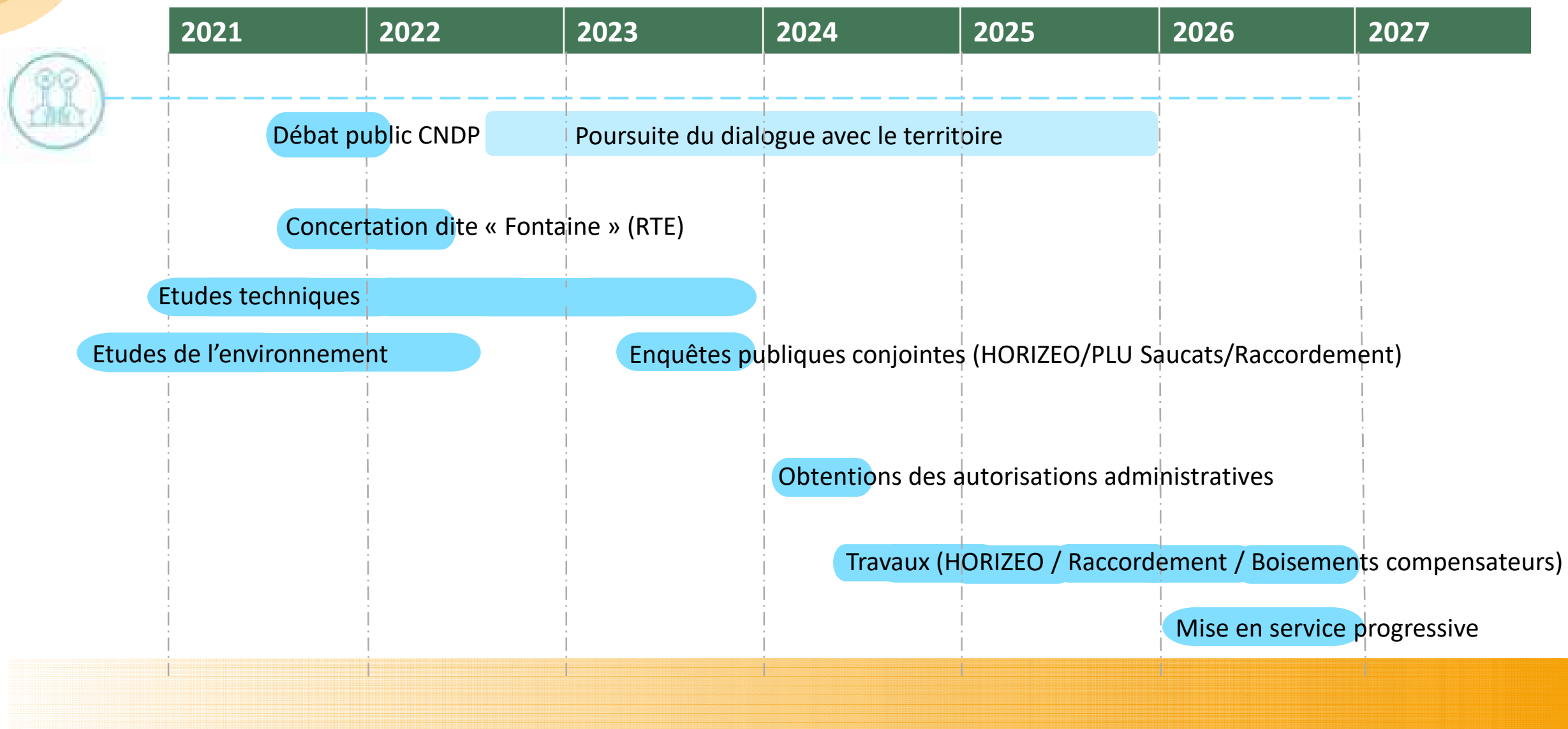
L'évaluation environnementale

L'évaluation environnementale du projet

- Une **évaluation environnementale unique** pour l'ensemble du projet
- Les **deux temps principaux** de l'élaboration de l'évaluation environnementale :
 - **l'état initial de l'environnement** : état des lieux des enjeux et de leur sensibilité, qui aborde toutes les composantes de l'environnement susceptibles d'être impactées par le projet (milieu physique, milieu naturel, milieu humain, paysage)
 - **L'analyse des impacts et la définition des mesures** (démarche ERC-A, transversale et itérative).



Le calendrier du projet



L'évaluation de l'empreinte carbone – Gingko 21



Empreinte carbone du projet HORIZEO

9 Novembre 2021



Cultivons ensemble l'économie de demain !

Gingko 21

Gingko 21, cabinet de conseil et formation, développe des pratiques et outils innovants pour soutenir l'émergence de l'économie de demain : une économie **responsable, circulaire, décarbonée, collaborative, positive, inclusive...**



Cultivons ensemble l'économie de demain !

Changer de Cap



- S'ancrer dans la raison d'être, identifier les atouts
- Imaginer, sélectionner et mettre en place des modèles d'affaires durables



Mesurer



- Evaluer les impacts environnementaux
- Analyse de Cycle de Vie
- Analyse coûts-bénéfices



Eco-Innover



- Construire une offre responsable
- Développer et activer de nouveaux modèles d'affaires



Mutualiser



- Faire émerger des synergies entre acteurs d'un territoire
- Ecologie Industrielle et Territoriale - EIT



Se former



- Développer les compétences de façon interactive et ludique
- Serious games



Cadrage de l'étude

Objectif de l'étude : évaluer le potentiel d'impact sur le changement climatique du projet

- Evaluer le potentiel d'impact du projet HORIZEO sur le changement climatique
- Comparer cet impact à un scénario de référence

1. Scénarios HORIZEO

2. Scénarios de référence :

- scénario où le projet HORIZEO ne serait pas réalisé,
- le site conservé en exploitation sylvicole,
- et les services envisagés dans le projet HORIZEO fournis selon les technologies observées sur le marché actuel.

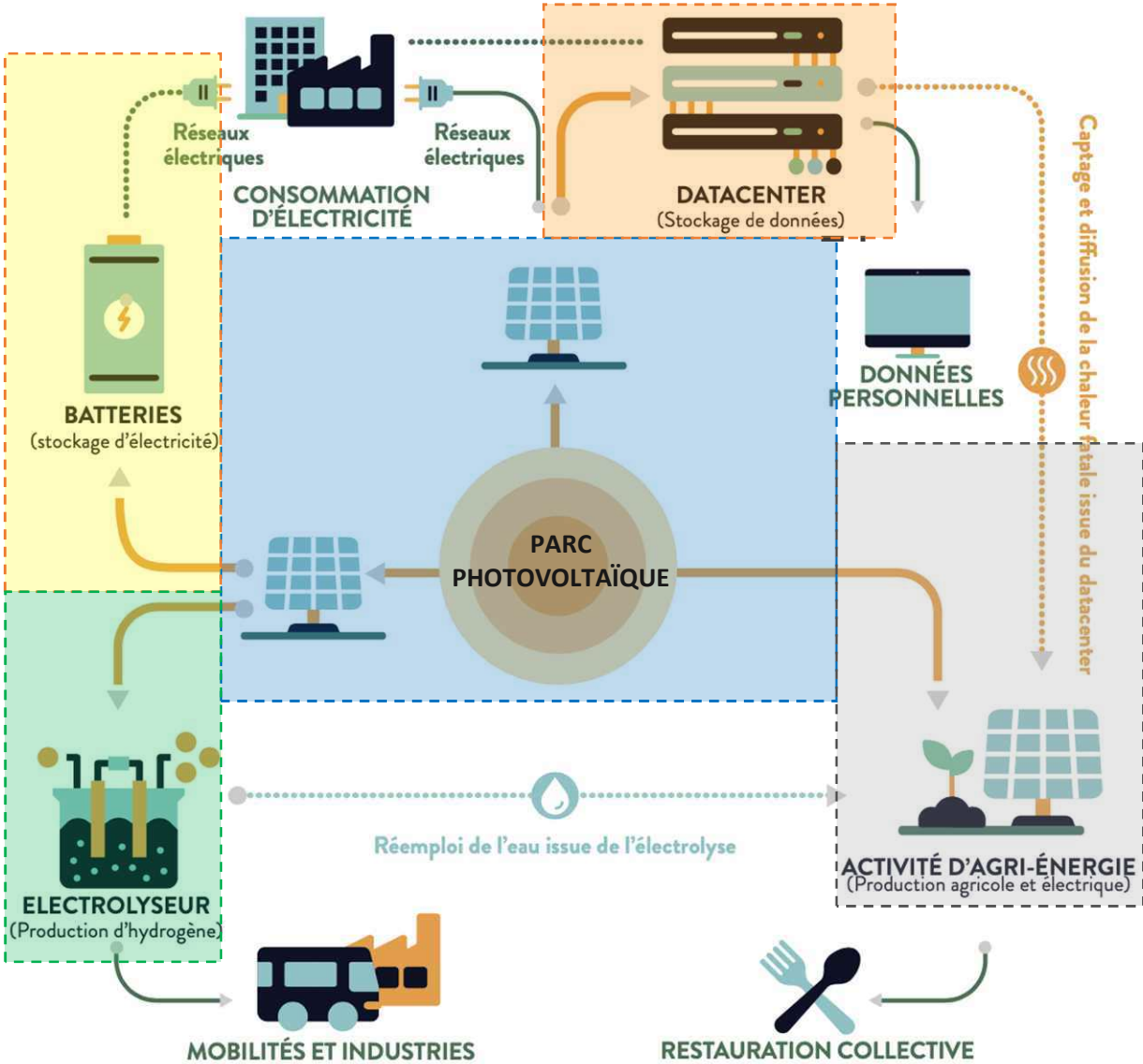
Les scénarios de comparaison sont multiples. Pour cette étude, le scénario de référence (pour chaque brique) est construit pour représenter au mieux le marché français ou européen actuel.

Répartition du périmètre de l'étude entre Gingko 21 et l'INRAE

- Périmètre de l'empreinte carbone :
 - Calculs de Gingko 21 : émissions fossiles dues à la construction, à l'exploitation et au démantèlement des infrastructures du projet (planches 8 à 23).
 - Calculs de l'INRAE : flux de carbone, émission ou stockage, de la biomasse, du sol et des produits récoltés en sylviculture sur les terrains concernés par le projet (planches 25 à 38).
- Pour le travail de Gingko 21 :
 - Le projet Horizeo est en cours d'élaboration, les choix de conception ne sont pas encore définitifs. Les résultats présentés sont représentatifs de l'état du projet en 2021 et peuvent évoluer.
 - Seuls les principaux résultats de l'étude sont présentés. Les hypothèses de calcul, de modélisation, détails des analyses... sont précisés dans le rapport « Empreinte carbone du projet HORIZEO et comparaison avec un scénario de référence » (parution prochaine).
 - Les résultats peuvent évoluer d'ici la sortie du rapport car ce dernier est en processus de revue critique - révision par des experts externes à Gingko 21.

Périmètre traité par Ginko 21

- Modélisation par briques technologique de la plateforme puis agrégation
- L’usage des produits issus de la plateforme (électricité, hydrogène, aliments...) est exclu
- Non prise en compte de l’origine renouvelable de l’énergie consommée par le centre de données et l’électrolyseur



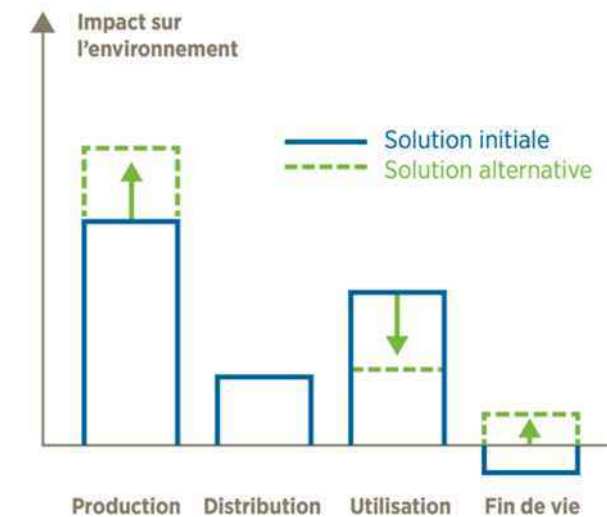
Modélisation de la plateforme Horizeo représentative des choix de conception les plus probables

- Données collectées auprès d'ENGIE, de NEOEN et de RTE combinées avec des données issues de la littérature
- Approche conservatrice : les hypothèses et les jeux de données les plus pénalisants sont retenus
- Incertitudes sur les données étudiées au travers d'analyses de sensibilité
- Méthode de calcul : Global Warming Potential (GWP) Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 100 years en kg CO2 eq
- Logiciel : Simapro
- Bases de données :
 - Ecoinvent 3.6 cut-off et Agribalyse 3.0 pour la modélisation de base
 - Base Carbone pour l'analyse de sensibilité sur le mix électrique français

Modélisation suivant la méthode de l'Analyse de Cycle de Vie (ACV)



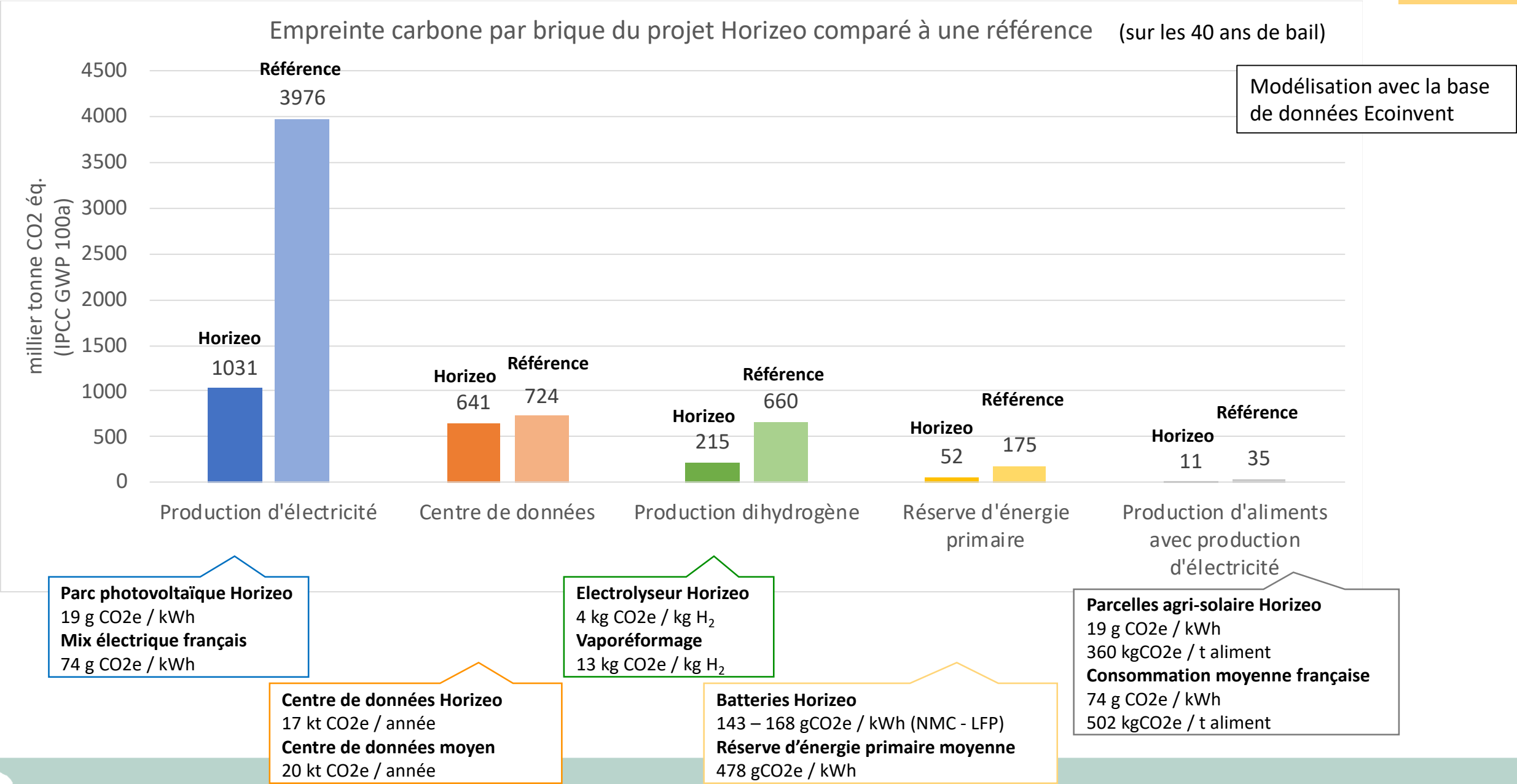
Copyright Gingko 21

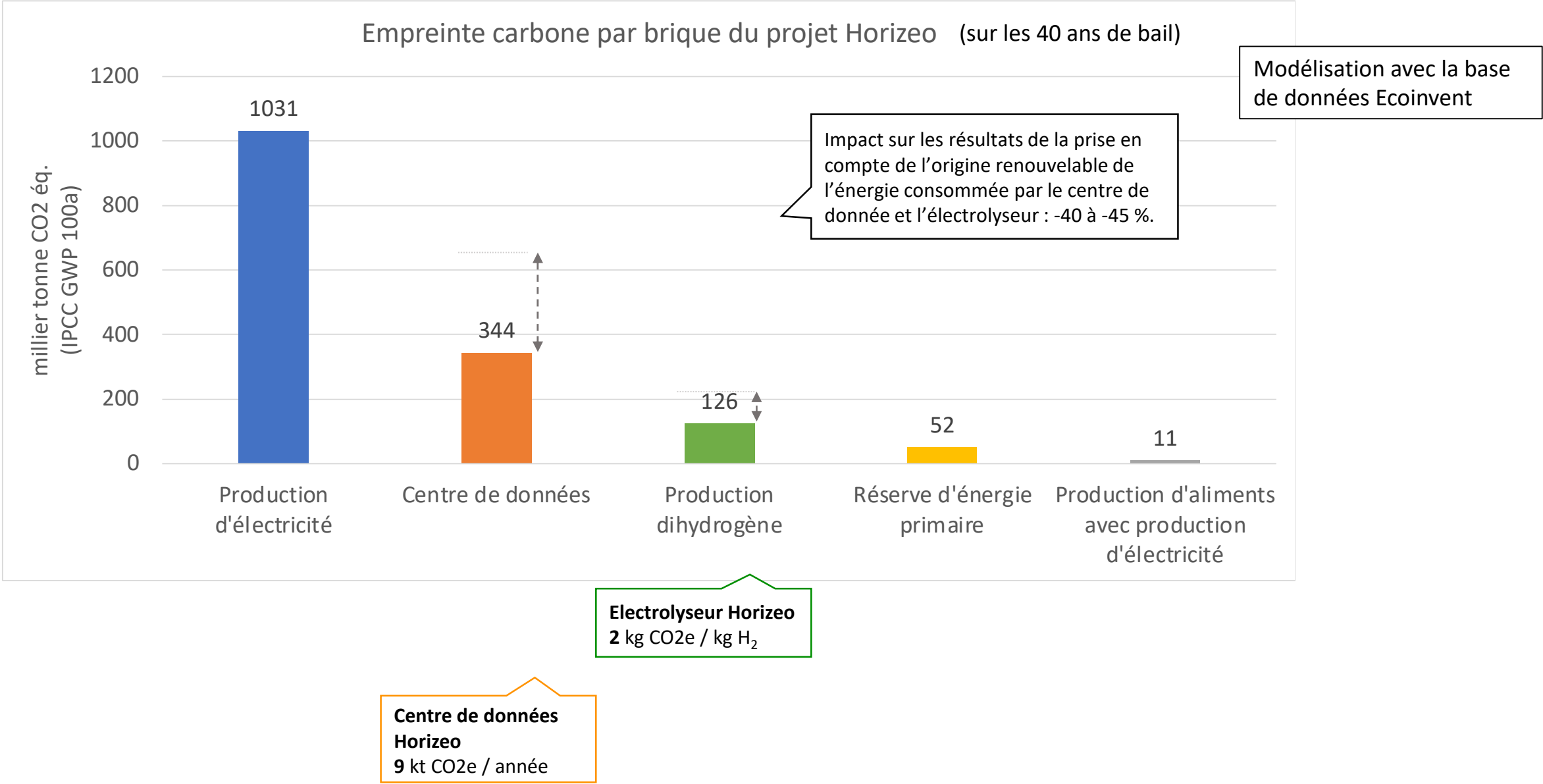


Objectifs :

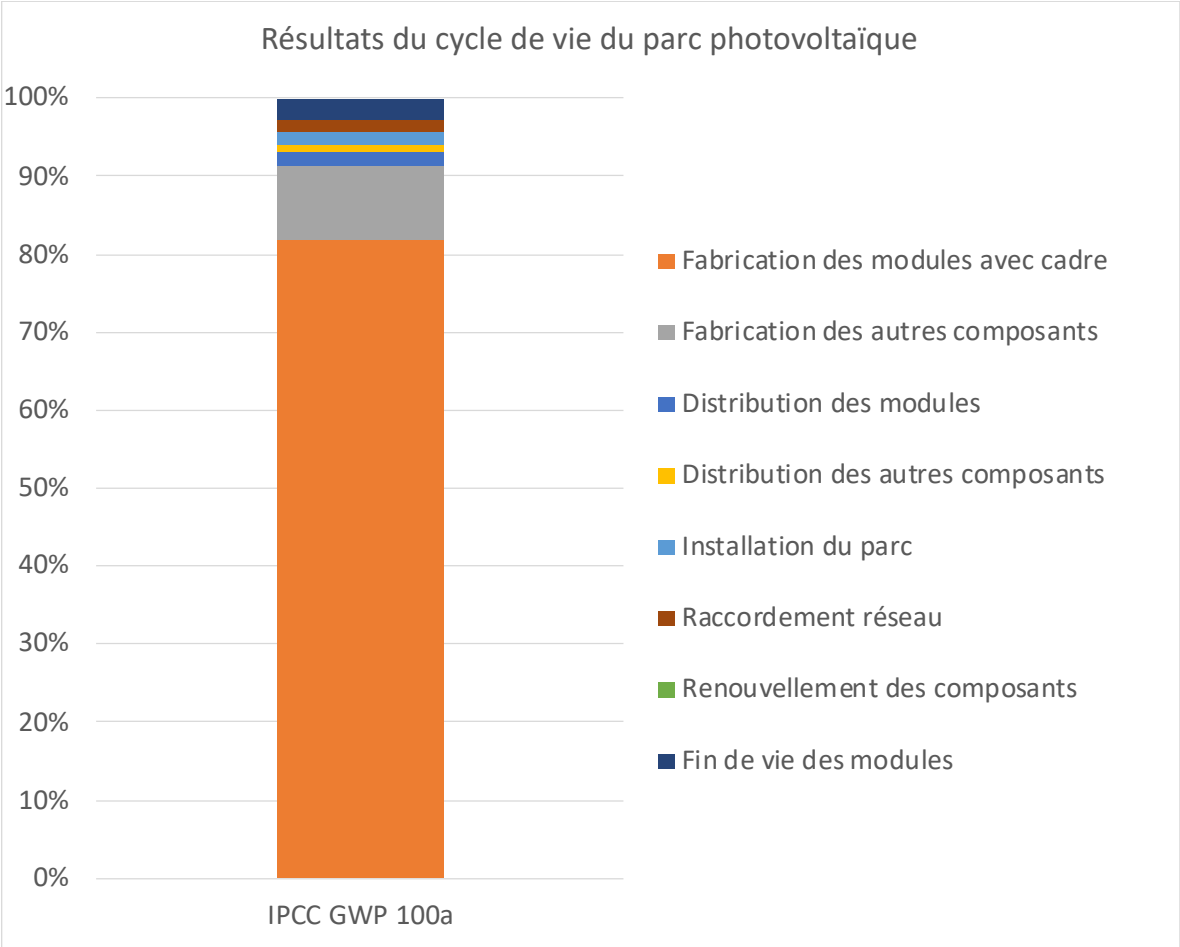
- recenser et quantifier, tout au long de la vie du système, les flux physiques de matière et d'énergie associés
- évaluer les impacts potentiels sur l'environnement

Résultats





Contribution aux résultats du parc photovoltaïque Horizeo



Contribution à l'impact total du parc photovoltaïque :

- 65 % dû à la fabrication des modules (80 % de la partie en orange)
- 15 % dû à la fabrication des cadres en aluminium (20 % de la partie en orange)
- 10 % dû à la fabrication des autres éléments du parc (structures en acier, onduleurs, transformateurs, câblages)
- 3 % dû au transport des modules (en camion et en bateau depuis la Chine)
- < 1 % dû au transport des autres composants
- Le reste (raccordement réseau, installation, fin de vie) représente ensemble environ 5 %

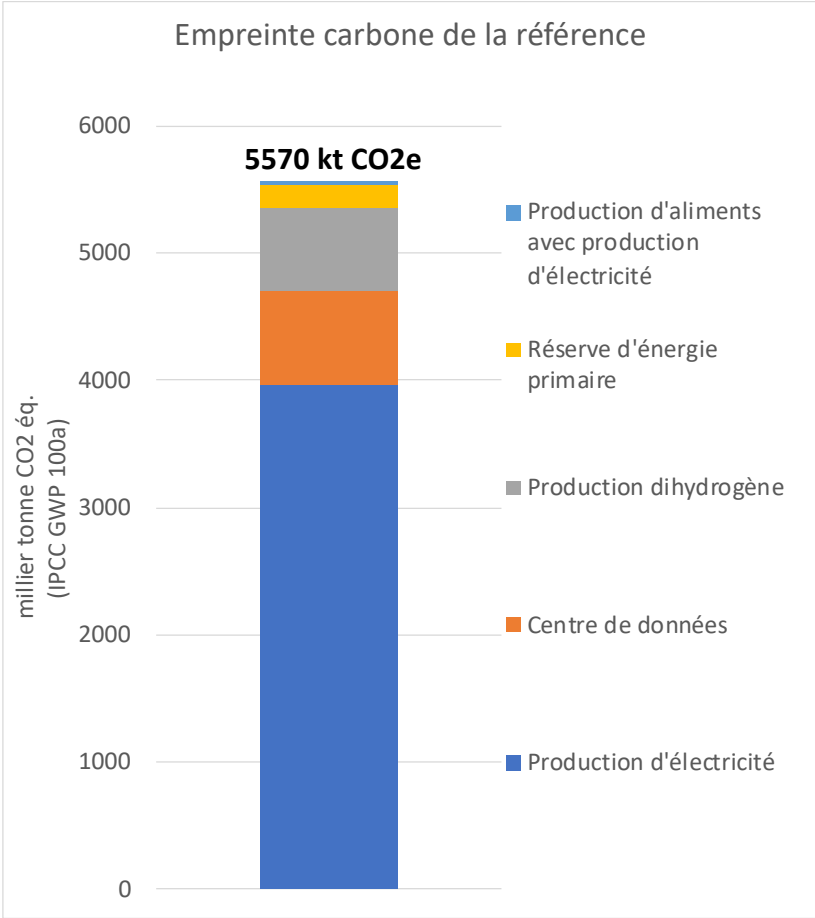
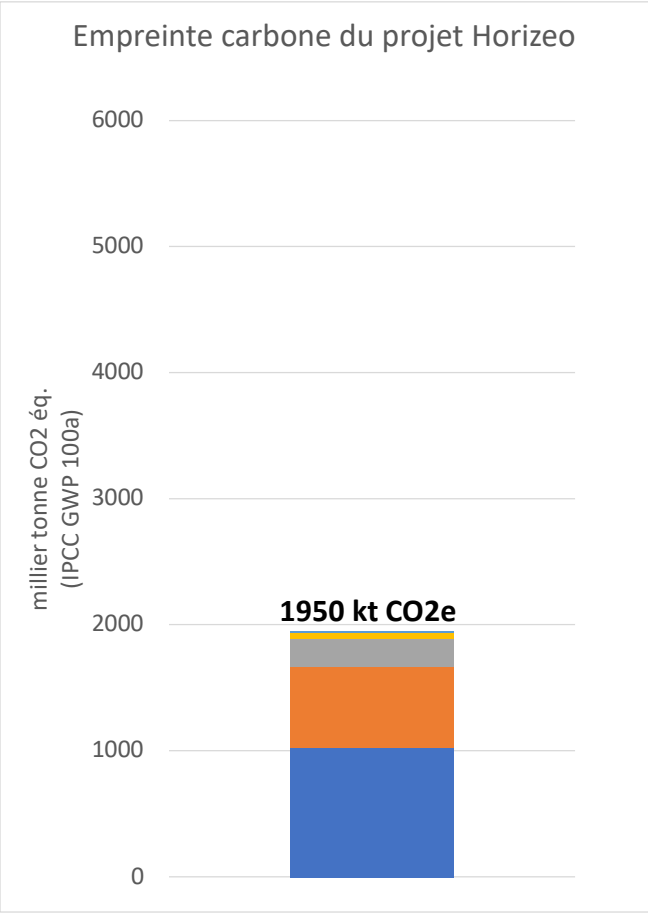
Contribution à l'empreinte carbone du parc photovoltaïque Horizeo

Empreinte carbone totale : rapport 2,9 entre Horizeo et la référence

Modélisation avec la base de données Ecoinvent

$$\text{Rapport} = \frac{\text{Empreinte carbone Horizeo}}{\text{Empreinte carbone référence}}$$

Sur les 40 ans de bail



Analyse de sensibilité sur le mix électrique : rapport diminué à 1,9

Modélisation de l'électricité avec la Base Carbone (ADEME), données énergétiques plus à jour.

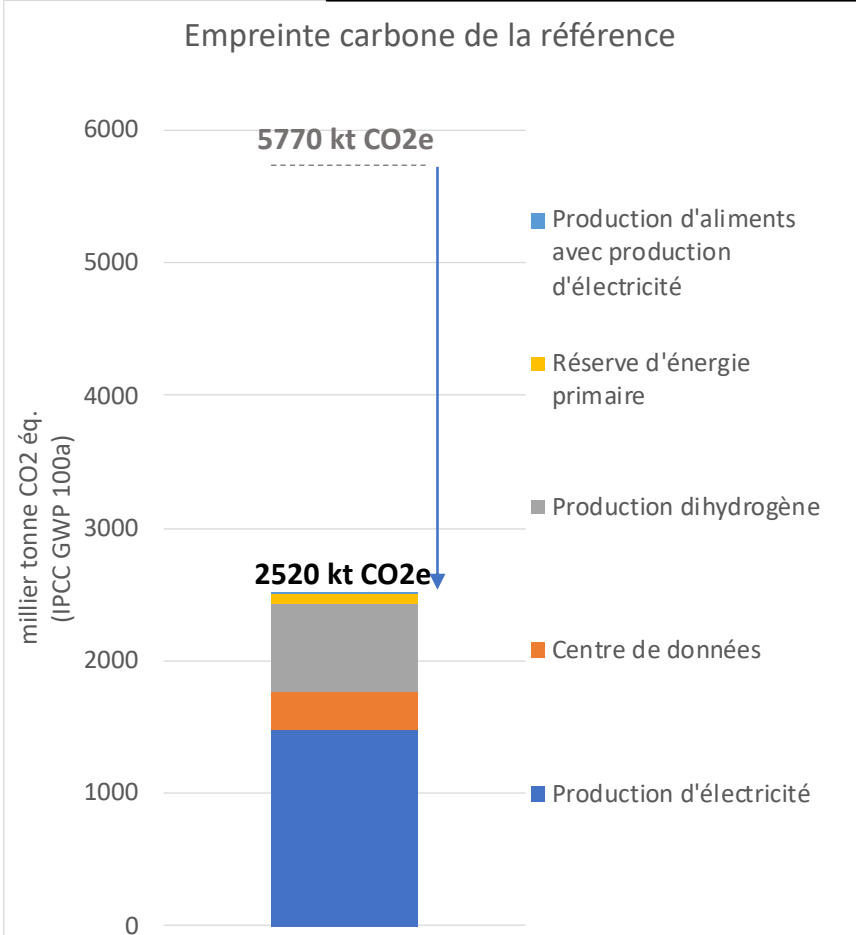
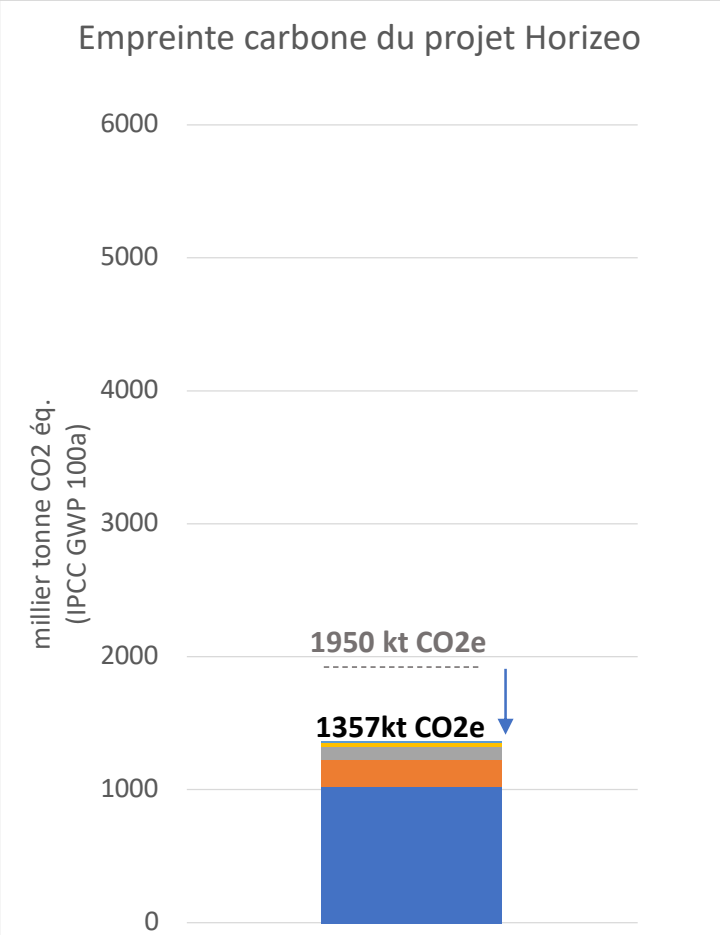
$$\text{Rapport} = \frac{\text{Empreinte carbone Horizeo}}{\text{Empreinte carbone référence}}$$

Mix électrique français 2019
Base de données Ecoinvent
74 à 86* gCO2éq. / kWh
Rapport = 2,9

↓
Mix électrique français 2019
Base Carbone, ADEME
46 gCO2éq. / kWh**
Rapport = 2,4

↓
Mix électrique français 2030
Base Carbone, ADEME
29 gCO2éq. / kWh
Rapport = 1,9

Analyse de l'influence **directe** du mix électrique français.
Influence **indirecte** non prise en compte, pourrait être significative et serait favorable au projet Horizeo.



*dépend de la tension de l'électricité et si l'on considère la production ou la consommation
**la Base Carbone indique 60 gCO2éq. / kWh pour le mix électrique moyen français pour la consommation en 2019, 46 gCO2éq. / kWh correspond au mix moyen pour la production en 2019 (RTE) avec les empreintes Carbone de chaque source d'énergie (Base Carbone).

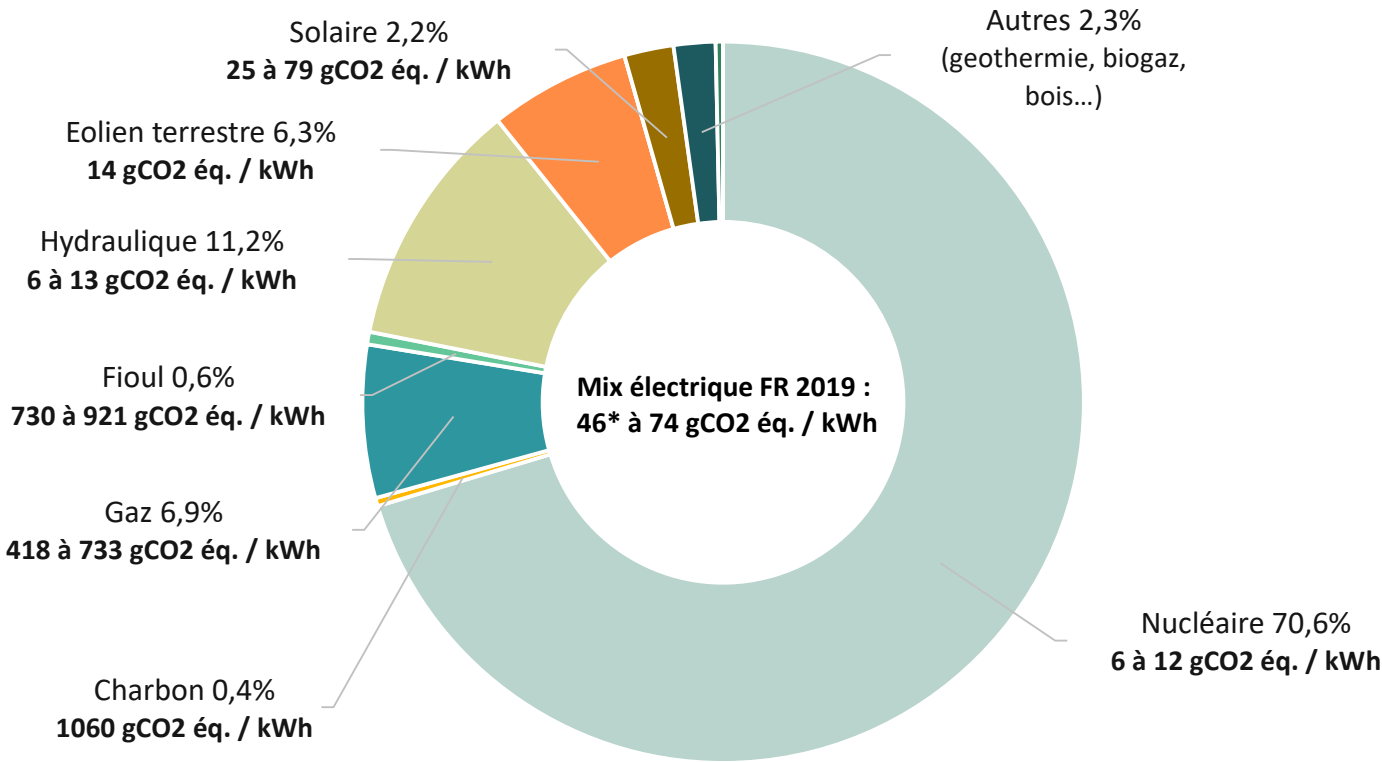
Mix électrique français, 2019

Sources des empreintes Carbone : Ecoinvent 3.6 cut-off (valeur haute) et Base Carbone® (valeur basse, données plus récentes)

Parc photovoltaïque Horizeo
19 g CO2e / kWh

Empreinte Carbone du parc Horizeo plus basse que la moyenne du photovoltaïque actuel en France notamment du fait que :

- la technologie des modules considérée est existante mais non représentative des parcs français (taille des cellules permettant un meilleur rendement)
- la durée de vie considérée pour les panneaux est supérieure (37 ans contre 25 ans, durée conforme aux garanties des fabricants)
- l'ensoleillement à Saucats est supérieur que la moyenne française



*la Base Carbone indique 60 gCO2éq. / kWh pour le mix électrique moyen français pour la consommation en 2019, 46 gCO2éq. / kWh correspond au mix moyen pour la production en 2019 (RTE) avec les empreintes Carbone de chaque source d'énergie (Base Carbone).

Empreinte carbone du projet HORIZEO - INRAE

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



1. Approche conduite

2. Modèle et données mobilisés

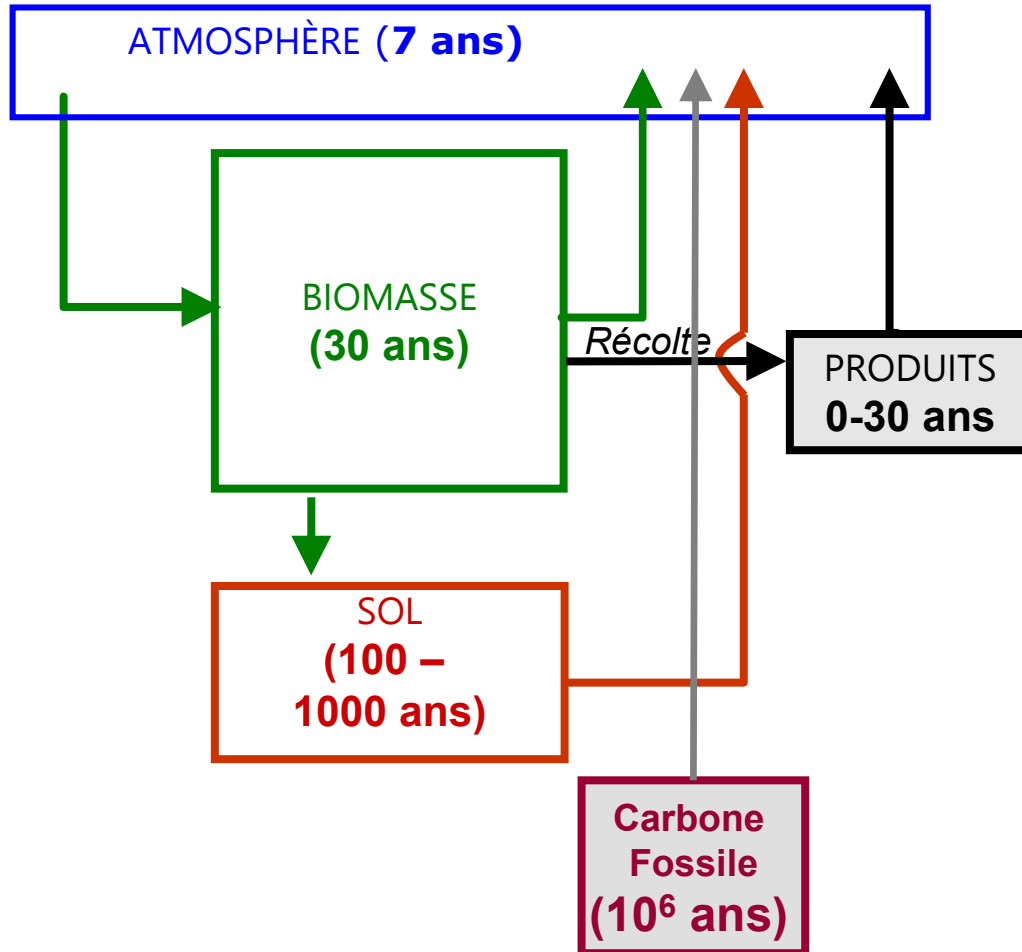
3. Résultats : bilan de carbone du projet HORIZEO

- biomasse
- sol
- émissions fossiles

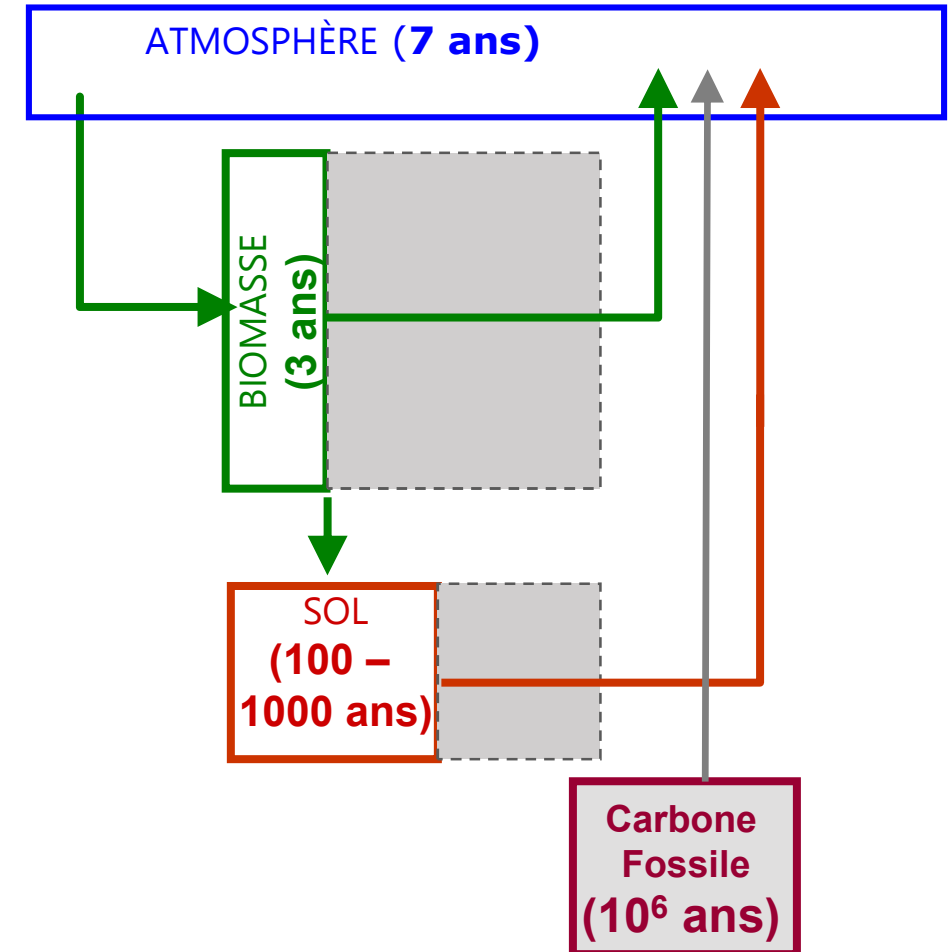
Synthèse

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 aménagés
+ 689 ha conservés en forêts de pins
- Prise en compte des produits récoltés (troncs, branches, souches)
- Estimation des émissions fossiles sylvicoles

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

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

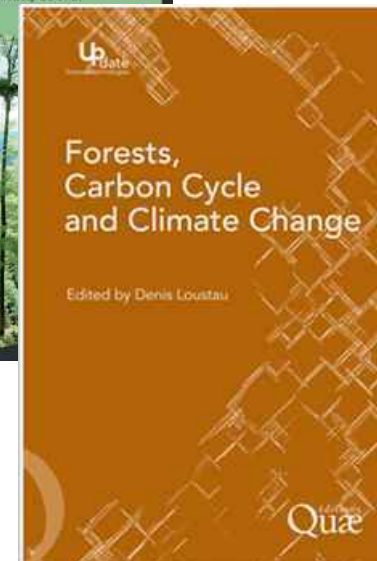
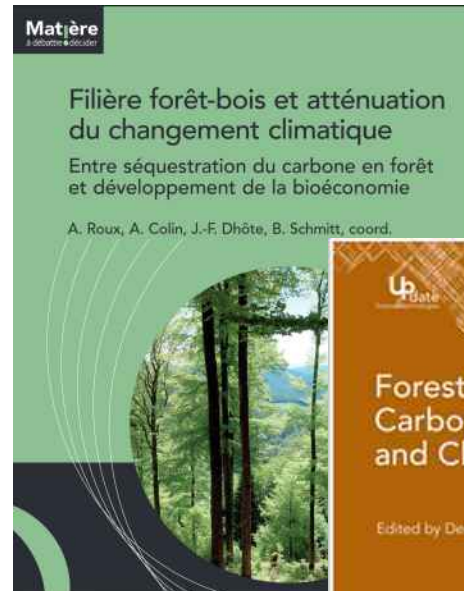
2. Le Modèle GO+ (INRAE).

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)



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 BOSC,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

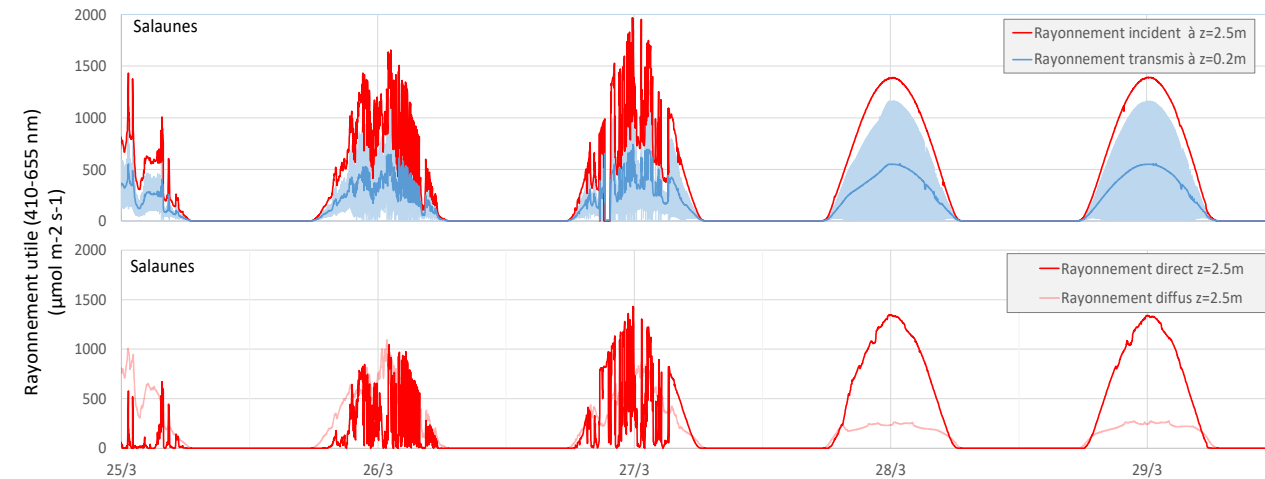
David L. Achat^{a, b, c, d}, Simon Martel^{a, b, c}, Delphine Picard^{a, b}, Christophe Moisy^{a, b}, Laurent Augusto^{a, b}, Mark R. Bakker^{a, b}, Denis Loustau^{a, b}



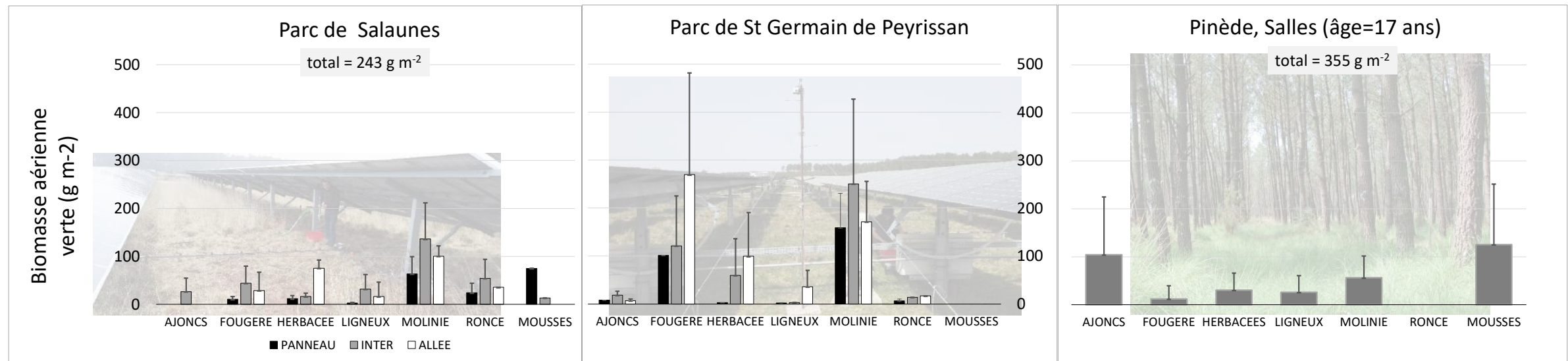
2. Calibration du modèle: mesures in situ dans 3 parcs

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.

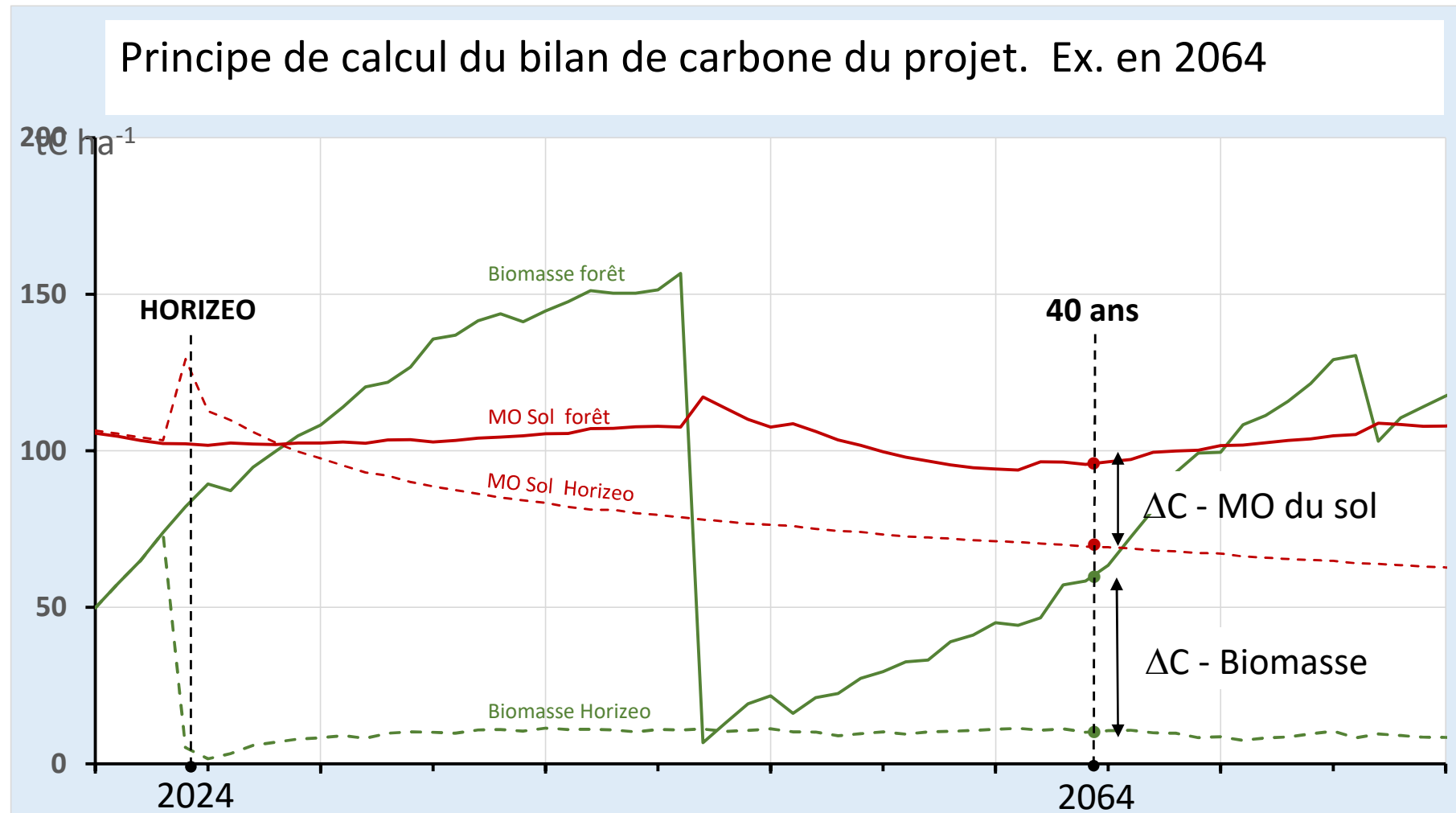


(Fauche juin - juillet)

(Fauche Août)

(Débroussaillage 5ans)

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



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:

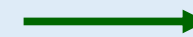
- Fauche annuelle tardive, laissée sur place

Deux scénarios climatiques:

- Tendanciel optimiste (RCP4.5).

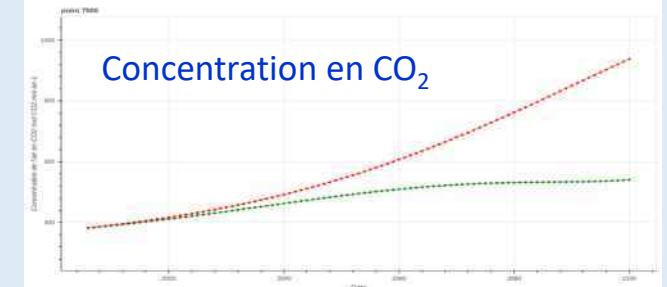
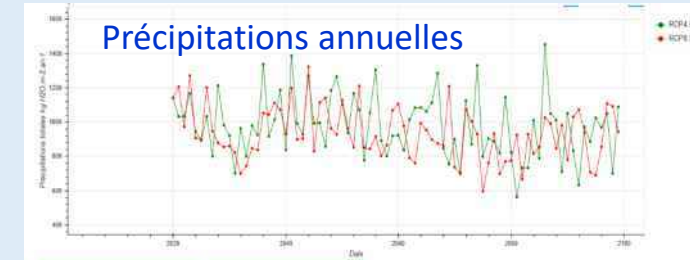
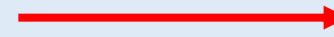
En 2100:

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



- Pessimiste (RCP8.5)

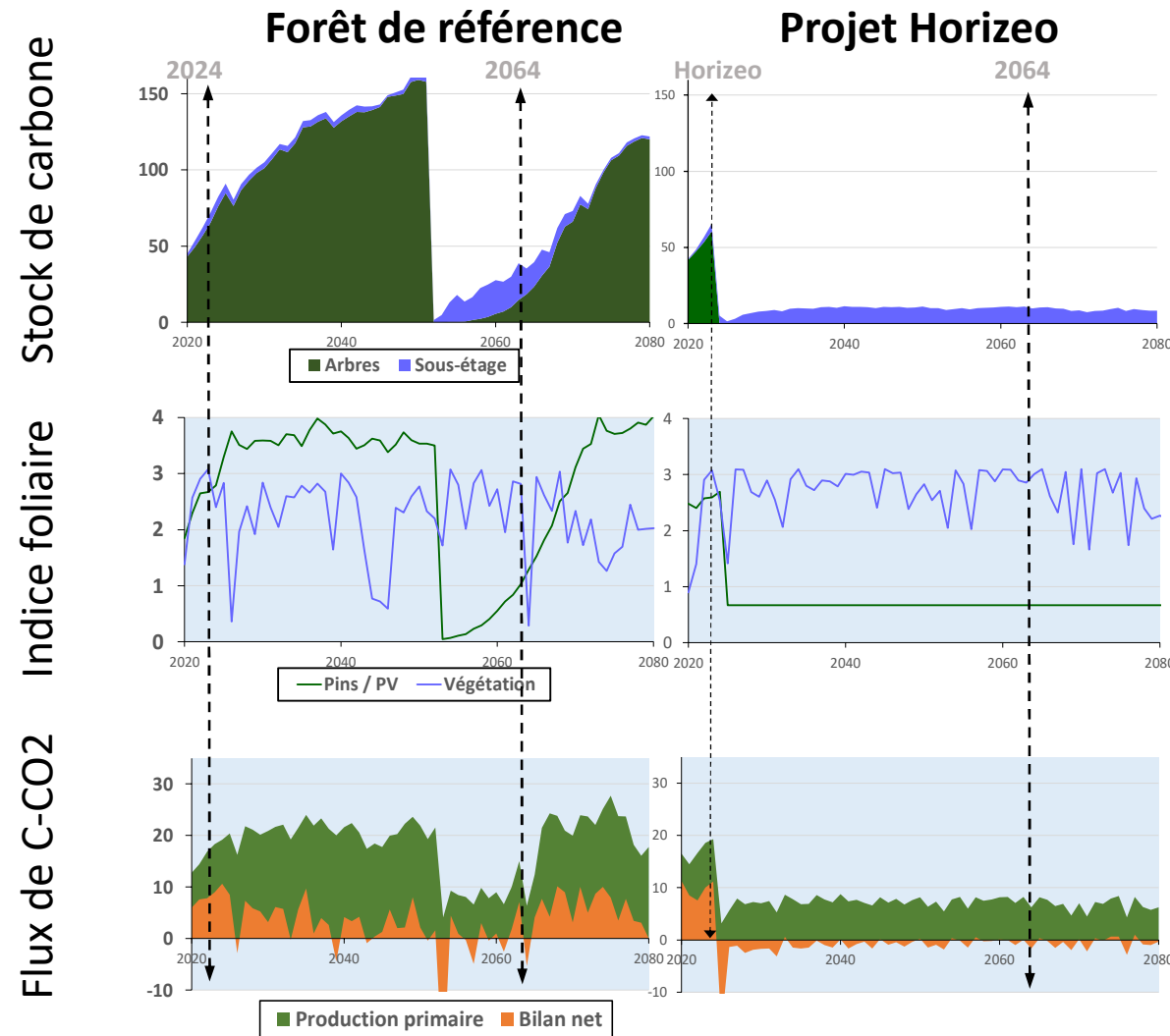
- + 4.2°C
- 83 mm an⁻¹
- + 530 ppm CO₂
- + 60% demande évaporative



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



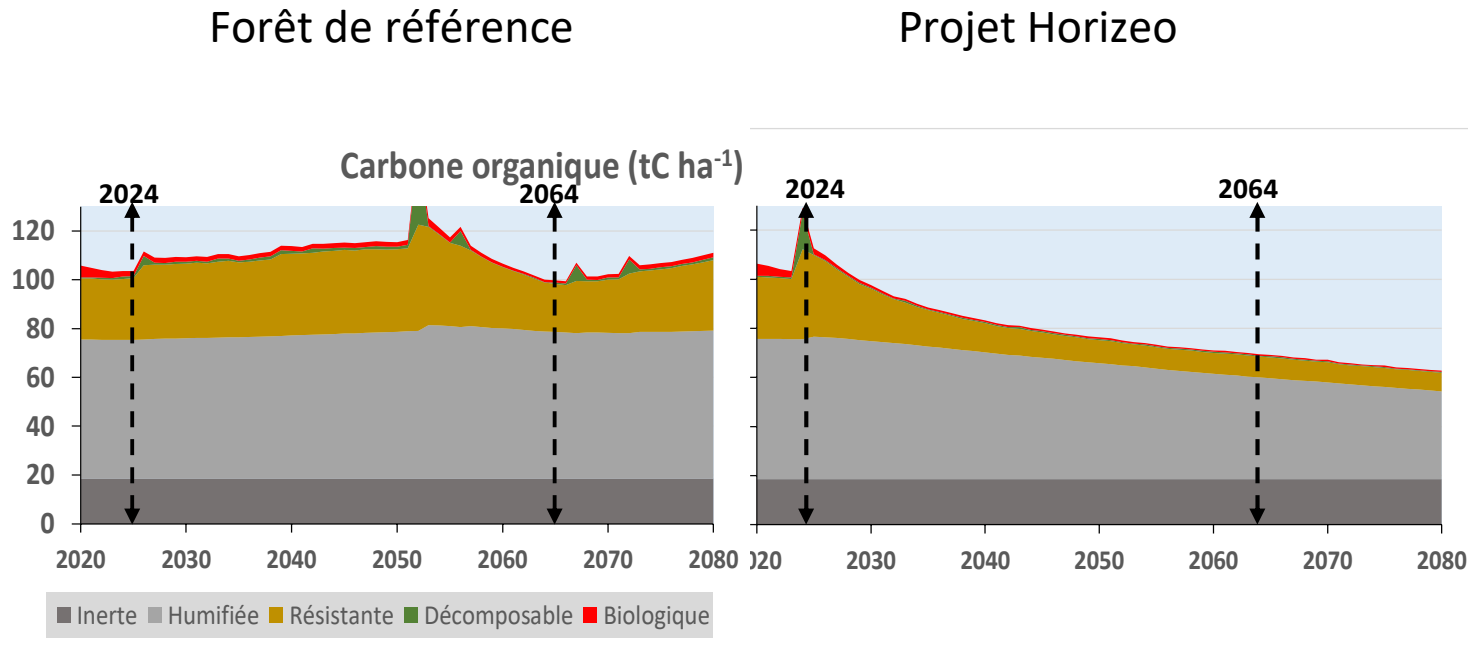
Évolution de 2020 à 2100 du stock de carbone de la biomasse, de l'indice foliaire et des flux de C-CO₂ sous forêt et sous parc photovoltaïque.

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

NB. Les projections présentées ne tiennent pas compte du devenir du site à l'issue du démantèlement.

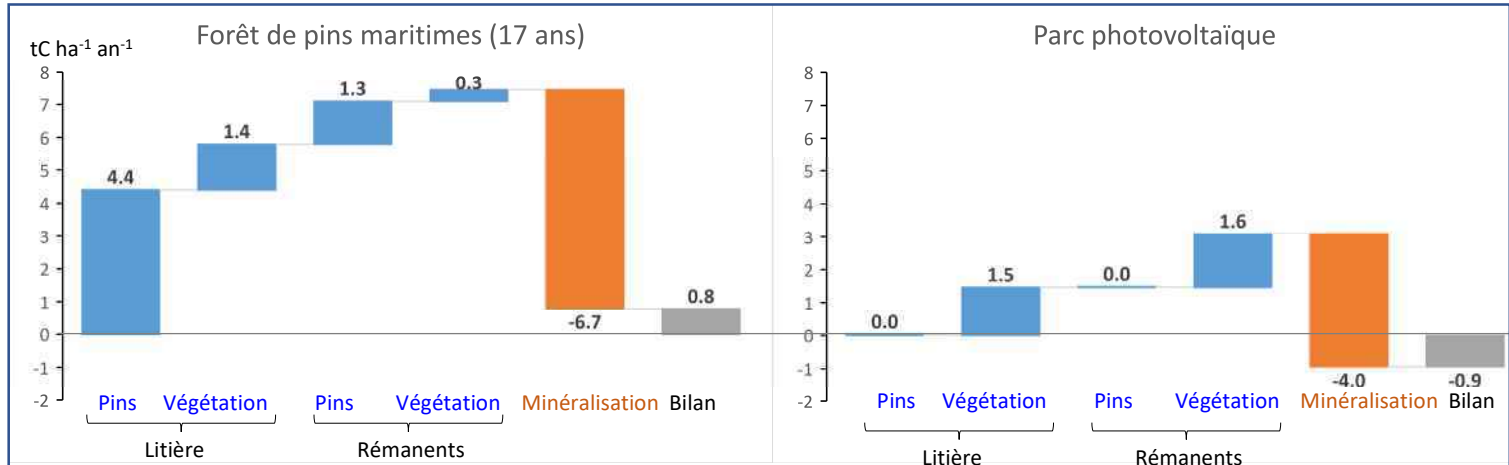
3. Résultats : 2. Impact sur la matière organique (MO) du sol



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

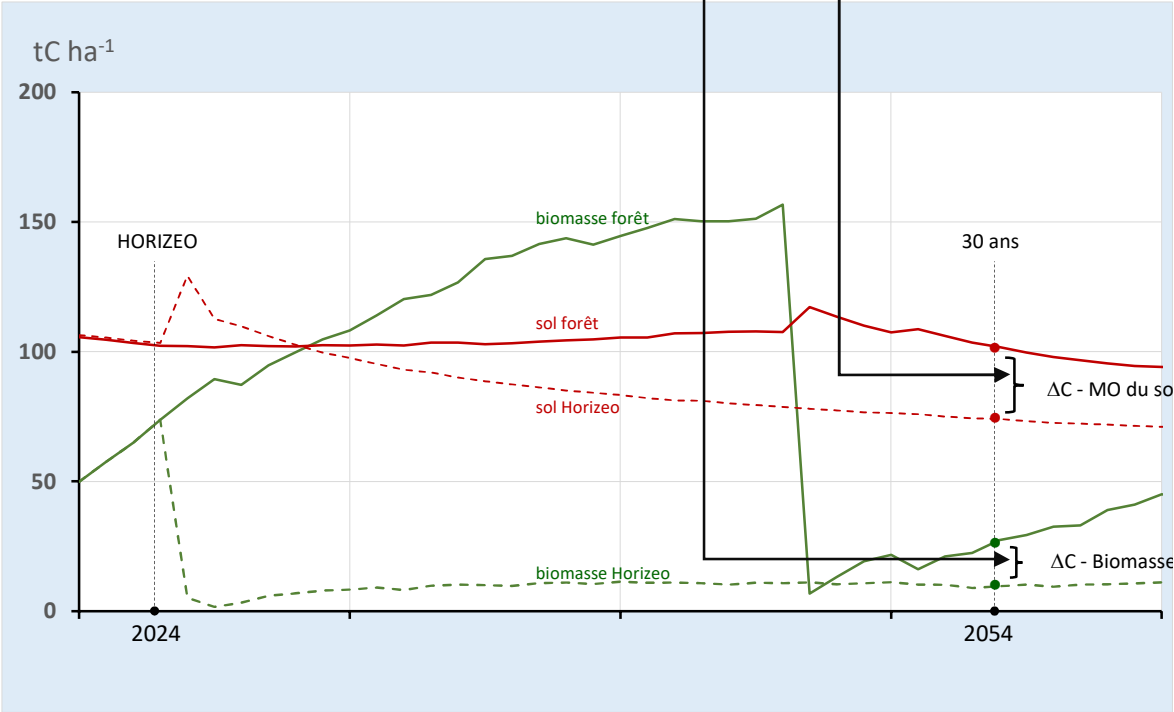
→ Intensif: 2 (installation) + 3 × 2 (éclaircies) + 6 (coupe) + 2 (transport 35 km)
= **Total 16 kg CO₂e/m³** bois récolté (1.7 % du C récolté)

→ 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.

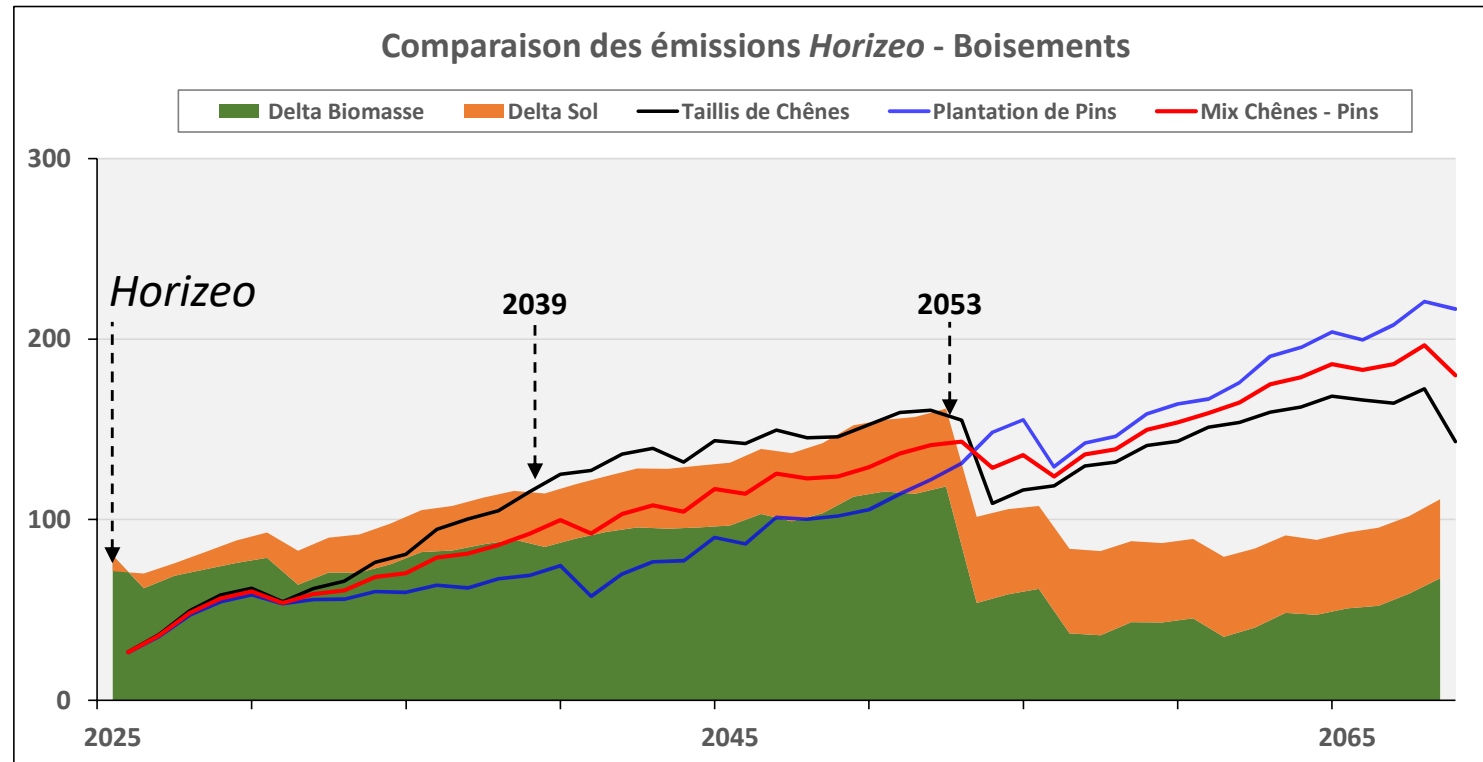
Sylviculture intensive Scénario RCP4.5.				Biomasse	Sol	Total	Production	Fuel
Δstocks en tC						B+S	récoltée	
2024-2054	(1)	Forêt		- 43 141	- 10 150	- 53 291	127 611	- 2 217
	(2)	Projet	PV	- 68 175	- 51 716	- 119 891	30 542	- 755
			Pin	- 10 057	- 3 452	- 13 509	42 073	- 731
	Différence (1)-(2)			35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

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.

04

Empreinte carbone du projet – synthèse des travaux

Synthèse des travaux de Gingko 21 et de l'INRAE

(le carbone lié aux boisements compensateurs n'est pas pris en compte)

