



**HAL**  
open science

# Captage de carbone par les plantes entières et durée du stockage

Arnaud Muller-Feuga

► **To cite this version:**

Arnaud Muller-Feuga. Captage de carbone par les plantes entières et durée du stockage. 2024. ⟨hal-04671622v3⟩

**HAL Id: hal-04671622**

**<https://hal.science/hal-04671622v3>**

Preprint submitted on 7 Oct 2024

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.



Distributed under a Creative Commons CC BY 4.0 - Attribution - International License

# La culture des plantes : une réponse forte et durable aux émissions de CO<sub>2</sub>

Arnaud Muller-Feuga

34670 Baillargues, le 07-10-2024

## Résumé :

D'après les quantités de produits végétaux et animaux mis sur le marché mondial en 2022, l'agriculture et la sylviculture ont capté  $20,1 \pm 1,5$  milliards de tonnes (Gt ou Pg) de CO<sub>2</sub>, avec une durée moyenne pondérée du stockage correspondant de  $10,9 \pm 3,3$  années. Ces chiffres sont complétés ici par ceux des parties non récoltées aériennes et souterraines de ces plantes qui sont laissées sur place et forment le pool de carbone organique du sol. Cela porte le captage par les plantes entières cultivées à  $41,0 \pm 0,6$  GtCO<sub>2</sub>, et la durée de stockage moyenne pondérée à  $26,3 \pm 2,0$  ans en 2022. Il s'agissait de la plus importante contribution planétaire à la réduction du CO<sub>2</sub> atmosphérique par l'ampleur et la durée, qui compensait largement les émissions anthropiques mondiales, ce qui annule leur influence sur l'évolution climatique. L'enrichissement de l'atmosphère en CO<sub>2</sub> pourrait probablement provenir de l'océan qui serait une source et non un puits. Des approches complémentaires, libérées des préjugés doctrinaux, devraient permettre de préciser davantage les compensations des émissions de CO<sub>2</sub> par les plantes et leurs conséquences environnementales.

## Abstract:

According to the quantities of plant and animal products placed on the world market in 2022, agriculture and forestry captured  $20.1 \pm 1.5$  billion tonnes (Gt or Pg) of CO<sub>2</sub>, with a weighted mean duration of the corresponding storage of  $10.9 \pm 3.3$  years. These figures are supplemented here by that of the unharvested above-ground and below-ground parts of plants that are left in place and increase the soil organic carbon pool. This brings the capture by cultivated whole plants to  $41.0 \pm 0.6$  GtCO<sub>2</sub>, and the storage duration weighted mean to  $26.3 \pm 2.0$  years in 2022. This was the largest global contribution to the reduction of atmospheric CO<sub>2</sub> by amplitude and duration, which bio remediated totally the global anthropogenic emissions, cancelling their influence on climate. The enrichment of the

atmosphere with CO<sub>2</sub> comes probably from the ocean which could be a source and not a sink. Complementary approaches, freed from doctrinal preconceptions, should make it possible to clarify further the compensations of CO<sub>2</sub> emissions by plants and their environmental consequences.

**Mots clés :** carbone, captage, stockage, plantes entières, océan.

## Introduction

Acceptant le postulat selon lequel les émissions de gaz carbonique exerceraient une influence néfaste sur le climat de la terre, la plupart des gouvernements ont pris des dispositions contraignantes pour les réduire, surtout celles résultant de la combustion des hydrocarbures fossiles. Pour cela, ils ont notamment instauré et promu des dispositifs de captage, utilisation et stockage de carbone (CSC ou CUSC), essentiellement par enfouissement géologique.

Dans ce qui suit, nous examinons la contribution de l'agriculture et de la sylviculture mondiales. Pour cela, nous distinguons entre stock et flux, seul le second, qui est la variation du premier, donnant lieu à des échanges de carbone sous forme de CO<sub>2</sub>. Le Tableau 1 liste les principaux stocks et flux planétaires de carbone tels que rapportés dans la littérature.

Stock	Stocks de carbone GtC	Flux de carbone GtCO <sub>2</sub> /an	Références Stock - Flux
Roches calcaires	140 000 000	+3,2 10 <sup>-5</sup>	Sorokhtin et al., 2007 - Vinos, 2022
Océan inorganique	39 000	+10,3	Friedlingstein et al., 2023 - ibid.
Sols et pergélisols	3 100	0,0	Canadell et al., 2021 - ibid.
Hydrocarbures	905	-40,0	Canadell et al., 2021 - ibid.
Atmosphère	885	+18,7	Canadell et al., 2021 - ibid.
Océan organique	703	0,0	Friedlingstein et al., 2023 - ibid.
Végétation continentale	450	+12,5	Canadell et al., 2021 - ibid.
CSC géologique	0,07	+0,7	Global CCS Institute, 2023- ibid.
Total	140 045 000	+2,2	

Tableau 1 : Principaux stocks (GtC ou PgC) et flux de carbone (GtCO<sub>2</sub>) planétaires moyennés sur la période 2010-2022 et références. Le signe + du flux indique une augmentation et – une diminution du stock.

Les roches calcaires sont le principal réservoir de carbone de la planète. Leur formation et celle des hydrocarbures se sont faites au détriment de l'atmosphère qui est passée de 7 000 à 420 ppmv en 600 millions d'années (Godwin, 2022). Cet appauvrissement est inquiétant car

la photosynthèse ne fonctionne plus aux faibles concentrations (Dippers et al., 1995). C'est pourquoi Muller-Feuga (2024) préconisait de préférer le CSC par les plantes au CSC géologique, qui est irréversible. Dans cet article, le constat était fait de la sous-estimation du captage et du stockage du carbone par les plantes par la plupart des articles cités par le Groupement Intergouvernemental des Experts du Climat (GIEC). Le Tableau 1 en est l'illustration puisque la végétation continentale n'est créditée que de  $12,5 \pm 3,3$  GtCO<sub>2</sub>/an de biofixation atmosphérique, alors l'auteur précité l'avait estimée à 21 GtCO<sub>2</sub>/an sur la base des seuls produits mis sur le marché.

L'un des arguments avancés pour justifier cette sous-estimation est le retour rapide du carbone à l'atmosphère dû à une faible durée du stockage du carbone des produits de l'agriculture. En considérant cette fois la contribution des parties non commercialisées des plantes cultivées laissées sur place, nous avons tenté l'approche de leur captage et leur durée de stockage dans ce qui suit. Seule l'année 2022 est examinée, la perturbation occasionnée par la pandémie de COVID 19 s'étant résorbée.

## Matériel et méthode

La stœchiométrie de la réaction de polymérisation - minéralisation du carbone par la photosynthèse et la respiration prévoit que la production d'une tonne de biomasse végétale sèche (ms), constituée essentiellement d'hexoses, nécessite 0,40 tonne de carbone (C/ms = 0,40) provenant de 1,47 tonnes de CO<sub>2</sub> (CO<sub>2</sub>/ms = 1,47) captée dans l'atmosphère. Le ratio C/ms est pris égal à 0,25 pour les produits animaux, 0,50 pour le bois, 0,52 pour l'éthanol, et 0,96 pour l'huile de tournesol. Pour calculer la quantité de CO<sub>2</sub> mobilisée par une biomasse, il faut retirer l'eau qui entre pour 0 à 90% du poids frais, puis appliquer le facteur C/ms au poids anhydre pour obtenir le carbone incorporé, ou le facteur CO<sub>2</sub>/ms pour obtenir le CO<sub>2</sub> capté dans l'atmosphère.

Les terres émergées sont cultivées pour couvrir les besoins de l'humanité et de son cheptel en plantes alimentaires (céréales, légumes, fruits, ...), textiles (coton, lin, chanvre, ...), d'agrément (tabac, raisin, fleurs, ...), de chauffage et de construction. Nous considérons ici les productions de l'agriculture et de la sylviculture qui sont renseignées de façon complète et précise par les statistiques de la FAO au niveau mondial. Ces produits végétaux réalisent un captage et un stockage du carbone atmosphérique modulé par l'énergie solaire. Le carbone y

est stocké pendant les quelques mois à quelques siècles qui séparent la récolte de la minéralisation par digestion ou combustion marquant le retour du carbone à l'atmosphère sous forme de CO<sub>2</sub>.

La période de stockage du carbone dans les produits agricoles et forestiers se divise entre la période de captage par photosynthèse (CP) et la période de restitution par minéralisation (RM). La première période (CP), qui sépare le début de la croissance des plantes, par semis, plantation ou récolte précédente (n-1), et la récolte (n), constitue progressivement le pool de carbone par captage photosynthétique du CO<sub>2</sub> de l'atmosphère. Cette période dure entre quelques mois pour les plantes annuelles et quelques décennies pour les arbres. Comme la croissance des fruits et légumes présente généralement une forme en S (par exemple Tijero et al., 2021), la quantité de carbone captée et stockée est supposée répartie dans le temps selon une loi de distribution normale croissante.

La seconde période (RM) sépare la récolte de la minéralisation par respiration ou combustion avec restitution du carbone à l'atmosphère sous forme de CO<sub>2</sub>. Pendant cette période, la matière organique est conservée sur étagère, en vrac, ou dans le sol. Cette période varie entre quelques jours pour les fruits et légumes périssables et quelques siècles pour les bois de charpente et les sols. La quantité de carbone déstockée est supposée distribuée dans le temps selon une loi de répartition normale décroissante.

Un stockage intermédiaire en trémie, en silo ou en chambre réfrigérée, pendant lequel le produit est transformé et conditionné, précède parfois la mise sur le marché. Ce stockage intermédiaire est le plus court possible pour ne pas nuire à la rentabilité économique de l'exploitation et nous n'en tiendrons pas compte. Les quantités de carbone mobilisées dans l'accroissement des populations animales sont également approchées dans ce qui suit ainsi que leur durée de stockage.

Les lois de répartition normales étant centrées, les durées de stockage du carbone (DSC) moyennes et médianes sont égales à la moitié de la période maximale de croissance végétale (CP/2) augmentée de la moitié de la période maximale de consommation - minéralisation (RM/2) selon la formule (1)

$$DSC = (CP + RM) / 2 \quad (1)$$

Les équations de distribution normale cumulative de variation dans le temps du stock de carbone  $S(t)$  sont :

$$S(t) = S_n/2 * (1 \pm \text{erf}((t-n+d/2)/\sigma/\sqrt{2})) \quad (2)$$

où

- $t$  est le temps en année,
- $n$  est l'année de récolte,
- $S_n$  est le stock de carbone à l'année  $n$ ,
- $\text{erf}$  est la fonction d'erreur de la loi normale centrée,
- $d$  est la durée de la période considérée (moyenne),
- $\sigma$  est la cambrure de la courbe (écart-type).

Si  $t \leq n$ ,  $d$  est la période de captage CP et la fonction  $\text{erf}$  est ajoutée. Si  $t > n$ ,  $d$  est la période de restitution RM et la fonction  $\text{erf}$  est retranchée. La Figure 1 illustre les variations des fonctions  $S(t)$  dans un cas typique selon les équations (2).

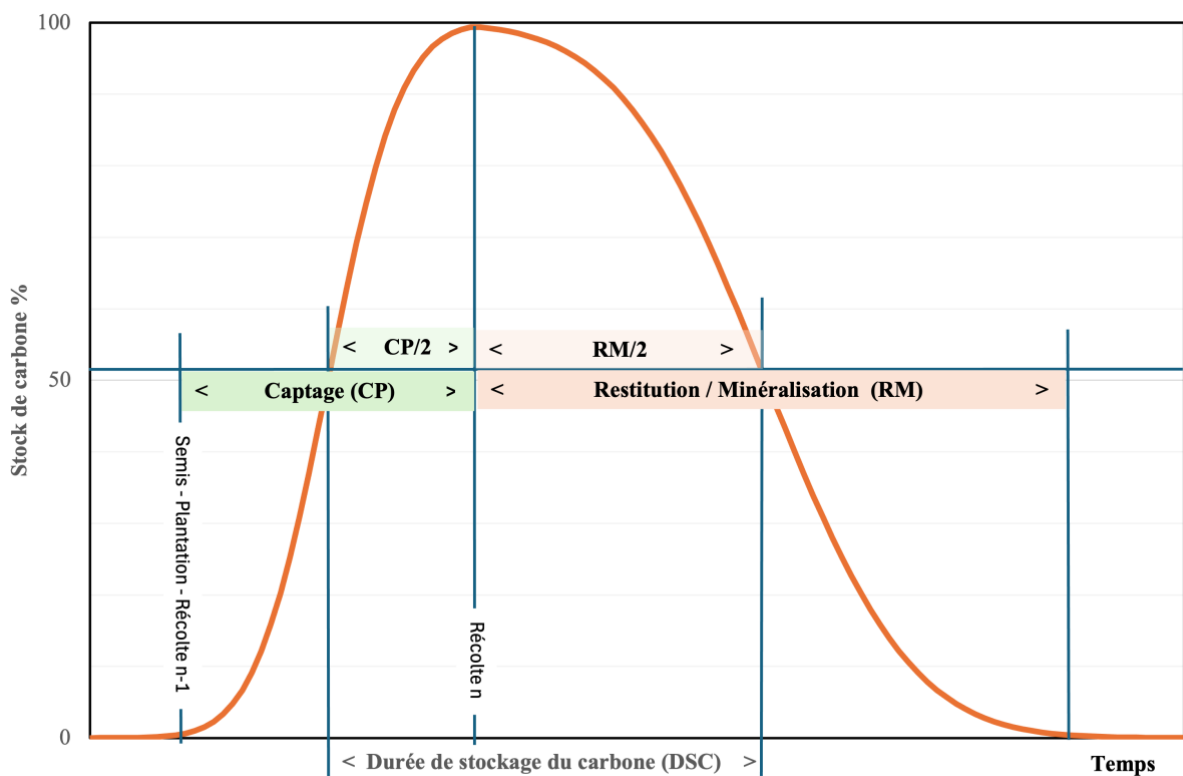


Figure 1 : Variation théorique du stock de carbone exprimé en % pendant le captage par photosynthèse (CP) et la restitution par minéralisation (RM), et durée de stockage du carbone (DSC).

Pour calculer les quantités de CO<sub>2</sub> stockées et la durée de stockage, des hypothèses sont faites concernant les teneurs en eau, les teneurs en protéines, le rapport C/ms, les durées des périodes CP et RM, sur la base des données les plus pertinentes de la littérature. Les poids anhydres de chaque biomasse sont déterminés en appliquant une teneur en eau au poids frais fourni par les statistiques. Les durées CP et RM sont affectées à chaque biomasse, puis leurs moyennes pondérées par les poids anhydres à chaque groupe de biomasses. La dispersion des résultats est exprimée par leur écart-type. Cinq groupes de biomasses sont distingués dans un premier temps, puis trois dans un deuxième temps. Dans chaque groupe de biomasses, notre approche distingue les produits commerciaux, les parties aériennes et les parties souterraines dont la somme constitue les plantes entières.

## Résultats

### Produits végétaux de l'agriculture

Nous utilisons les statistiques de la FAO à la rubrique « Productions », puis « Cultures et produits animaux » qui précisent les quantités de produits végétaux commercialisés par l'agriculture mondiale en 2022. Afin de déterminer le captage de carbone de ces produits végétaux, les poids anhydres (ms) sont obtenus en multipliant le poids frais par 1 moins la teneur en eau ( $ms = \text{poids frais} \cdot (1 - te)$ ). Ces teneurs en eau  $te$  sont comprises entre moins de 10% pour les graines et fruits secs et plus de 90% pour les fruits et légumes frais.

La consommation des produits alimentaires s'échelonne depuis l'achat sur le marché jusqu'à la date limite de consommation qui est en général bien renseignée et prend en compte le stockage par réfrigération et congélation qui l'allongent sensiblement. S'agissant de la plupart des plantes, CP est de l'ordre de l'année tandis que RM varie avec la teneur en eau des produits entre quelques mois et quelques décennies. Certaines graines conservent leur pouvoir germinatif plusieurs siècles. L'annexe 1 montre les productions mondiales des 160 produits de l'agriculture répertoriés par la FAO. La DSC moyenne pondérée par les productions anhydres de tous les produits végétaux de l'agriculture dans le monde en 2022 s'établit à  $9,1 \pm 0,3$  ans, conformément à la formule (1).

## Produits de l'élevage

Les quantités de viandes, laits et œufs consommables par l'homme exprimées en tonnes sont décrites dans les statistiques « Production – Quantité » et « Élevage primaire » de la FAO. Ces produits sont principalement destinés à compléter l'alimentation humaine par des protéines de qualité et un ensemble de micro-nutriments et sels minéraux. Ils résultent de la conversion par les animaux, essentiellement ruminants et monogastriques, de végétaux issus des prairies, feuillages et cultures.

D'après Mottet et al. (2017), le bétail mondial consommait 6 Gt/an de fourrages anhydres. Le taux de conversion alimentaire donnant le poids de fourrage anhydre par poids de protéine animale serait de 80 toutes espèces confondues, selon ces auteurs.

Une partie des fourrages est incluse dans la section précédente des produits végétaux de l'agriculture. Toujours d'après Mottet et al. (2017), 14% du tonnage consommé par le bétail mondial est consommable par les humains. Bien qu'appliqué aux productions de 2015, nous avons retenu ce chiffre pour 2022 en réduisant d'autant les fourrages anhydres pour ne pas compter deux fois cette partie consommable par l'homme.

L'annexe 2 montre les 48 produits de l'élevage mondial répertoriés par la FAO. Les taux de protéines utilisés varient entre 3,2% pour les laits et 32% pour les produits carnés. Les fourrages anhydres sont calculés par application du taux de conversion de Mottet et al. (2017). Les fourrages anhydres des produits non alimentaires ou sans protéine tels que les graisses, peaux, cires, miels sont calculés par application du taux de conversion (poids sec de fourrage/poids frais de produit d'élevage) obtenu avec les produits protéinés, soit 4,2.

Les fourrages sont produits et stockés pendant 0,8 à 3 ans pour attendre la maturité et passer les périodes improductives. La période RM des produits de l'élevage dure entre 40 jours (œufs) et 100 ans (cire d'abeille). La DSC moyenne pondérée par les poids anhydres des fourrages des élevages mondiaux s'établit à  $1,2 \pm 0,1$  an, conformément à la formule (1) en 2022.

## Produits de la sylviculture

Les statistiques des quantités de bois produites dans le monde sont disponibles à la section « Forêts » des « Données » de la FAO. Ces « Production – Quantité » de bois de chauffage,

grumes de sciage, bois de trituration et bois industriels sont exprimées en m<sup>3</sup> à convertir en tonnes anhydres par application d'une densité variant entre 0,49 à 0,70 selon la nature du bois.

L'annexe 3 montre les 8 productions mondiales de la sylviculture en 2022 et les durées des CP et RM. Seules les coupes d'arbres sur pied ont été considérées à l'exclusion des produits élaborés à l'aide des bois de ces coupes pour éviter de les compter deux fois. La période de croissance végétale (CP) est comprise entre 25 et 50 ans. Celle de restitution – minéralisation (RM) varie entre 2 ans pour le bois de chauffage et 3 siècles pour les bois de construction. La DSC moyenne pondérée par les poids anhydres des produits de la sylviculture mondiale calculée conformément à la formule (1) s'établit à 31,0±2,7 ans en 2022.

### Autres captages

L'annexe 4 montre les produits de l'aquaculture et de la pêche mondiales tels que fournis pour 2021 par les données FishStatJ de la FAO. Ces productions sont un ordre de 10 inférieures aux précédentes. Leur DSC moyenne pondérée calculée conformément à la formule (1) s'établit à 1,6±1,0 ans.

Une partie du carbone des produits végétaux ne retourne pas à l'atmosphère. Elle reste constitutive de la biomasse animale qui s'en nourrit et qui entre dans l'accroissement pondéral du cheptel et de l'humanité décrits dans l'annexe 5. La DSC moyenne pondérée est de 9,5±0,7 ans.

## Discussion

### Produits commerciaux

Le Tableau 2 rassemble les éléments de calcul décrits dans les annexes 1 à 5. Si l'on considère uniquement les produits commerciaux, les principales contributions mondiales au captage de carbone atmosphérique par photosynthèse sont l'agriculture (fourrages et cultures) et la sylviculture en 2022.

Captage de carbone	Poids anhydres (ms) Gt/an	CO <sub>2</sub> /ms	Captage GtCO <sub>2</sub> /an	CP/2 an	RM/2 an	DSC an
Fourrages	5,44±0,3	1,47	8,0±0,4	0,8	0,4	1,2±0,1
Cultures	5,17±0,1	1,47	7,6±0,2	0,4	8,6	9,1±0,3
Forêts	2,49±0,4	1,83	4,6±0,7	18,8	12,2	31,0±0,3
Produits aquatiques	0,05±0,02	1,10	0,1±0,03	1,4	0,3	1,6±1,0
Populations animales	0,02±0,01	0,93	0,02±0,01	0,0	9,5	9,5±0,7
Total	13,16±0,2		20,1±0,3	4,0	5,9	9,9±0,2

Tableau 2 : Poids anhydres des produits commerciaux des plantes cultivées de l'agriculture et de la sylviculture, de la pêche et de l'aquaculture (FAO, n.d.), et mobilisés par l'accroissement des populations animales, rapport CO<sub>2</sub>/ms, captages de CO<sub>2</sub> mondiaux, et durées moyennes pondérées par les poids anhydres de stockage de carbone (DSC) en 2022.

Les durées de stockage (DSC) des produits commerciaux résultent de l'analyse des statistiques de la FAO affectées de durées CP et RM comprises entre quelques jours pour les légumes frais et 300 ans pour les bois de charpente. La DSC moyenne pondérée par les productions commerciales anhydres s'établissait à 9,9±0,2 années en 2022. Les captages mineurs (annexe 4 et 5) étaient inférieurs à la précision du calcul et ne sont plus considérés dans ce qui suit.

### Plantes entières

Les chiffres du Tableau 2 ne tiennent pas compte des biomasses végétales non commercialisées telles que les feuilles et tiges pour la partie aérienne, et les racines et exsudats pour la partie enterrée. Ces parties aériennes et enterrées non commercialisées restent le plus souvent sur place et enrichissent le sol en carbone organique.

Contrairement aux parties commerciales, les parties aériennes et souterraines des cultures ne figurent pas dans les statistiques, n'ayant aucune valeur commerciale. Elles font l'objet d'évaluation dans ce qui suit, notamment à l'aide de l'indice de récolte IR qui est le rapport des biomasses de la partie commerciale récoltée sur la partie aérienne de la plante entière. Cet indice est en moyenne de 0,42 (Hay, 1995) pour les trois principales cultures (maïs, blé, riz) qui fournissent à elles seules la moitié de la production agricole mondiale (voir Annexe 1). Les 157 autres cultures répertoriées par la FAO présentent des IR qui varient avec le cultivar et les conditions climato-édaphiques dans des proportions telles qu'il est difficile de dégager une moyenne. Cette autre moitié des productions mondiales mériterait un examen approfondi espèce par espèce. Toutefois, si l'on suppose que le même indice IR moyen est applicable à cette autre moitié, le captage total des parties aériennes des cultures mondiales serait dans ce cas de 12,1±0,3 GtCO<sub>2</sub>/an (Tableau 3). Pour les produits forestiers, nous avons pris un IR moyen de 0,80.

Les parties souterraines sont plus difficiles à évaluer étant invisibles et rarement quantifiées. D'après Blume et al., (2015), le système racinaire représente 10 à 20 % de la biomasse totale

d'un arbre, 10 à 50 % de la biomasse des plantes cultivées et 50 à 80 % des plantes des prairies. Les parties aériennes des fourrages sont comptées parmi les produits commerciaux. Le retour au sol sous forme d'excréments est négligé. Dans ces conditions, le Tableau 3 montre la répartition du captage et du stockage de CO<sub>2</sub> entre les parties non commerciales des plantes terrestres cultivées, et la somme des parties commerciales et non commerciales (plantes entières).

	Parties aériennes GtCO <sub>2</sub> /an	Parties souterraines GtCO <sub>2</sub> /an	Plantes entières GtCO <sub>2</sub> /an
Cultures	11,0±0,6	2,8±1,2	21,3±0,4
Fourrages	0,0	5,2±1,7	13,2±1,2
Forêts	1,2±0,4	0,8±0,3	6,6±0,03
Total	12,1±0,3	8,8±0,7	41,0±0,6

Tableau 3 : Moyennes des captages de CO<sub>2</sub>, pondérées par les productions anhydres de l'agriculture et de la sylviculture mondiales, des parties non commerciales, et des plantes entières en 2022.

D'après ces calculs, avec 41,0±0,6 GtCO<sub>2</sub> le captage par les plantes entières en 2022 est le double de celui des seuls produits commerciaux. Ce chiffre est minorant car ne comprenant pas la part des couverts végétaux non exploités commercialement, dont la contribution reste à préciser. La végétation continentale non exploitée est stable et intervient à la marge dans le captage du carbone atmosphérique. Si les vieilles forêts non exploitées captent encore, elles le font à des niveaux très inférieurs à la plupart des cultures dont le rendement moyen de la FAO pondéré par le poids sec des produits est de 19,5±0,7 tCO<sub>2</sub>/ha/an. Par exemple, la réglementation actuelle sur l'exploitation forestière au Brésil adopte un taux de récupération post-récolte standard de 0,86 m<sup>3</sup>/ha/an (Vidal et al., 2020), qui capte 0,9 tCO<sub>2</sub>/ha/an. On notera ici que, contrairement à une idée répandue, les coupes et les brulis forestiers n'entraînent pas de perte de capacité à stocker et capter le CO<sub>2</sub>. Le stock du sol reste en place tandis que la repousse spontanée ou replantée continue à capter pour assurer la croissance des arbres avant de nouvelles coupes 25 à 35 ans plus tard. Si la forêt est remplacée par des pâturages ou des cultures, l'espace qu'elle libère capte du CO<sub>2</sub> à des niveaux très supérieurs. Le captage auquel nous arrivons représente 3,2 fois le puits continental de Friedlingstein et al. (2022) évalué à 12,8±3,3 GtCO<sub>2</sub>, et 2,1 fois celui de Pan et al. (2024) évalué à 19,8 GtCO<sub>2</sub>/an. Il représente près de quatre fois le puits océanique évalué à 10,3±0,4 GtCO<sub>2</sub>/an par Fay et al.

(2023). Et surtout, il compensait à lui seul les émissions anthropiques totales évaluées à 41,46 GtCO<sub>2</sub> en 2022, dont 37,15 GtCO<sub>2</sub> par combustion énergétique et industrielles d'hydrocarbures fossiles (Ritchie & Roser, 2024 ; données du Global Carbon Budget). La différence entre ces deux derniers chiffres est attribuée aux émissions non fossiles, notamment par combustion de produits végétaux, et par les autres consommations de produits fossiles, pour les engrais notamment. Même en attribuant toutes ces émissions supplémentaires (4,3 GtCO<sub>2</sub>, Land Use Change) aux cultures végétales, son solde net resterait largement positif, avec 36,7 GtCO<sub>2</sub>/an retirés de l'atmosphère.

Notre chiffre est supérieur à ceux cités par le GIEC selon lesquels le puits continental serait compris entre 10 et 20 GtCO<sub>2</sub>/an (Amthor et Baldocchi, 2001; Beer et al., 2010; Ciais et al., 2013; Dusenge et al., 2018; Friedlingstein et al., 2023) et nous essayons de comprendre la raison d'une telle différence. Les chiffres cités par le GIEC sont construits à partir des relevés de terrain décrivant les flux de carbones par unité de surface et de temps, puis étendus aux surfaces mondiales des différents couverts végétaux ainsi caractérisés par des modèles dynamiques. Ces couverts sont les forêts (tropicale, tempérées, boréales), toundras, broussailles méditerranéennes, cultures, savanes et pâturages tropicaux, pâturages tempérés et déserts. Le captage surfacique est compris entre 3,7 (déserts) et 43,1 (forêt tropicale) tCO<sub>2</sub>/ha/an (Saugier et al., 2001). La part des forêts était fortement surévaluée, tandis celle des cultures, créditées que de 10,1 tCO<sub>2</sub>/ha/an, était significativement inférieur au rendement moyen des cultures de la FAO vu plus haut. Le captage des vieilles forêts fait l'objet d'un débat montrant la difficulté de son évaluation (Luyssaert et al., 2008; Gundersen et al., 2021; Luyssaert et al., 2021).

La différence entre notre approche, s'appuyant sur les statistiques de production de la FAO, et celle des auteurs cités par le GIEC, fondée sur des mesures de terrain étendues aux surfaces des couverts, se traduit par un captage quatre fois plus faible. Il semble que cette dernière approche se heurte à des problèmes de représentativité des mesures caractérisant chaque couvert végétal plutôt qu'aux surfaces de ces couverts qui sont définies précisément grâce à la détection satellitaire. Dans notre cas, l'échantillonnage est étendu à toutes les plantes commercialisées, auquel il faudrait ajouter la part des plantes non exploitées si elle est significative.

## Durée de stockage

Le pool de carbone des sols est constitué par les parties aériennes non commercialisées restant sur place et les parties souterraines après récolte. Les DSC de ces nécromasses correspondent au temps moyen de résidence du carbone avant la minéralisation par les organismes décomposeurs, l'érosion et le lessivage. Un cycle annuel de culture bénéficie des stocks de carbone déjà présents dans les sols qui sont en partie consommés. Les stockages additionnels des cycles annuels successifs permettent de stabiliser le pool de carbone vers un équilibre. C'est cet équilibre que nous avons essayé de rendre en choisissant les temps de rétention de la littérature. Pour les forêts, les durées de rétention varient entre 0,9 et 152 ans (Wang et al., 2017). Elles augmentent avec la latitude (x4), et diminuent avec la température (x10) et les précipitations (x4). Les régions tempérées réalisent un compromis entre les hautes et les basses latitudes. Aussi, nous avons retenu (Tableau 4) une durée moyenne de résidence du carbone organique de 75 ans pour les sols des forêts exploitées et de 40 ans (Balesdent et Recous, 1997 ; Pellerin et al., 2019) pour les sols des cultures et prairies. Supposant une répartition normale de la minéralisation dans le temps, ces durées sont divisées par 2, conformément à la formule (1).

	CP/2 an	RM/2 an	DSC plantes entières an
Cultures	0,4±0,6	20,0±0,6	20,4±0,6
Fourrages	0,8±1,0	20,0±1,0	20,8±1,0
Forêts	18,8±4,9	37,5±4,9	56,3±4,9
Moyenne pondérée	3,5±1,6	22,8±2,4	26,3±2,0

Tableau 4 : Durées de stockage du carbone pendant le captage photosynthétique (CP), pendant la restitution par minéralisation (RM), et durée totale de stockage (DSC) pour les plantes entières (moyennes pondérées par les poids anhydres des biomasses).

Comme la durée de captage CP ne peut pas être plus courte pour les plantes entières que pour les produits commerciaux, nous avons pris la même durée que ces derniers dans ce qui suit.

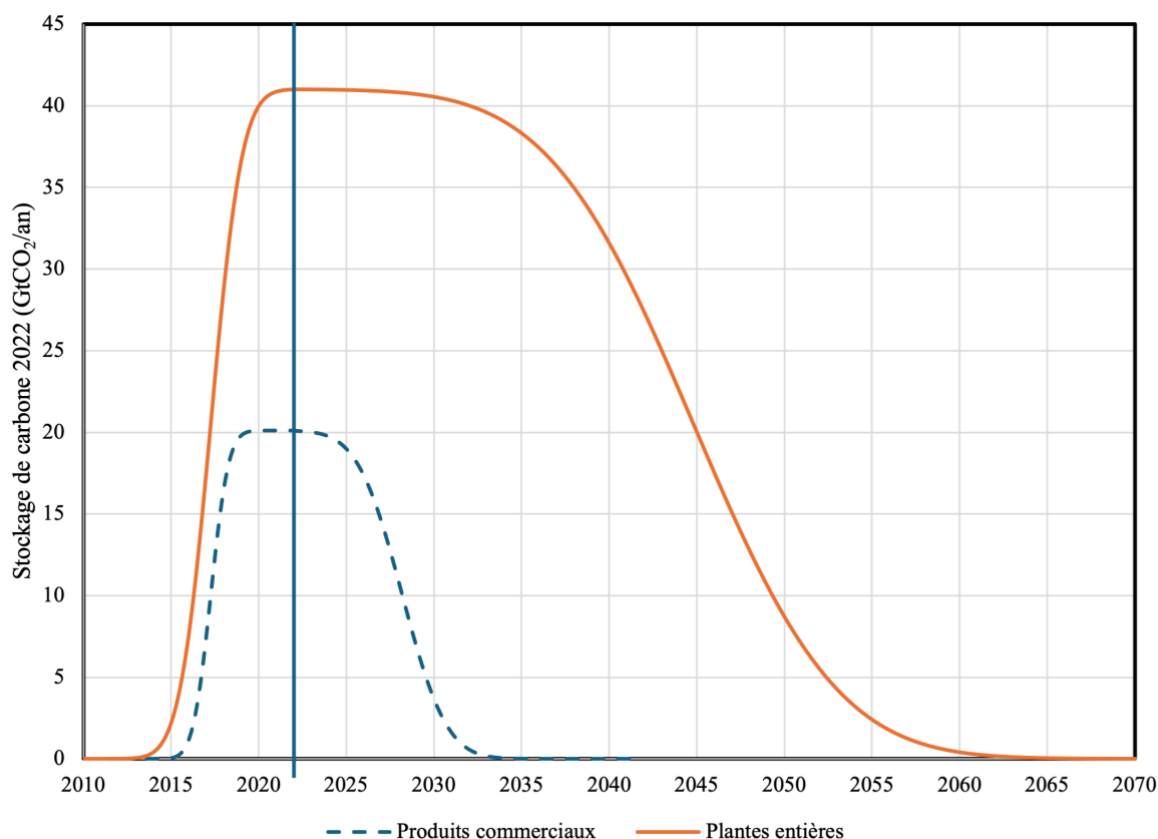


Figure 2 : Variations dans le temps du CO<sub>2</sub> capté puis restitué par les plantes entières cultivées (ligne rouge, trait continu) et de leur produits commerciaux (ligne bleue, trait pointillé) récoltés en 2022 (GtCO<sub>2</sub>/an).

La Figure 2 montre comment se répartissent dans le temps le captage et la restitution du CO<sub>2</sub> atmosphérique par les plantes entières de l'agriculture et de la sylviculture récoltées en 2022 selon les équations (2) et la valeur de leurs arguments décrits dans le Tableau 5.

Argument	Notation	Produits commerciaux		Plantes entières	
		$t \leq n$	$t > n$	$t \leq n$	$t > n$
CO <sub>2</sub> capté (GtCO <sub>2</sub> /an)	$S_n$	20,12	20,12	41,02	41,02
Cambrures	$\sigma$	0,8	2,0	1,4	6,5
CP/2 - RM/2 (an)	$d$	4,73	6,18	4,73	22,80

Tableau 5: Valeurs des arguments des Équations (2) illustrées par la Figure 2 pour l'année de récolte 2022 ( $n=2022$ ).

En supposant que les années qui suivent 2022 lui soient toutes semblables, les captages et stockages successifs de carbone constitueraient un stock de 294 GtC par biofixation de 1 078 GtCO<sub>2</sub> atmosphérique (soit DSC fois le captage plantes entières de la récolte 2022), en plus de celui préexistant, au bout de 26,3 ans (soit DSC années) et qui se maintient à ce niveau par la

suite. C'est de l'ordre de grandeur des stocks de la végétation continentale seuls, sans ceux des sols et pergélisols, de Canadell et al., 2021 (voir Tableau 1). En remontant plus avant dans le siècle dernier, il serait possible de chiffrer les stocks de carbone des plantes entières cultivées qui ont été constitués depuis.

## Conclusion

Nous tentons de préciser ici la contribution des plantes entières cultivées à la biofixation du CO<sub>2</sub> atmosphérique avec une marge d'incertitude portant à la fois sur les durées de rétention et sur les quantités stockées. Lorsque des doutes surgissaient, nous retenons les hypothèses minimisant les deux. Il s'agit d'un exercice délicat en raison de la diversité des facteurs intervenant, teneur en eau et durées de stockage, que nous avons retenus parmi les plus pertinents de la littérature. Sous réserve de la précision et de l'exhaustivité de ces facteurs et des statistiques de la FAO, le captage par les produits végétaux et animaux mis sur le marché représentait  $20,1 \pm 1,5$  GtCO<sub>2</sub> en 2022. La prise en compte des biomasses laissées sur place lors de ces productions double ce captage à  $41,0 \pm 0,6$  GtCO<sub>2</sub>/an, ce qui accroît sensiblement la contribution des plantes cultivées. Ces chiffres nécessitent d'être affinés et complétés par leur évolution dans le temps et dans l'espace, mais décrivent des grandes tendances. Ils révèlent une contribution exceptionnelle de l'agriculture et de la sylviculture qui n'est pas encore prise en compte à sa juste valeur, leur part étant systématiquement minimisée lorsqu'elle n'est pas présentée comme émettrice nette. Ces activités mobilisent le CO<sub>2</sub> atmosphérique à des niveaux qui en font de loin le principal système de captage et stockage de carbone entre les mains de l'Homme, sans que celui-ci n'ait eu à modifier ses pratiques pour arriver à ce résultat. De surcroît, elles permettent le retour à l'atmosphère de ce gaz crucial pour l'écosystème planétaire, à la différence des CSC géologiques.

Ce ne serait donc pas les émissions fossiles anthropiques qui seraient responsables de l'augmentation du CO<sub>2</sub> atmosphérique puisqu'elles étaient entièrement bio-remédiées par le captage des plantes cultivées. Ceci remet en question leur influence tant décriée sur l'évolution climatique, et détruit les fondements des politiques de réduction des émissions soutenues par les organisations internationales et retenues par les gouvernements.

Aussi quelles sont les véritables sources responsables de l'augmentation du CO<sub>2</sub> atmosphérique de  $18,7$  GtCO<sub>2</sub>/an ( $2,5$  ppm/an). Pour fournir de telles quantités, la seule

provenance possible est l'océan qui ne serait pas un puits, comme présenté dans de nombreux travaux, mais une source. Nous avons mis en évidence la versatilité saisonnière de l'océan et son alternance puits-source liée aux oscillations de la teneur atmosphérique en CO<sub>2</sub> mesurée au mont Mauna Loa (Muller-Feuga, 2023). Un dégazage océanique serait en cours.

Il résulte aussi des calculs précédents que la durée moyenne de stockage du carbone par les plantes cultivées, estimée à plus d'un quart de siècle en moyenne, est conséquente et supérieure aux attentes. Avec leur captage considérable et de telles durées de stockage, le manque d'attention dont font l'objet l'agriculture et la sylviculture de la part des organisations internationales et des gouvernements n'est pas explicable. Ces activités ancestrales qui nourrissent, réchauffent, égayent et vêtent l'Homme sont fondées sur la photosynthèse à laquelle nous devons la vie, et qui reste le moyen de captage et de stockage du CO<sub>2</sub> atmosphérique le plus simple et le plus efficace.

### Remerciements

Nous remercions les nombreuses personnes impliquées dans la collecte et la fourniture des données mondiales et sommes conscients des ressources, des personnes et du temps importants que requiert la collecte de ces données inestimables. Nous n'oublions pas de remercier les ingénieurs qui ont rédigé les programmes de traitement de ces données pour les mettre en ligne et les rendre facilement accessibles par les usagers que nous sommes.

### Références

- Amthor JS. et Baldocchi DD., 2001. Terrestrial higher plant respiration and net primary production. In: Roy J, Saugier B, Mooney HA, eds. Terrestrial global productivity. San Diego, CA, USA: Academic Press, 33–59.
- Arvalis, n.d., Légumineuses fourragères. Données INRA. <https://www.arvalis.fr/infos-techniques/exploitation-des-luzernes-bien-rythmer-les-coupes-dans-une-luzerniere>
- Balesdent J. et Recous S., 1997. Les temps de résidence du carbone et le potentiel de stockage de carbone dans quelques sols cultivés français. *Can. J. Soil. Sci.*, 77, pp.187-193
- Beer C. et al., 2010. Terrestrial gross carbon dioxide uptake: global distribution and covariation with climate. *Science* 329: 834–838.

- Blume H. P., et al., 2015. Scheffer/schachtschabel soil science. Springer Berlin Heidelberg.  
<https://doi.org/10.1007/978-3-642-30942-7>
- Canadell J.G., et al., 2021. Global Carbon and other Biogeochemical Cycles and Feedbacks. IRM AR6 WGI, Final Government Distribution, chapter 5, hal-03336145
- Ciais P. et al., 2013. Carbon and other biogeochemical cycles. In: Tignor M. et al., eds. Tansley Review 43: Climate Change 2013: the Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 465– 570.
- Dippers J.K., et al., 1995. Effects of low and elevated CO<sub>2</sub> on C3 and C4 annuals. *Oecologia* 101:13-20.
- FAO. n.d. Données de l'alimentation et de l'agriculture, et des forêts  
<http://www.fao.org/faostat/fr/#data/GR> <https://www.fao.org/faostat/fr/#data/FO>
- Fay A.R et al., 2023. Updated climatological mean delta fCO<sub>2</sub> and net sea–air CO<sub>2</sub> flux over the global open ocean regions. *Earth System Science Data*,  
<https://doi.org/10.5194/essd-2023-429>
- FishStatJ, 2024. Fishery and Aquaculture Statistics – Yearbook 2021. FAO Yearbook of Fishery and Aquaculture Statistics. Rome. <https://doi.org/10.4060/cc9523en>
- Fransylva, 2021. Les chiffres clés de la forêt privée française. Brochure cosignée par CNPF. 40 pp.
- Friedlingstein P. et al., 2022. Global Carbon Budget 2022, *Earth Syst. Sci. Data*, 14, 4811–4900, <https://doi.org/10.5194/essd-14-4811-2022>
- Friedlingstein P. et al., 2023. Global Carbon Budget 2023. *Earth Syst. Sci. Data*, 15, 5301–5369, <https://doi.org/10.5194/essd-15-5301-2023>
- Global CCS Institute, 2023. The Global Status of CCS: 2023. Australia.
- Godwin B., 2022. We are in a CO<sub>2</sub> drought -Not much time left for life on planet Earth. Preprint not peer reviewed. <https://doi.org/10.1002/essoar.10512381/v2>
- Gundersen P., 2021. Old-growth forest carbon sinks overestimated. *Nature* <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03266-z>
- Hay R. K. M., 1995. Harvest index: a review of its use in plant breeding and crop physiology. *Annals of Applied Biology*, 126: 197-216.

- Luysaert S. et al., 2008. Old-growth forests as global carbon sinks. Vol 455|11 September 2008|doi:10.1038/nature07276
- Luysaert S. et al., 2021. Reply to: Old-growth forests carbon sinks overestimated. Nature 591, 24-25. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03267-y>
- Mottet A. et al., 2017. Livestock: On our plates or eating at our table? A new analysis of the feed/food debate. Global Food Secur. 14, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2017.01.001>
- Muller-Feuga A., 2023. CO<sub>2</sub> Air-Water Exchanges during Seasonal and Glacial Cycles. Journal of Agri-cultural Chemistry and Environment, 12, 365-385. <https://doi.org/10.4236/jacen.2023.124026>
- Muller-Feuga A., 2024. The Recognition of Carbon Capture and Storage by Plants, Journal of Agricultural Science, 16, 7. <https://doi.org/10.5539/jas.v16n7p1>
- Pan, Y., et al., 2024. The enduring world forest carbon sink. Nature 631, 563–569 (2024). <https://doi.org/10.1038/s41586-024-07602-x>
- Pellerin S., et al., 2019. Stocker du carbone dans les sols français, Quel potentiel au regard de l'objectif 4 pour 1000 et à quel coût ? Synthèse du rapport d'étude, INRA (France), 114 pp.
- Ritchie H. and Roser M., 2024. CO<sub>2</sub> emissions. Published online at OurWorldInData.org. <https://ourworldindata.org/co2-emissions>
- Saugier, B., et al., 2001. Estimations of Global Terrestrial Productivity: Converging toward a Single Number. Academic Press. 573 pp.
- Sorokhtin O.G. et al., 2007. Global Warming and Global Cooling Evolution of Climate on Earth. By O.G. Sorokhtin, G.V. Chilingar and L.F. Khilyuk (Eds. Elsevier)
- Tijero V. et al., 2021. Fruit Development and Primary Metabolism in Apple. Agronomy2021,11,1160. <https://doi.org/10.3390/agronomy11061160>
- Vidal E. et al., 2020. Sustainable forest management (SFM) of tropical moist forests: the case of the Brazilian Amazon. In Achieving sustainable management of tropical forests. Eds
- Vinos J., 2022. Climate of the Past, Present and Future, a scientific debate, 2nd ed. Critical Science Press, Madrid.
- Wang J, et al., 2017. Soil and vegetation carbon turnover times from tropical to boreal forests. Funct Ecol. 32: 71–82. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12914>

## Annexe 1 : Plantes cultivées

Productions végétales mondiales de l'agriculture en 2022 (données FAO - t), durée de la période de captage par photosynthèse (CP), de la période de restitution par minéralisation (RM) et part de la production totale, classés par ordre de poids anhydre décroissant. Les teneurs en eau sont prises à plusieurs sources dont <https://feedtables.com> et <https://www.lanutrition.fr>

Produits	Poids frais (tonnes)	Teneur en eau %	Poids anhydres (Mt)	CP (an)	RM (an)	Part %
Maïs	1 163 497 383	13.7	1 004.1	0.8	20.0	19.4
Blé	808 441 568	13.1	702.5	0.8	20.0	13.6
Riz	776 461 457	12.0	683.3	0.8	20.0	13.2
Sucre, canne	1 922 059 851	70.0	576.6	1.0	40.0	11.2
Huile, noix de palme	424 587 460	0.1	424.2	0.8	5.0	8.2
Fèves de soja	348 856 427	10.5	312.2	0.8	10.0	6.0
Orge	154 877 140	12.8	135.1	0.8	20.0	2.6
Manioc, frais	330 408 754	59.7	133.2	0.8	0.5	2.6
Pommes de terre	374 777 763	78.3	81.3	1.0	0.5	1.6
Graines de navette ou de colza	87 221 221	12.0	76.8	0.8	20.0	1.5
Autres légumes frais n.a.c.	297 995 825	75.0	74.5	0.8	0,019	1.4
Coton en graine, non égrené	69 668 143	8.0	64.1	0.8	20.0	1.2
Sorgho	57581942.77	12.2	50.6	0.8	20.0	1.0
Graines de tournesol	54 285 949	7.2	50.4	0.8	20.0	1.0
Arachides non décortiquées	54 238 560	12.0	47.7	0.8	1.0	0.9
Sucre, betterave	260 998 614	83.9	42.0	0.8	40.0	0.8
Noix de coco	62 409 431	45.0	34.3	1.0	10.0	0.7
Bananes	135 112 326	75.8	32.7	0.8	0.3	0.6
Mils	30 859 664	10.4	27.7	0.8	0.5	0.5
Haricots secs	28 346 199	10.1	25.5	0.8	10.0	0.5
Avoine	26 385 330	12.4	23.1	0.8	20.0	0.4
Feuilles de thé	29 760 668	25.0	22.3	0.8	5.0	0.4
Ignames	88 257 159	75.0	22.1	0.8	0.1	0.4
Autres haricots frais	23 340 916	11.1	20.8	0.8	0.0	0.4
Patates douces	86 410 355	78.3	18.8	0.8	1.0	0.4
Piments forts et piments, verts	36 972 494	50.0	18.5	0.8	0.2	0.4
Pois frais	20 945 189	12.8	18.3	0.8	0.1	0.4
Oignons et échalotes, séchés (à	110 616 270	83.9	17.8	0.8	5.0	0.3
Pois chiches, secs	18 095 248	12.7	15.8	0.8	20.0	0.3
Aubergines	59 312 600	75.0	14.8	0.8	0.0	0.3
Plantains et bananes à cuire	44 150 813	67.0	14.6	0.8	1.0	0.3
Pommes	95 835 965	85.0	14.4	1.0	0.5	0.3
Raisins	74 942 573	81.0	14.2	1.0	0.0	0.3
Pois secs	14 166 030	12.0	12.5	0.8	20.0	0.2
Triticale	14 157 881	13.2	12.3	0.8	20.0	0.2
Caoutchouc naturel sous formes	15 125 393	20.0	12.1	0.8	5.0	0.2
Champignons et truffes	48 335 996	75.0	12.1	1.0	0.0	0.2
Seigle	13 143 055	12.0	11.6	0.8	20.0	0.2
Tomates, fraîches	186 107 972	94.0	11.2	0.8	0.0	0.2
Olives	21 449 868	50.0	10.7	1.0	5.0	0.2
Carottes et navets	42 233 350	75.0	10.6	0.8	0.2	0.2
Mangues, mangoustans et goyaves	59 151 823	83.0	10.1	1.0	0.1	0.2
Pastèques	99 957 595	90.0	10.0	0.8	0.1	0.2
Autres fruits n.a.c.	38 200 106	75.0	9.6	1.0	0.1	0.2
Concombres, cornichons	94 718 397	90.0	9.5	0.8	0.0	0.2

Café, vert	10 782 334	20,0	8,6	0,8	0,2	0,2
Pois à vache secs	9 774 866	12,0	8,6	0,8	20,0	0,2
Epinards	33 116 288	75,0	8,3	0,8	0,0	0,2
Oranges	76 410 037	90,0	7,6	1,0	0,1	0,1
Céréales n.a.c.	8 713 290	13,2	7,6	0,8	20,0	0,1
Ananas	29 361 138	75,0	7,3	0,8	0,0	0,1
Ail frais	29 149 438	75,0	7,3	0,8	0,1	0,1
Autres fruits tropicaux frais nda	28 359 402	75,0	7,1	0,8	0,1	0,1
Laitue et chicorée	27 149 446	75,0	6,8	0,8	0,0	0,1
Sésame	6 741 479	12,0	5,9	0,8	20,0	0,1
Lentilles secs	6 655 828	11,6	5,9	0,8	20,0	0,1
Fèves et féveroles, sèches	6 144 395	12,0	5,4	0,8	20,0	0,1
Cacao, fèves	5 874 582	12,0	5,2	0,8	0,2	0,1
Choux	72 603 755	93,0	5,1	0,8	0,0	0,1
Dattes	9 747 570	50,0	4,9	0,8	0,1	0,1
Pois cajan, sec	5 326 932	12,0	4,7	0,8	20,0	0,1
Taro	17 718 129	75,0	4,4	0,8	0,5	0,1
Tangerines, mandarines,	44 179 831	90,0	4,4	1,0	0,0	0,1
Autres légumineuses n.a.c.	4 904 918	12,0	4,3	0,8	0,0	0,1
Poires	26 324 874	84,0	4,2	1,0	0,5	0,1
Piments forts et piments, secs	4 909 321	25,0	3,7	0,8	1,0	0,1
Graines de lin	3 973 932	8,0	3,7	0,8	20,0	0,1
Noix non décortiquées	3 874 025	12,0	3,4	1,0	0,5	0,1
Noix d'acajou non décortiquées	3 852 868	12,0	3,4	0,8	0,5	0,1
Amandes non décortiquées	3 630 428	12,0	3,2	1,0	0,5	0,1
Jute, brut ou roui	3 503 448	12,0	3,1	0,8	20,0	0,1
Cantaloup et autres melons	28 558 069	90,0	2,9	1,0	0,0	0,1
Gombo	11 232 656	75,0	2,8	0,8	0,2	0,1
Pêches et nectarines	26 354 497	90,0	2,6	1,0	0,1	0,1
Prunes et prunelles	12 391 467	80,0	2,5	1,0	0,0	0,0
Maïs «vert» (maïs)	9 868 461	75,0	2,5	1,0	0,5	0,0
Autres espèces cultivées	3 172 095	25,0	2,4	0,8	1,0	0,0
Tabacs bruts ou non fabriqués	5 780 940	60,0	2,3	1,0	5,0	0,0
Citrouilles, courges et potirons	22 806 321	90,0	2,3	0,8	0,0	0,0
Avocats	8 978 275	75,0	2,2	1,0	0,0	0,0
Noix d'arec	2 542 072	12,0	2,2	0,8	1,0	0,0
Racines et tubercules similaires à	8 877 780	75,0	2,2	0,8	0,2	0,0
Asperges	8 824 150	75,0	2,2	1,0	0,0	0,0
Citrons et limes	21 529 604	90,0	2,2	1,0	0,2	0,0
Anis, badiane, coriandre, cumin,	2 751 010	25,0	2,1	0,8	0,5	0,0
Autres graines oleagineuses n.a.c.	2 527 518	20,0	2,0	0,8	0,5	0,0
Sarrasin, blé noir	2 235 193	12,0	2,0	1,0	20,0	0,0
Céréales mélangées	2 223 144	12,0	2,0	0,8	20,0	0,0
Choux-fleurs et brocolis	26 058 228	93,0	1,8	0,8	0,0	0,0
Fibre de coco, brut	1 939 430	12,0	1,7	0,8	20,0	0,0
Graines de ricin	1 829 522	12,0	1,6	0,8	20,0	0,0
Châtaignes non décortiquées	2 131 241	25,0	1,6	1,0	1,0	0,0
Papaves	13 822 328	89,4	1,5	1,0	0,1	0,0
Autres fruits, agrumes nda	14 422 194	90,0	1,4	1,0	0,1	0,0
Oignons, échalotes, frais	4 970 615	75,0	1,2	0,8	0,1	0,0
Lupins	1 644 691	25,0	1,2	0,8	0,1	0,0
Fèves et féveroles, vertes	1 642 153	25,0	1,2	0,8	0,2	0,0
Gingembre, brut	4 874 216	75,0	1,2	0,8	0,2	0,0
Pomme d'acajou	1 329 862	12,0	1,2	0,8	20,0	0,0
Kiwis	4 539 471	75,0	1,1	1,0	0,1	0,0
Pamplemousses et pomelos	9 761 755	90,0	1,0	1,0	0,1	0,0
Fraises	9 569 865	90,0	1,0	0,8	0,0	0,0
Pistaches non décortiquées	1 026 803	12,0	0,9	1,0	20,0	0,0
Noisettes non décortiquées	1 195 732	25,0	0,9	1,0	0,5	0,0
Plaqueminiers/kakis	4 436 475	80,0	0,9	1,0	0,1	0,0
Autres fruits à coques (à l'exclusion	1 051 017	25,0	0,8	0,8	1,0	0,0

Graines d'arbre a suif	1 038 671	25,0	0,8	0,8	20,0	0,0
Abricots	3 863 180	80,0	0,8	1,0	0,0	0,0
Carthame	995 508	25,0	0,7	0,8	1,0	0,0
Graines de melon	968 692	25,0	0,7	0,8	20,0	0,0
Poivre (sous-espèces piper), brut	812 674	12,0	0,7	0,8	20,0	0,0
Feuilles de maté	1 653 167	60,0	0,7	1,0	5,0	0,0
Moutarde	852 808	25,0	0,6	0,8	20,0	0,0
Noix de karite	815 825	25,0	0,6	0,8	10,0	0,0
Fonio	658 708	12,0	0,6	0,8	10,0	0,0
Cerises	2 765 827	80,0	0,6	1,0	0,0	0,0
Poireaux et autres légumes alliacés	2 109 066	75,0	0,5	0,8	0,1	0,0
Vesces	684 264	25,0	0,5	0,8	0,2	0,0
Artichauts	1 584 514	75,0	0,4	1,0	0,0	0,0
Yautia	396 407	12,0	0,3	1,0	0,0	0,0
Noix d'abrasin	453 685	25,0	0,3	0,8	1,0	0,0
Grillottes	1 593 025	80,0	0,3	1,0	0,0	0,0
Myrtilles	1 228 596	75,0	0,3	1,0	0,1	0,0
Haricots verts	1 375 584	80,0	0,3	0,8	0,1	0,0
Autres baies et fruits du genre	1 021 643	75,0	0,3	0,8	0,1	0,0
Noix de kola	315 024	25,0	0,2	0,8	1,0	0,0
Figues	1 242 449	82,0	0,2	1,0	0,1	0,0
Lin, brut ou roui	875 995	75,0	0,2	0,8	20,0	0,0
Alpiste	245 568	12,0	0,2	0,8	20,0	0,0
Kapok, fruit	283 287	25,0	0,2	0,8	20,0	0,0
Cannelle et fleurs de cannelier,	222 524	12,0	0,2	0,8	0,2	0,0
Cassis et groseilles	764 499	75,0	0,2	1,0	0,0	0,0
Pois bambara, secs	246 511	24,0	0,2	0,8	1,0	0,0
Chanvre, brut ou roui	247 064	25,0	0,2	0,8	20,0	0,0
Coings	702 015	75,0	0,2	1,0	0,2	0,0
Sucre, autres plantes sucrières nda	872 416	80,0	0,2	0,8	40,0	0,0
Kénaf et autres fibres synthétiques	224 926	24,0	0,2	0,8	20,0	0,0
Sisal, brut	213 305	24,0	0,2	1,0	20,0	0,0
Clous de girofles (tiges entières),	183 452	12,0	0,2	0,8	20,0	0,0
Canneberges	582 924	75,0	0,1	1,0	0,0	0,0
Quinoa	158 985	12,0	0,1	0,8	1,0	0,0
Autres plantes textiles crues, n.c.a.	554 146	75,0	0,1	0,8	10,0	0,0
Autre fruit à noyau n.a.c.	615 695	80,0	0,1	1,0	0,1	0,0
Noix de muscade, fleur de muscade,	138 888	12,0	0,1	0,8	1,0	0,0
Houblon en cônes	158 545	24,0	0,1	1,0	0,1	0,0
Chou caraïbe	396 407	75,0	0,1	0,8	0,0	0,0
Framboises	947 852	90,0	0,1	0,8	0,0	0,0
Abaca, chanvre de manille, brut	107 495	24,0	0,1	0,8	20,0	0,0
Noix du Brésil non décortiquées	79 278	12,0	0,1	0,8	0,5	0,0
Fibres d'agave, brut n.a.c.	40 639	12,0	0,04	0,8	20,0	0,0
Graine de chanvre	42 267	24,0	0,03	1,0	20,0	0,0
Autre fruit à pépins n.a.c.	129 481	80,0	0,03	1,0	0,2	0,0
Racines de chicorée	32 662	24,0	0,02	0,8	0,2	0,0
Groseilles à maquereaux	95 425	80,0	0,02	1,0	0,0	0,0
Oeillette	14 857	12,0	0,01	0,8	1,0	0,0
Menthe poivrée, menthe verte	51 081	75,0	0,01	0,8	0,0	0,0
Caroubes	56 423	80,0	0,01	1,0	0,0	0,0
Vanille, brut	7 704	24,0	0,01	0,8	1,0	0,0
Ramie, brut ou roui	7 625	24,0	0,01	0,8	20,0	0,0
Pyrèthre, fleurs séchées	5 049	12,0	0,004	0,8	1,0	0,0
Graines de ioioba	147	12,0	0,0001	0,8	20,0	0,0
Total	9 609 874 580		5 166	0,8	17,3	100

## Annexe 2 : Fourrages

Fourrages anhydres consommés par les productions animales mondiales de 2022 (données FAO), période de captage photosynthétique (CP - an), période de restitution par minéralisation des produits d'élevage (RM - an) et part de la production totale. Les taux de protéines viennent de <https://www.la-viande.fr/nutrition-sante> .

Produits	Poids frais (tonnes)	Teneur en protéines %	Protéines (t)	Fourrages anhydres (Mt)	CP (an)	RM (an)	Part %
Viande, poulet, fraîche ou réfrigérée	123 631 335	30	37 089 400	1453,90	0,8	0,5	21,48
Viande, suidés, fraîche ou réfrigérée	122 585 397	30	36 775 619	1441,6	2,0	0,5	21,30
Lait cru de vache	753 320 578	3,2	24 106 258	945,0	1,0	0,5	13,96
Viande, bovine, fraîche ou réfrigérée	69 346 116	32	22 190 757	869,9	3,0	0,5	12,85
Œufs de poule en coquille frais	86 999 551	13	11 048 943	433,1	0,8	0,04	12,60
Lait cru de bufflesse	143 573 178	4,75	6 819 726	267,3	1,0	0,5	3,95
Viande ovine, fraîche ou réfrigérée	10 272 315	30	3 081 695	120,8	2,0	0,5	1,78
Abats, comestibles, bovins, frais,	9 570 874	25	2 392 718	93,8	3,0	0,5	1,39
Abats, comestibles, suides, frais,	8 013 905	25	2 003 476	78,5	2,0	0,5	1,16
Viande, buffle, fraîche ou réfrigérée	6 903 484	25	1 725 871	67,7	3,0	0,5	1,00
Viande, caprin, fraîche ou réfrigérée	6 367 497	25	1 591 874	62,4	2,0	0,5	0,92
Viande, canard, fraîche ou réfrigérée	6 068 757	25	1 517 189	59,5	0,8	0,5	0,88
Graisses de porcs	11 125 681	0	0	47,1	0,8	10,0	0,70
Viande, dinde, fraîche ou réfrigérée	5 081 498	25	1 270 374	49,8	0,8	0,5	0,74
Viande, oie, fraîche ou réfrigérée	4 418 972	25	1 104 743	43,3	0,8	0,5	0,64
Peaux et cuirs de bovins bruts	8 698 960	0	0	36,8	0,8	10,0	0,54
Lait cru de chèvre	19 191 573	4,3	815 642	32,0	1,0	0,5	0,47
Œufs d'autres volatiles en coquille	6 171 896	13	783 831	30,7	0,8	0,0	0,89
Lait cru de brebis	10 093 016	5,8	580 348	22,7	1,0	0,5	0,34
Viande de gibier, fraîche, réfrigérée	2 032 707	25	508 177	19,9	2,0	0,5	0,29
Abats, comestibles, ovins, frais,	1 823 000	25	455 750	17,9	1,0	0,5	0,26
Graisse de bovins, non fondue	3 392 343	0	0	14,4	0,8	10,0	0,21
Autres viandes n.c.a. (à l'exclusion	1 563 630	25	390 907	15,3	0,8	0,5	0,23
Abats, comestibles, caprins, frais,	1 260 496	25	315 124	12,4	1,0	0,5	0,18
Abats, comestibles, buffle, frais,	1 173 340	25	293 335	11,5	3,0	0,5	0,17
Peaux et cuirs d'ovins bruts	1 981 013	0	0	8,4	0,8	10,0	0,12
Miel naturel	1 830 768	0	0	7,7	0,8	100,	0,11
Laines de tonte, en suint, y compris	1 759 760	0	0	7,4	0,8	10,0	0,11
Viande, cheval, fraîche ou réfrigérée	775 543	25	193 886	7,6	4,0	0,5	0,11
Viande, leporidés, fraîche ou	756 476	25	189 119	7,4	0,8	0,5	0,11
Peaux et cuirs de buffles bruts	1 409 455	0	0	6,0	0,8	10,0	0,09
Peaux et cuirs de caprins bruts	1 267 834	0	0	5,4	0,8	10,0	0,08
Viande, camélidé, fraîche ou	6045 30	25	151 133	5,9	3,0	0,5	0,09
Lait cru de chamelle	4 116 669	3,4	139 967	5,5	1,0	0,5	0,08
Graisse de mouton, non fondue	576 409	0	0	2,4	0,8	10,0	0,04
Graisse de buffle, non fondue	416 812	0	0	1,8	0,8	10,0	0,03
Cocons de vers à soie propres au	414 788	0	0	1,8	0,0	2,0	0,03
Graisse de chèvre, non fondue	256 756	0	0	1,1	0,8	10,0	0,02
Viande, âne, fraîche ou réfrigérée	104 305	25	26 076	1,0	3,0	0,5	0,02
Abats comestibles de chevaux et	99 085	25	24 771	1,0	3,0	0,5	0,01
Abats comestibles de chameaux et	88 365	25	22 091	0,9	3,0	0,5	0,01
Viande, autres camélidés	33 135	25	8 284	0,3	3,0	0,5	0,00
Cire d'abeille	65 063	0	0	0,3	0,0	100,	0,00
Escargots, autres que de mer, frais,	20 799	25	5 200	0,2	0,8	0,5	0,00
Viande, autres rongeurs domestiques,	18 701	25	4 675	0,2	0,8	0,5	0,00
Viande, pigeons et autres volatiles	18 669	25	4 667	0,2	0,8	0,5	0,00
Viande, mullet, fraîche ou réfrigérée	13 839	25	3 460	0,1	4,0	0,5	0,00
Graisse de camélidés	27 655	0	0	0,1	0,8	20,0	0,00
Total	1 439 336 530			6 320	1,5	0,8	100

### Annexe 3 : Produits de la sylviculture

Productions anhydres de la sylviculture mondiale en 2022 (données FAO), période de croissance végétale et stockage (CP), et période de consommation – minéralisation (RM) et part de la production totale. Les densités ont distingué les arbres non-conifères et les conifères, à 0,7 et 0,49 t/m<sup>3</sup> respectivement.

Produit	Mm <sup>3</sup>	Densité	Poids anhydre (Mt)	CP (an)	RM (an)	Part %
Bois de chauffage, non-conifère	1725	0,70	1 208	35	2	50
Grumes de sciage et de placage, conifère	760	0,49	372	25	30	15
Grumes de sciage et de placage, non-conifère	382	0,70	268	35	30	11
Bois de trituration, rondins et quartiers, non-	355	0,70	249	35	30	10
Bois de trituration, rondins et quartiers,	360	0,49	177	35	30	7
Bois de chauffage, conifère	242	0,49	119	25	2	5
Autre bois rond industriel, non-conifère	115	0,70	80	35	300	3
Autre bois rond industriel, conifère	43	0,49	21	25	100	1
<b>Total</b>	<b>3 983</b>		<b>2 493</b>	<b>37,6</b>	<b>24,4</b>	<b>100</b>

### Annexe 4 : Produits aquatiques

Productions anhydres de la pêche et de l'aquaculture mondiales en 2021 (données FishStatJ), période de croissance (CP), et période de consommation (RM) des produits aquatiques et part de la production totale.

Produit	Poids frais (Mt)	Teneur en eau	Poids anhydre (Mt)	CP (an)	RM (an)	Part %
Algues	36,3	0,85	5,5	1	0,5	12,0
Animaux	182,1	0,78	40,1	3	0,5	88,0
<b>Total</b>	<b>218</b>		<b>46</b>	<b>2,8</b>	<b>0,5</b>	<b>100</b>

### Annexe 5 : Accroissement des populations animales

A la différence des cas précédents, il n'y a pas de CP, celle-ci ayant déjà été prise en compte pour la production alimentaire. La DSC est égale à la longévité moyenne pondérée par les poids anhydres des animaux du cheptel divisée par 2 puisqu'ils sont destinés à la consommation humaine. Pour l'humanité, la DSC est prise égale à l'espérance de vie à la naissance, soit 72 ans d'après [La Banque Mondiale](#). Nous l'avons divisée par 2 pour prendre en compte le renouvellement du pool de carbone au cours de la vie.

Accroissement de population	Poids frais (Mt)	Teneur en eau %	Poids anhydre (Mt)	CP (an)	RM (an)	Part %
Cheptel (moyenne 2020-2022)	23.8	73.1	17.4	0.0	10.0	85.5
Humanité (moyenne 2020-2022)	4.0	73.1	2.9	0.0	72.0	14.5
Total	28		20	0,0	19,0	100