



GROUPE DE TRAVAIL H2-CO2
Transition Bas Carbone / Hydrogène

Climat/COP28/Bioénergies

PRÉPARÉ POUR LE FORUM ECONOMIQUE INTERNATIONAL DE DAKAR RUFISQUE, SÉNÉGAL
25 AVRIL 2023
par Patrick Portolano

Transition Energétique dans le Département de Rufisque

Itinéraire de Patrick Portolano

Directeur fondateur de Eosys (depuis 1993)

Baccalauréat à **Dakar** (1974)

Ingénieur Civil des Ponts et Chaussées (1979), M.S. Water Resource U. Newcastle UK (1979)

Océanographe au CRODT (IRD) à **Thiaroye** (1979-1981)

- Hydroclimat de la **Petite Côte** et de la **Grande Côte sénégalaises**

Exploration et développement de ressources d'hydrocarbures (IFPEN, Eosys) (1982-2018)

- Ingénieur gisement IFPEN (1983)
- Abu Dhabi, Libye, Congo, Gabon, Cameroun, Guinée Equatoriale, France, GB, USA, Mexique

Exploration minière (Eosys) (2006-2018)

- Fonde **une junior d'exploration minière au Mexique** en 2006 qu'il développe jusqu'en 2018
- Exploration cuivre, or, argent, lithium, eaux minérales, géothermie au Mexique
- Exploration potasse, métaux de base et précieux au Congo

Exploration **hydrogène naturel** depuis 2018 (Eosys)

Action climat et transition énergétique au sein de l'association **ACP Energies** depuis 2018

- Animation du groupe de prospective H2-CO2

Transition Energétique dans le Département de Rufisque

CONSTAT (Monde)

90% des sources d'énergie primaire sont aujourd'hui carbonées

- 80% sont des énergies fossiles (pétrole, gaz, charbon)
- 10% sont des bioénergies (renouvelables)

10% des sources d'énergie primaire sont décarbonées

- Renouvelables : solaire, éolien, hydraulique, marine, géothermique
- Non renouvelable : nucléaire

Source IEA 2022

Transition Energétique dans le Département de Rufisque

CONSTAT

CAS DU SENEGAL

99% des sources d'énergie primaire sont aujourd'hui carbonées

- 59% sont des énergies fossiles (pétrole, gaz, charbon)
- 40% sont des bioénergies (renouvelables)

1% des sources d'énergie primaire sont décarbonées

- Renouvelables : hydraulique, solaire

Source IEA 2022



RECOMMANDATIONS ACP Energies pour accélérer la décarbonation de l'atmosphère

1. « Décarboner » les énergies fossiles

Accroître la teneur en hydrogène des combustibles carbonés

- exemple : substituer le gaz naturel au pétrole

2. Dé-fossiliser les énergies carbonées

Remplacer les carburants fossiles par des bio-carburants

- Biométhane, biodiesel, bio(m)éthanol, bio-kérosène, biochar

3 Raccourcir les chaînes énergétiques

Réduction potentielle de 2/3 des besoins en énergie primaire pour une même énergie utile



Ressources de biomasse au Sénégal (et à Rufisque) Bilan carbone

Emissions GES Sénégal (qu'il faudrait séquestrer géologiquement)

- Plus de **8Mt/an CO₂ en 2020** (cimenteries non incluses)
- Plus de **30 Mt/an CO₂ (*)** quand le champ gazier de GTA et le champ pétrolier de Sangomar atteindront leur plateau de production **vers 2030**

(*) y compris carbone dans hydrocarbures exportés

Transition Energétique dans le Département de Rufisque

Ressources de biomasse au Sénégal (et à Rufisque) Bilan carbone

**Urgence climat => séquestration géologique dès que possible
de plusieurs dizaines de Mt de CO₂ /an**

Options

1/ Hub régional séquestration carbone (chaîne CCS- Carbon Capture and Storage)

- exemple: site pilote champ Ngadiaga?

2/ Accroissement du stock et des flux de la biomasse continentale

- capacité d'absorption des écosystèmes plusieurs centaines Mt/an CO₂

3/ Accroissement du stock et des flux de la biomasse marine (« Blue Carbon »)

- capacité absorption des écosystèmes plusieurs centaines Mt/an CO₂

Transition Energétique dans le Département de Rufisque

Puits de carbone via la biomasse au Sénégal (et à Rufisque)

1. Domaines agricoles et forestiers (espaces privés ou communautaires)

=> Production locale **biochar** et **biométhane** (vecteur hydrogène)

=> Production territoriale de **bio(m)éthanol**, **biodiésel**, **biokérosène**
par la collecte locale de matières organiques intermédiaires
alimentant des mini-**bioraffineries territoriales**

2. Domaine marin

- **Plateau continental** (Petite Côte, Grande Côte)
 - Accroissement bio production carbonatée (**coquillages**, **coraux**)
 - Développement de **systèmes végétation côtiers** et d'écosystèmes fixant les **algues**
- **Abyssal**
 - Accroissement de la productivité photosynthétique par des remontées d'eau profonde(**upwelling**)
 - utilisant des éoliennes ou centrales solaires marines au large (offshore)

3. Zones urbaines

- Utilisation bioénergétique de **déchets domestiques et industriels**

Transition Energétique dans le Département de Rufisque

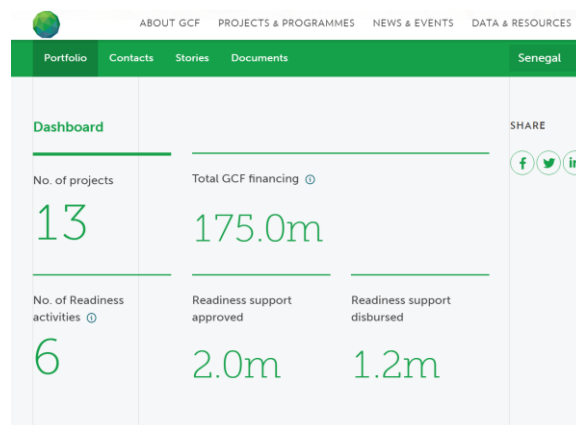
Financement de la Transition

Fonds Vert pour le Climat des Nations Unies US\$ 100 Milliard/an pour les pays en développement

Le Sénégal a droit à ce jour à plus à plus de US\$ 175 millions de financements

- **Dossiers acceptés : US \$2 millions**
- **Financements libérés : US\$ 1.2 million**

Les nouvelles ressources financières apportées par la production de gaz de GTA et de pétrole de Sangomar pourront servir non seulement à financer directement les actions décrites précédemment, mais aussi de garantie et de levier financier pour accélérer l'instruction des dossiers de financement soumis au « Green Climate Fund (GCF) ».



Transition Energétique dans le Département de Rufisque

Une mission nouvelle pour les acteurs nationaux des hydrocarbures ?

Impulser

l'utilisation d'énergies renouvelables hydrogéo-carbonées

par

la création d'infrastructures de production pérennes
de combustibles neutres ou négatifs en carbone
et de séquestration géologique du carbone.

Devenir ainsi **un partenaire clé des collectivités
dans leur aménagement territorial.**

Transition Energétique dans le Département de Rufisque

ANNEXE
sur le

Rôle clé des bioénergies dans la transition énergétique

Diaporama de la [présentation](#) faite à l'assemblée générale de ACP Energies du 27 Janvier 2023

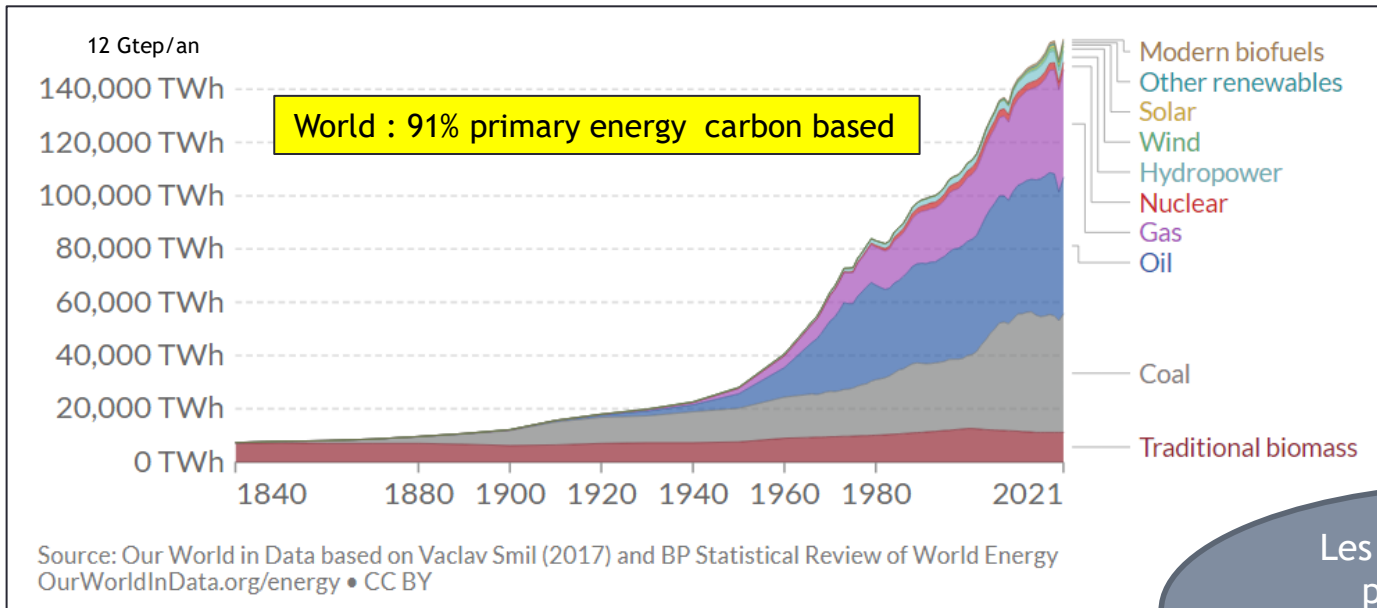


Situation historique et principe de réalité

Situation actuelle

Plus de 91% des énergies primaires utilisées par l'homme sont carbonées et d'origine biologique.

A l'échelle mondiale, chaque nouvelle source d'énergie vient s'empiler sur les énergies existantes au lieu de s'y substituer



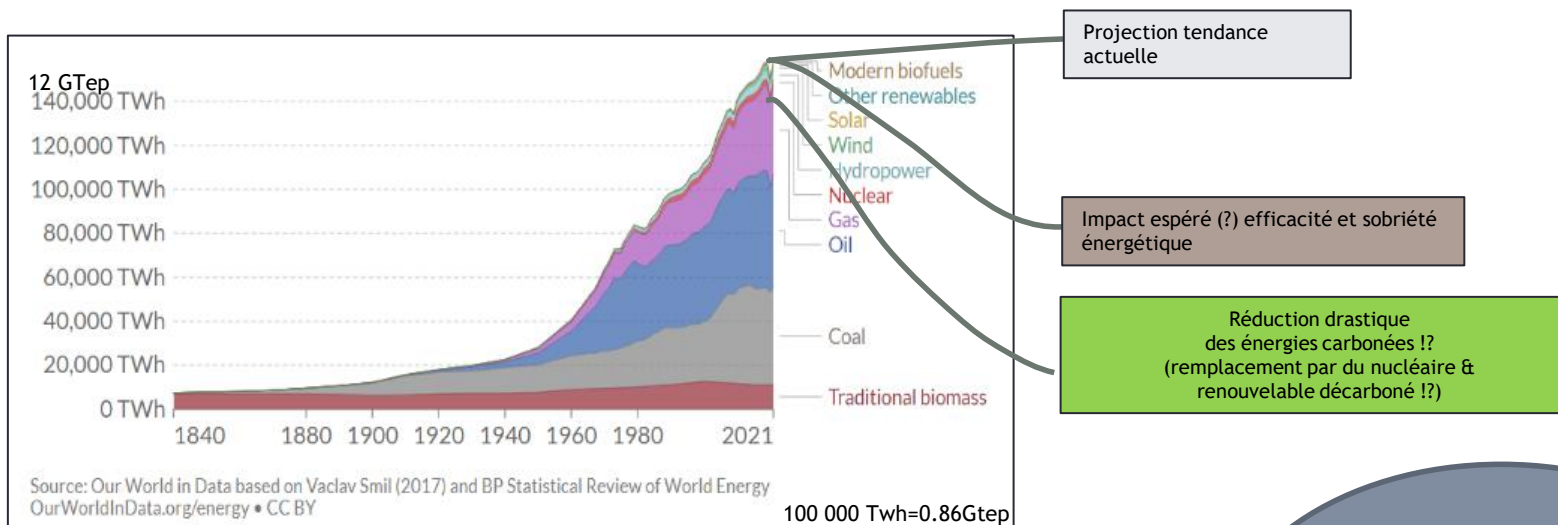
Les énergies primaires proviennent pour l'essentiel de biomasse fossilisée ou actuelle

Climat/COP28/Neutralité Géologique en Carbone

Situation historique et principe de réalité

Les scénarios institutionnels sont un pari sur l'avenir

Ils reposent sur des principes qui ignorent la réalité historique des emplacements énergétiques



Problèmes

1/ effets rebonds non pris en compte !

Exemple : baisse consommation énergétique voiture => multiplication des voitures.

2/ le logiciel actuel des cerveaux humains (et du Vivant ?) refuse l'austérité
=> la sobriété devra être imposée. Par qui ?

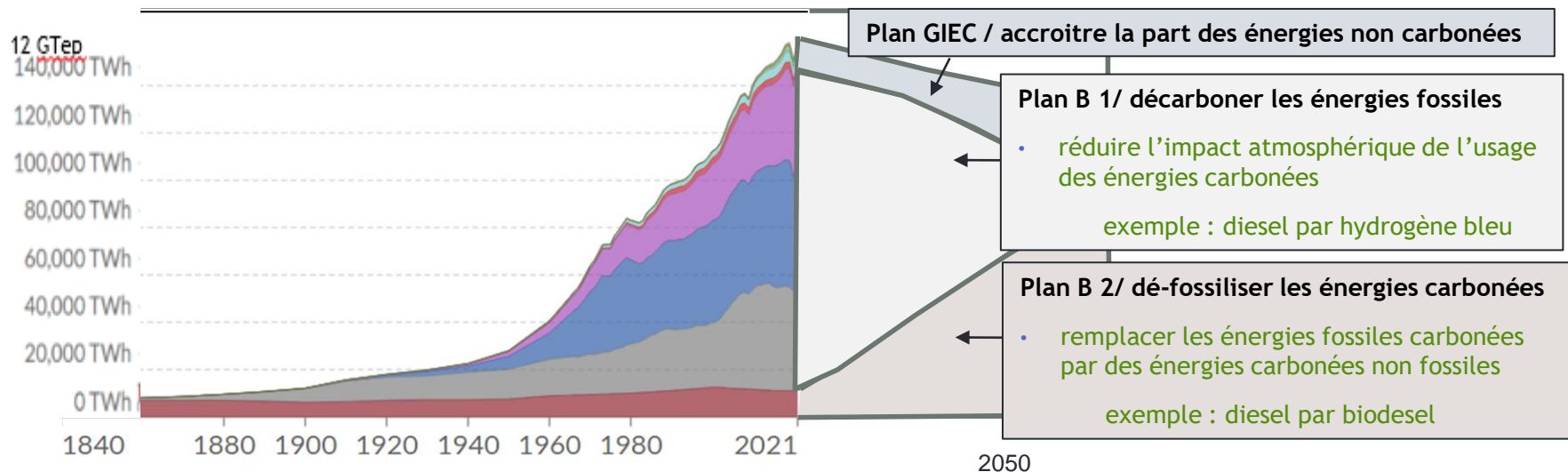
Il n'est pas garanti que le Vivant suivra les scénarios que les Economistes recommandent aux Souverains

En cas d'échec du pari institutionnel (*), un plan B est nécessaire

L'urgence climatique nécessite de gérer sans attendre les énergies carbonées
(91% des énergies primaires actuelles)

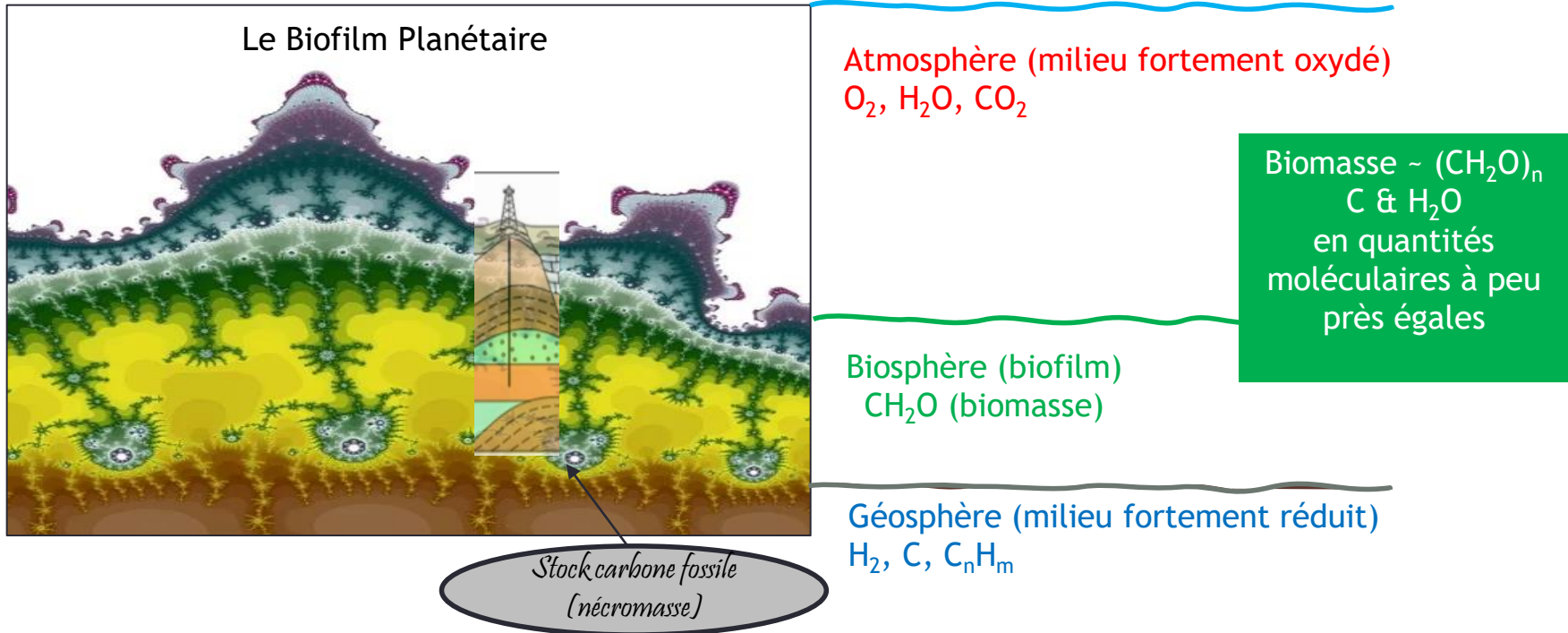
Là où des substitutions par des énergies décarbonées ne peuvent se faire dans les délais requis,

**il n'existe que les 2 options B1 et B2 du Plan B
tout en raccourcissant les chaînes énergétiques
et en augmentant leur efficacité**



(*) décarbonation des énergies : remplacer une fraction significative des énergies primaires carbonées par des énergies primaires non carbonées

Notre vie et l'activité économique des sociétés se déroulent au sein d'un biofilm planétaire(*), qui se développe de la cime des arbres jusqu'à plusieurs km de profondeur sous la surface terrestre



(*) espace régénératif multifractal de dimension inférieure à 3 que les géométries newtoniennes des économistes ne savent pas encore bien modéliser

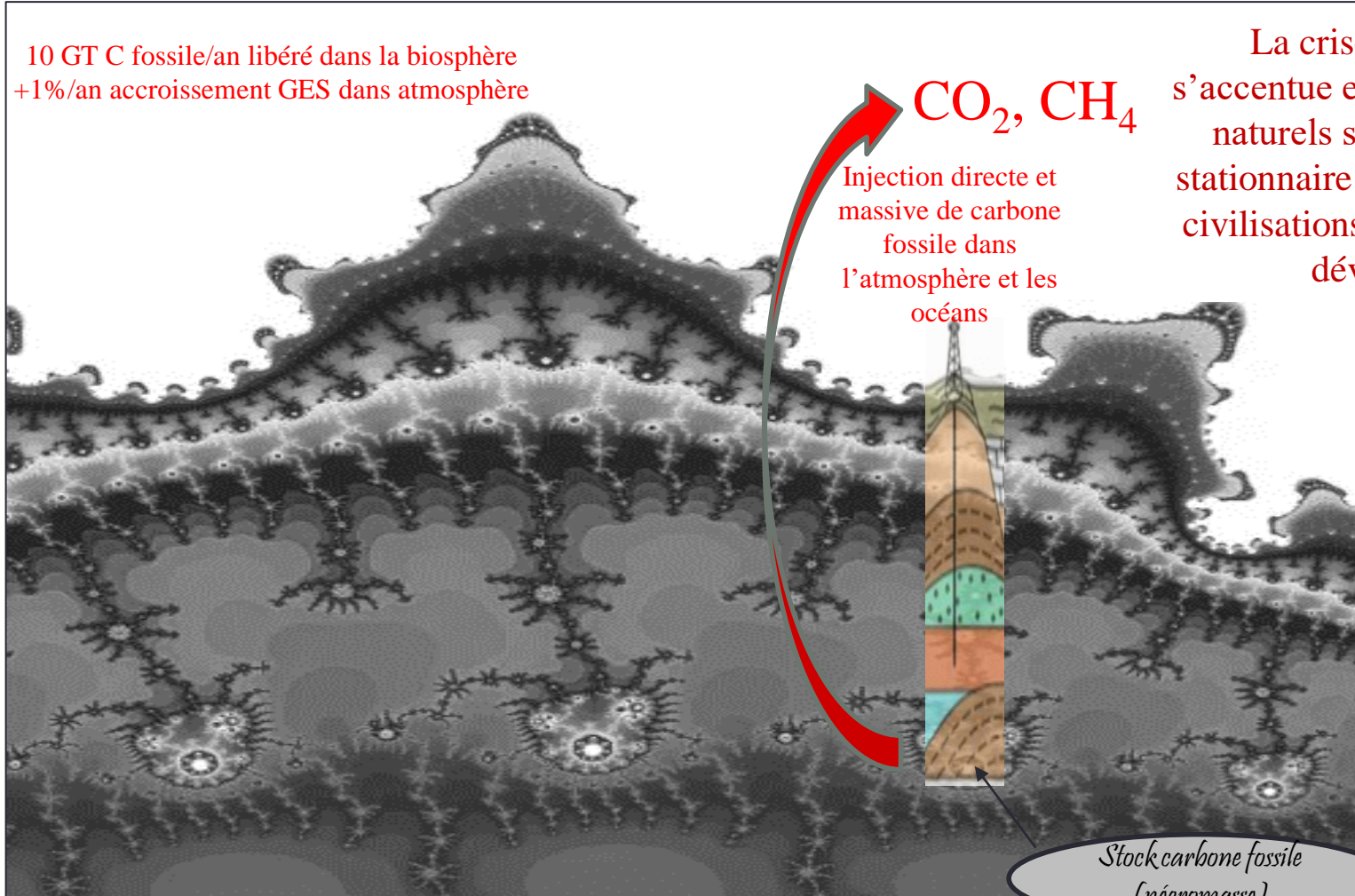
La situation actuelle

10 GT C fossile/an libéré dans la biosphère
+1%/an accroissement GES dans atmosphère

CO₂, CH₄

Injection directe et massive de carbone fossile dans l'atmosphère et les océans

La crise climatique s'accroît et les écosystèmes naturels sortent de l'état stationnaire qui a permis aux civilisations humaines de se développer

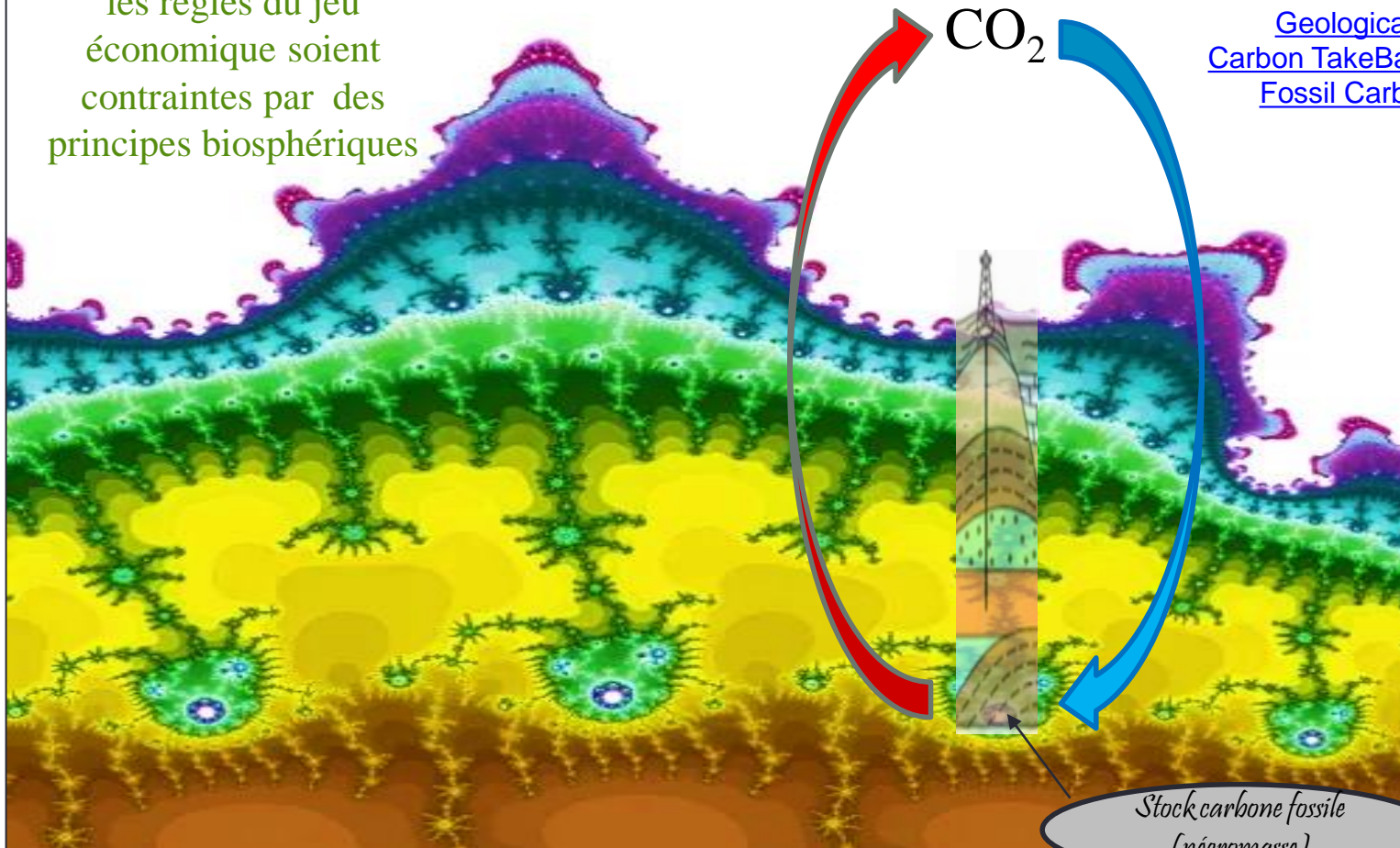


Stock carbone fossile (nécromasse)

Pour arrêter l'aggravation du changement climatique
Il faut agir chacun maintenant et à notre niveau

1/ collectivement pour que
les règles du jeu
économique soient
contraintes par des
principes biosphériques

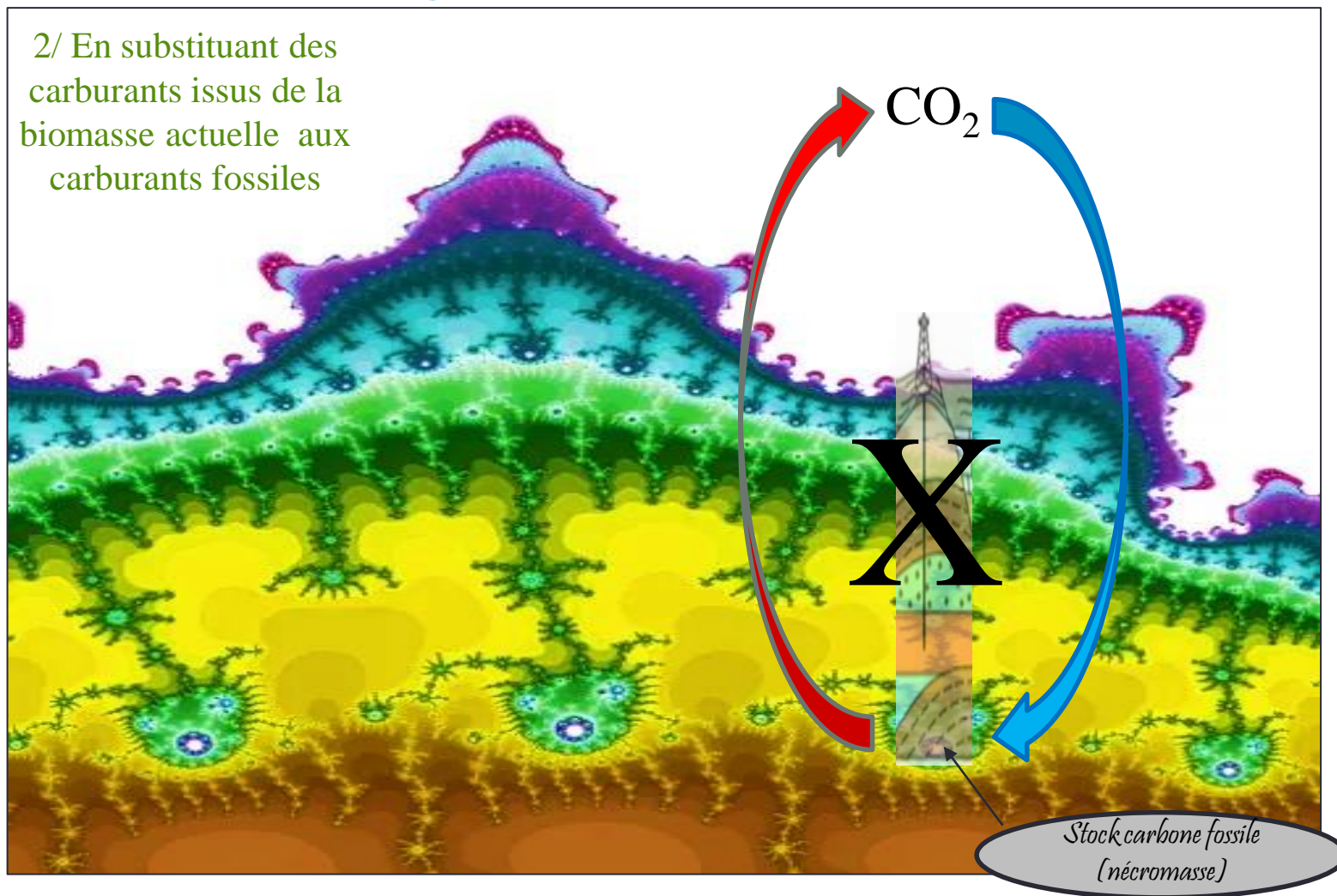
Concepts
[Geological Net Zero](#),
[Carbon TakeBack Obligation](#) et
[Fossil Carbon Indicator](#)



Stock carbone fossile
(nécromasse)

Pour arrêter l'aggravation du changement climatique
Il faut agir chacun maintenant et à notre niveau

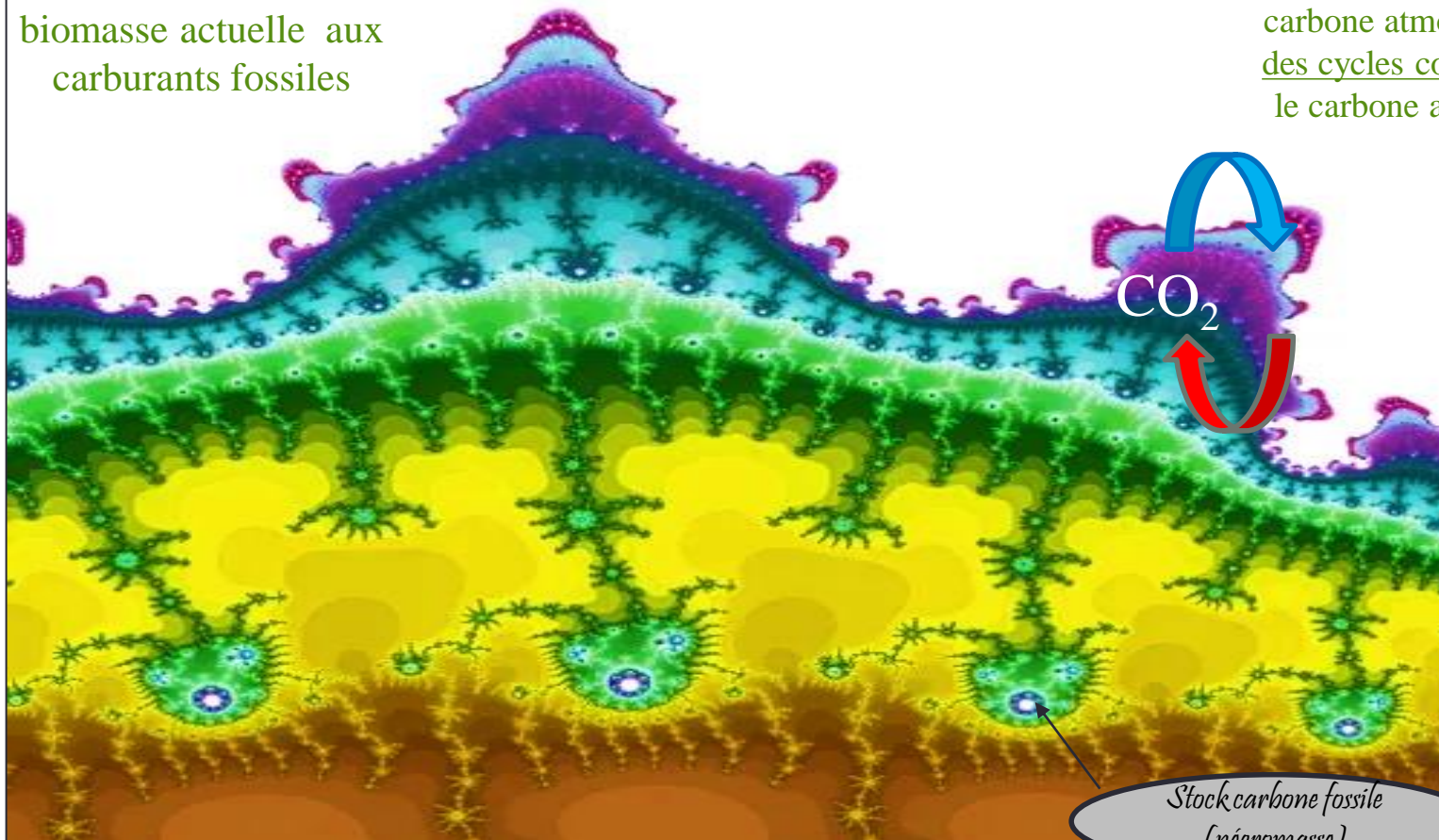
2/ En substituant des carburants issus de la biomasse actuelle aux carburants fossiles



Pour arrêter l'aggravation du changement climatique
Il faut agir chacun maintenant et à notre niveau

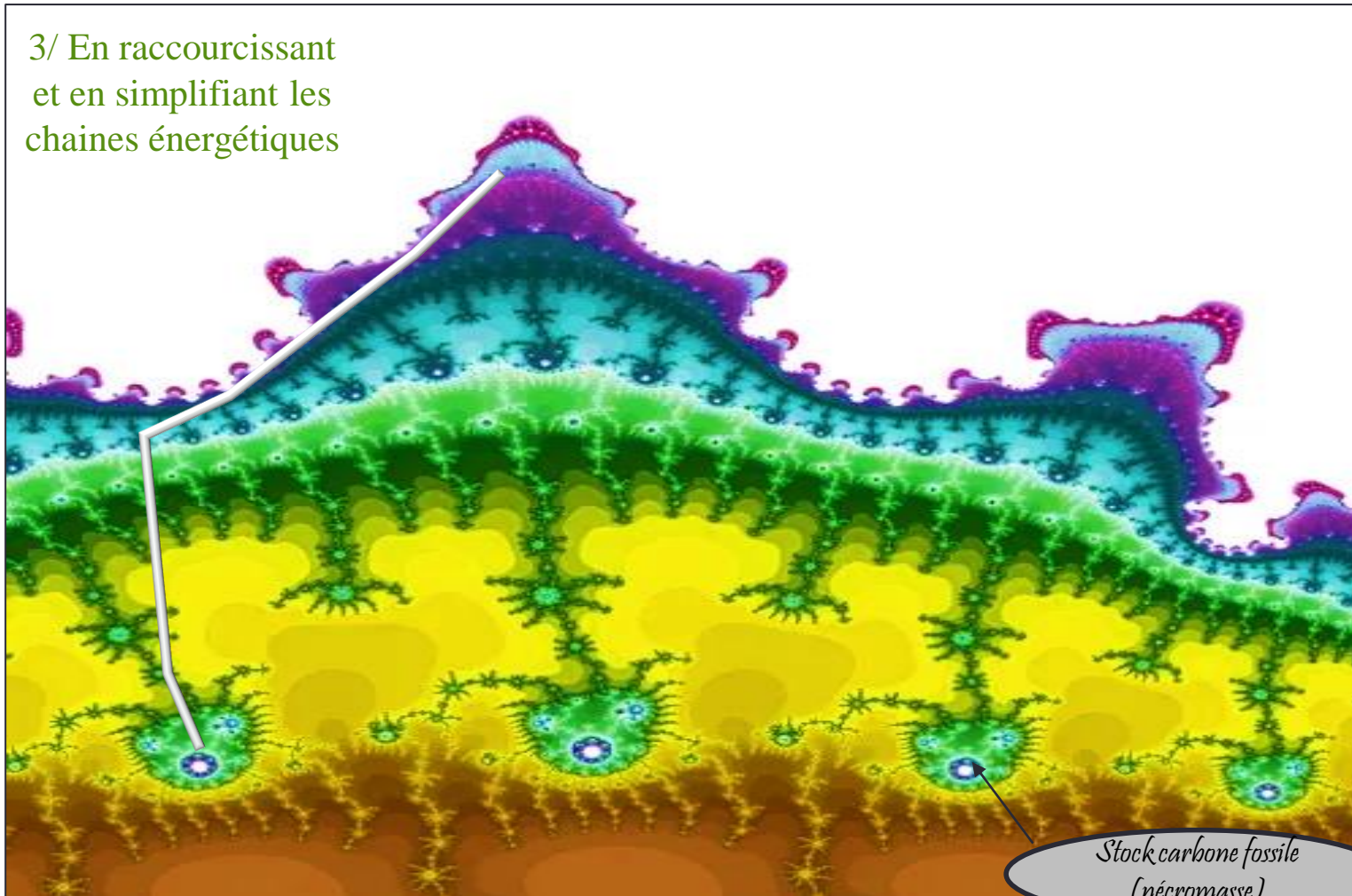
2/ En substituant des carburants issus de la biomasse actuelle aux carburants fossiles

Résultat : remplacement de cycles longs émetteurs de carbone atmosphérique par des cycles courts absorbant le carbone atmosphérique



Pour arrêter l'aggravation du changement climatique
Il faut agir chacun maintenant et à notre niveau

3/ En raccourcissant
et en simplifiant les
chaines énergétiques

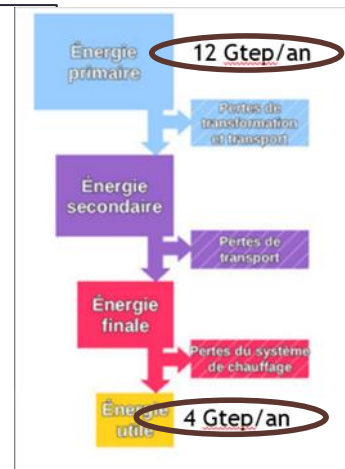


Climat/COP28/Neutralité Géologique en Carbone

Pour arrêter l'aggravation du changement climatique
Il faut agir chacun maintenant et à notre niveau

3/ En raccourcissant
et en simplifiant les
chaines énergétiques

1kwh produit/consommé en
local=>2kwh économisés ailleurs



Le système énergétique actuel concentré en des points de production d'énergie à bas cout a pour corollaire une déperdition de 70% entre l'énergie primaire et l'énergie utile

Stock carbone fossile (nécromasse)



BioEnergies



BioEnergies Pourquoi ?

1/ Substituables aux énergies fossiles

2/ C'est le meilleur (le seul ?) moyen de faire baisser le taux de carbone atmosphérique à l'échelle et dans les délais requis

3/ La biomasse permet de constituer des chaînes énergétiques

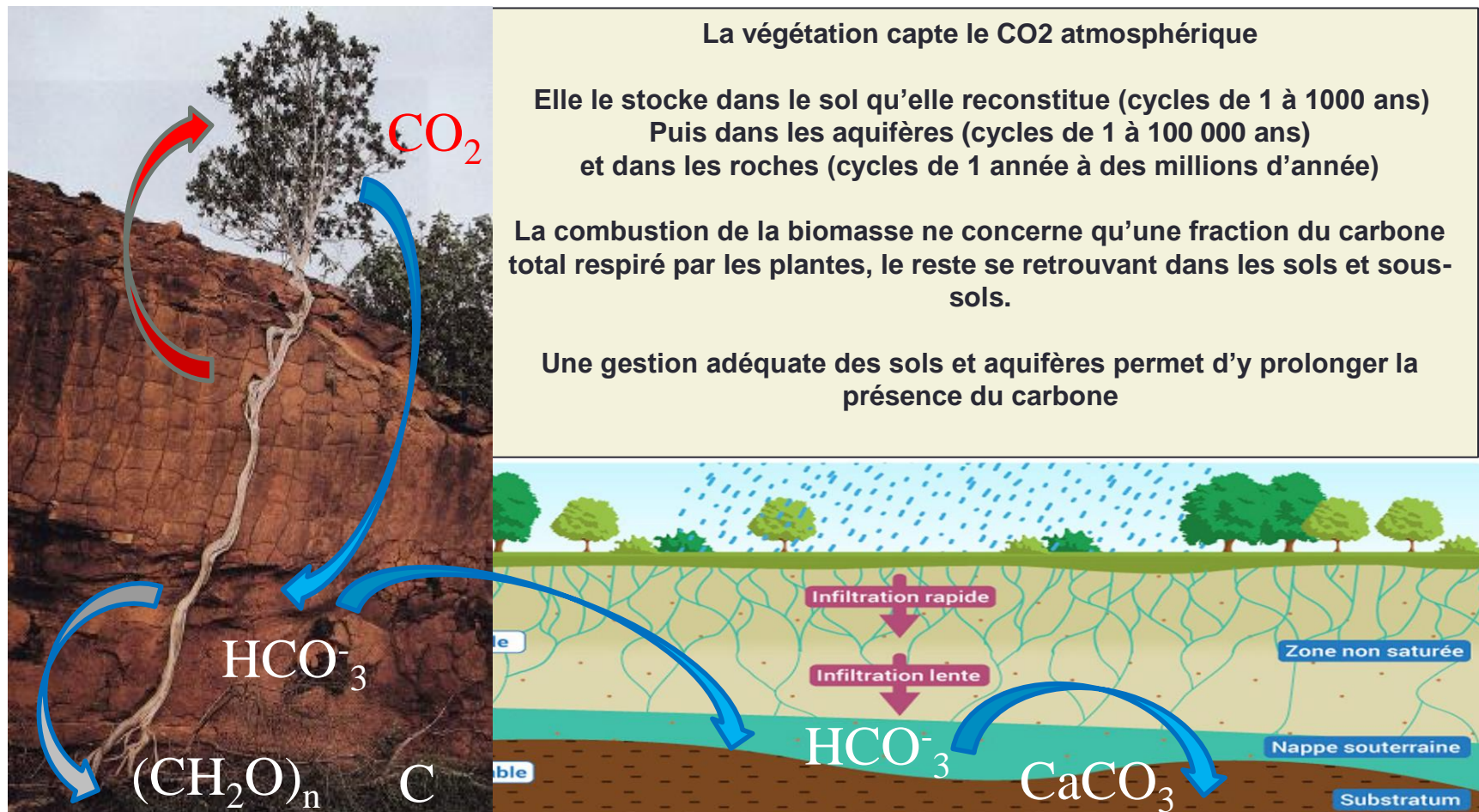
- Microscopiques à locales à intercontinentales
- A géométrie variable, reconfigurables très rapidement

pour approvisionner le consommateur final en

- combustible liquide, solide ou gazeux,
- hydrogène ... et électricité !

BioEnergies Pourquoi ?

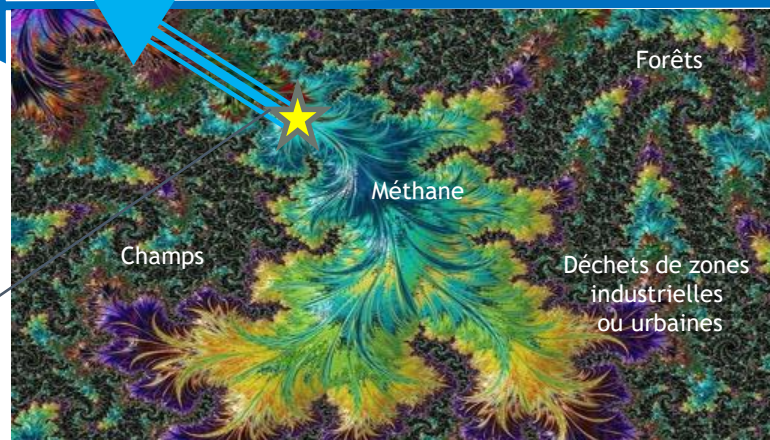
2/ C'est le meilleur (le seul ?) moyen de faire baisser le taux de carbone atmosphérique à l'échelle et dans les délais requis (1/2)



Réorganisation en cours des réseaux de distribution d'énergie

Les réseaux anciens (électriques, gaziers) sont en train d'être adaptés pour réorienter des flux des points terminaux des réseaux vers les branches centrales

Réseau de gaz régional



Biomasse = production & consommation à toutes les échelles de CH_2O , H_2 , H_2O , CO_2 , O_2

Présenté par GRTgaz comme "une véritable pièce d'orfèvrerie" et "un chef d'oeuvre de l'industrie gazière", le **poste de rebours** sert à faire remonter et sortir du réseau de distribution du gaz produit par une unité de méthanisation.

Le gaz est comprimé pour être mis à la bonne pression pour son transport. Il subit également un comptage de son volume, et un contrôle de qualité pour que le gaz injecté réponde aux standards du transporteur.

Ce circuit va à l'encontre du fonctionnement traditionnel du réseau. Historiquement, le réseau du gaz fonctionne à sens unique pour acheminer du gaz à haute pression vers des interconnexions où la pression est abaissée pour approvisionner ensuite des installations industrielles ou rejoindre le réseau de distribution. La station de rebours fait l'inverse.

(<https://www.connaissancedesenergies.org/afp/grtgaz-sadapte-la-disponibilite-croissante-de-biomethane-en-france-230210>)

Matière organique $(\text{CH}_2\text{O})_n$ et milieux vivants (émergences à l'échelle planétaire de processus d'échelle nanométrique)



BioEnergies Pourquoi ?

1/ Substituables aux énergies fossiles

2/ C'est le meilleur (le seul ?) moyen de faire baisser le taux de carbone atmosphérique à l'échelle et dans les délais requis

3/ La biomasse $n(\text{CH}_2\text{O})$ permet de constituer des chaînes énergétiques

- Microscopiques à locales à intercontinentales
- A géométrie variable, reconfigurables très rapidement

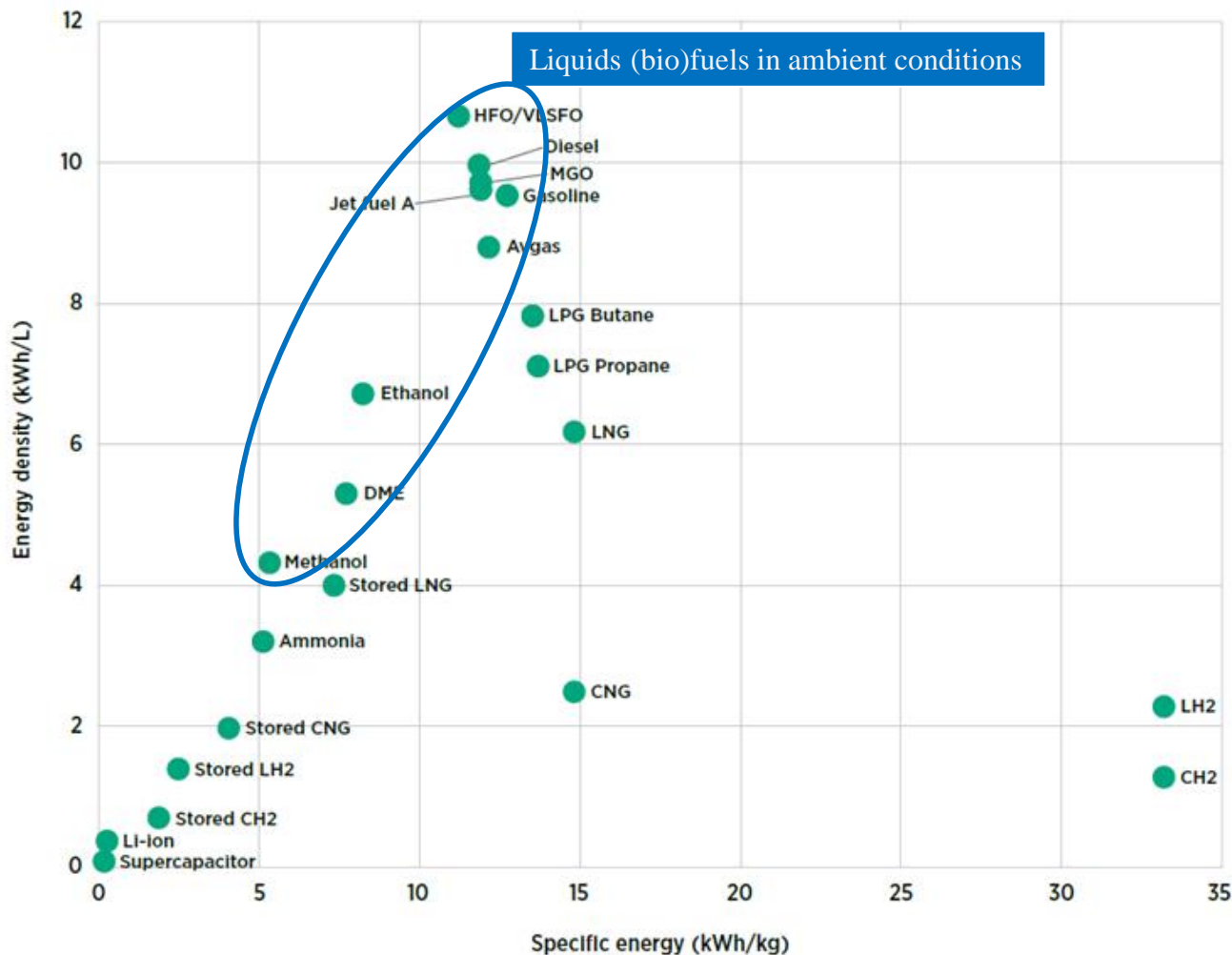
pour approvisionner le consommateur final en

- combustible liquide, solide ou gazeux,
- hydrogène ... et électricité !

Hydrogène $\{P^+ + e^-\}$ <-----> Electricité



1/ BioEnergies en substitution de carburants fossiles



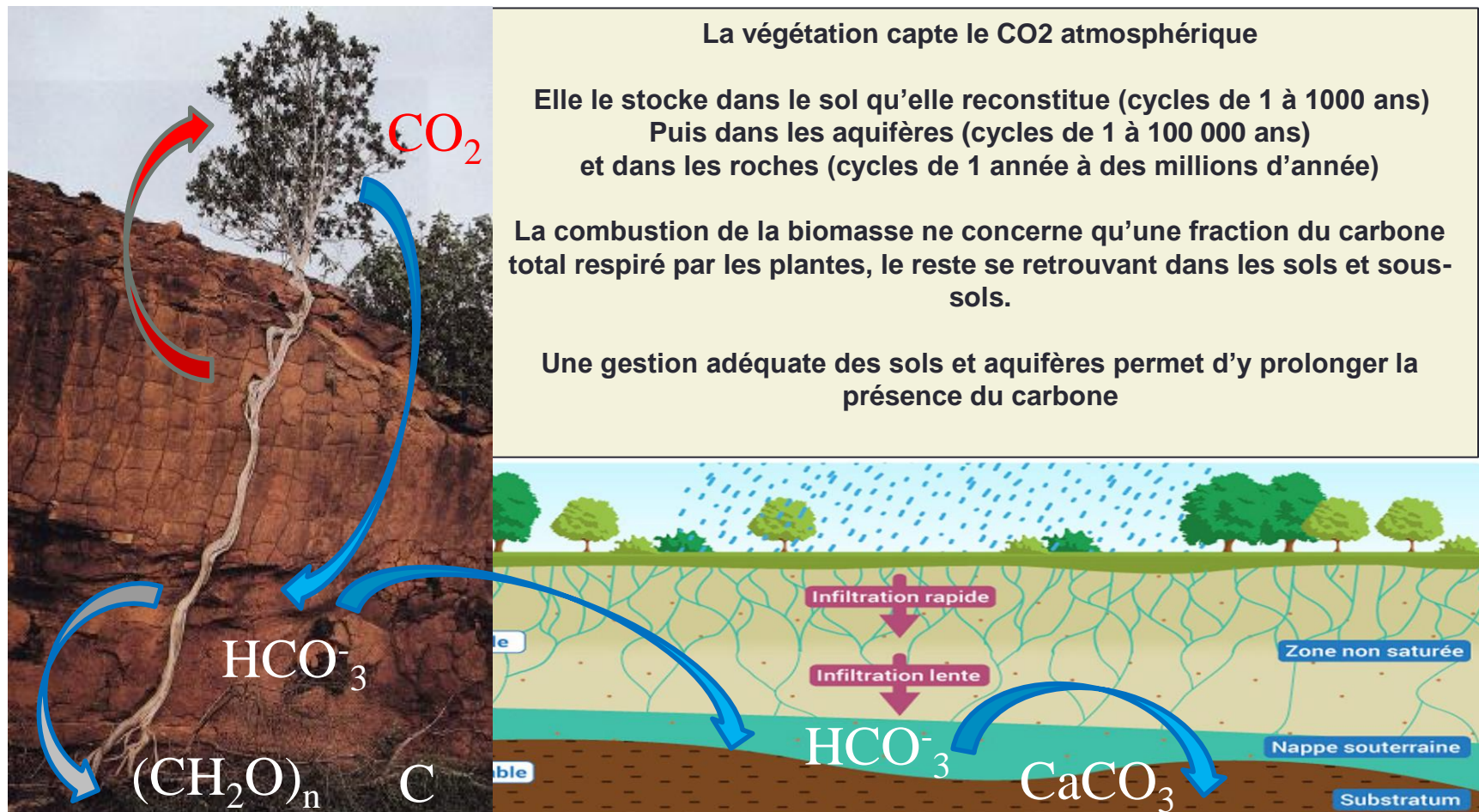
Notes: Avgas = aviation gasoline; CH2 = hydrogen compressed at 70 MPa; CNG = natural gas compressed at 25 MPa; DME = dimethyl ether; HFO/VLSFO = heavy fuel oil/very low sulphur fuel oil; LH2 = liquefied hydrogen; Li-ion = lithium-ion battery; LNG = liquefied natural gas; LPG = liquefied petroleum gas; Stored CNG = Type IV tank at 250 bar; Stored CH2 = best available CH2 tanks at 70 MPa; Stored LH2 = current small-scale LH2 on-board tanks; Stored LNG = small-scale storage at cryogenic conditions; MGO = maritime gasoil. Numbers are expressed on a lower heating value (LHV) basis. Weight of the storage equipment is included. <https://www.irena.org/Energy-Transition/Technology/Hydrogen>



2/ BioEnergies pour faire baisser les teneurs atmosphériques en composés carbonés (CO₂, CH₄,...)

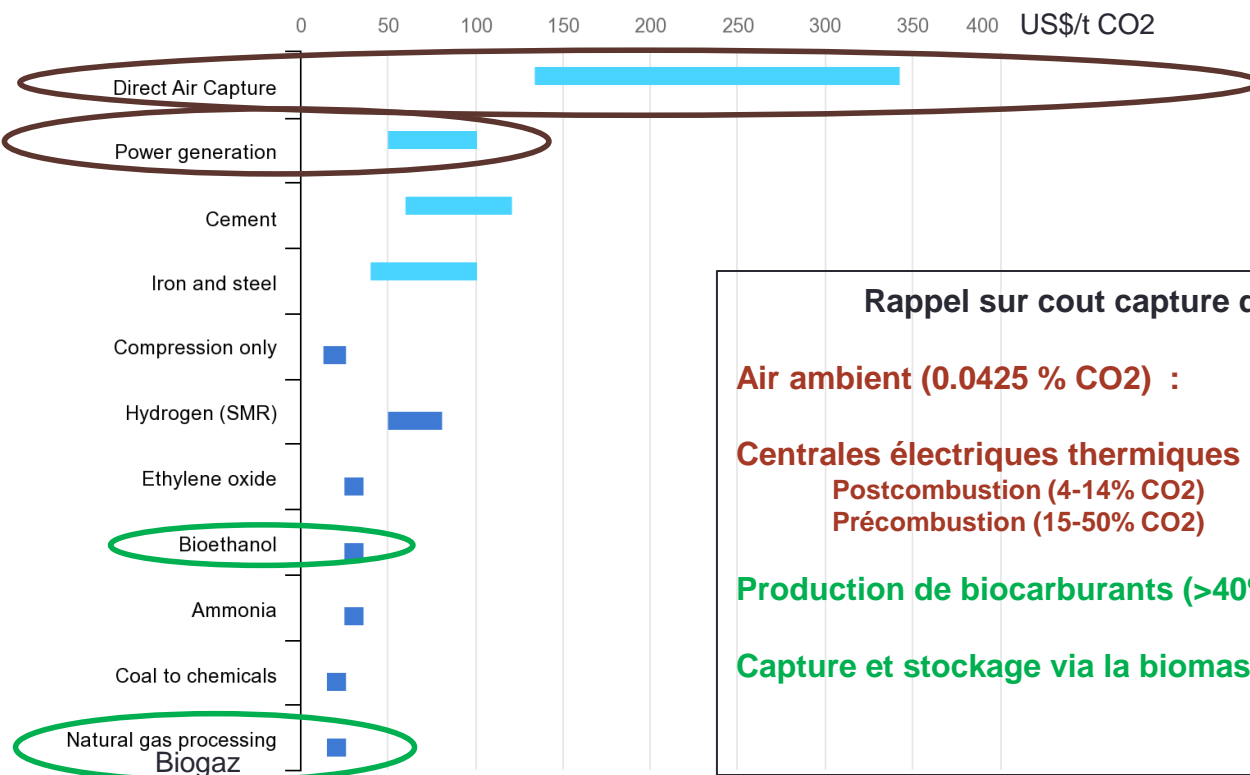
BioEnergies Pourquoi ?

2/ C'est le meilleur (le seul ?) moyen de faire baisser le taux de carbone atmosphérique à l'échelle et dans les délais requis (1/2)



BioEnergies Pourquoi ?

2/ C'est le meilleur (le seul ?) moyen de faire baisser le taux de carbone atmosphérique à l'échelle et dans les délais requis (2/2)



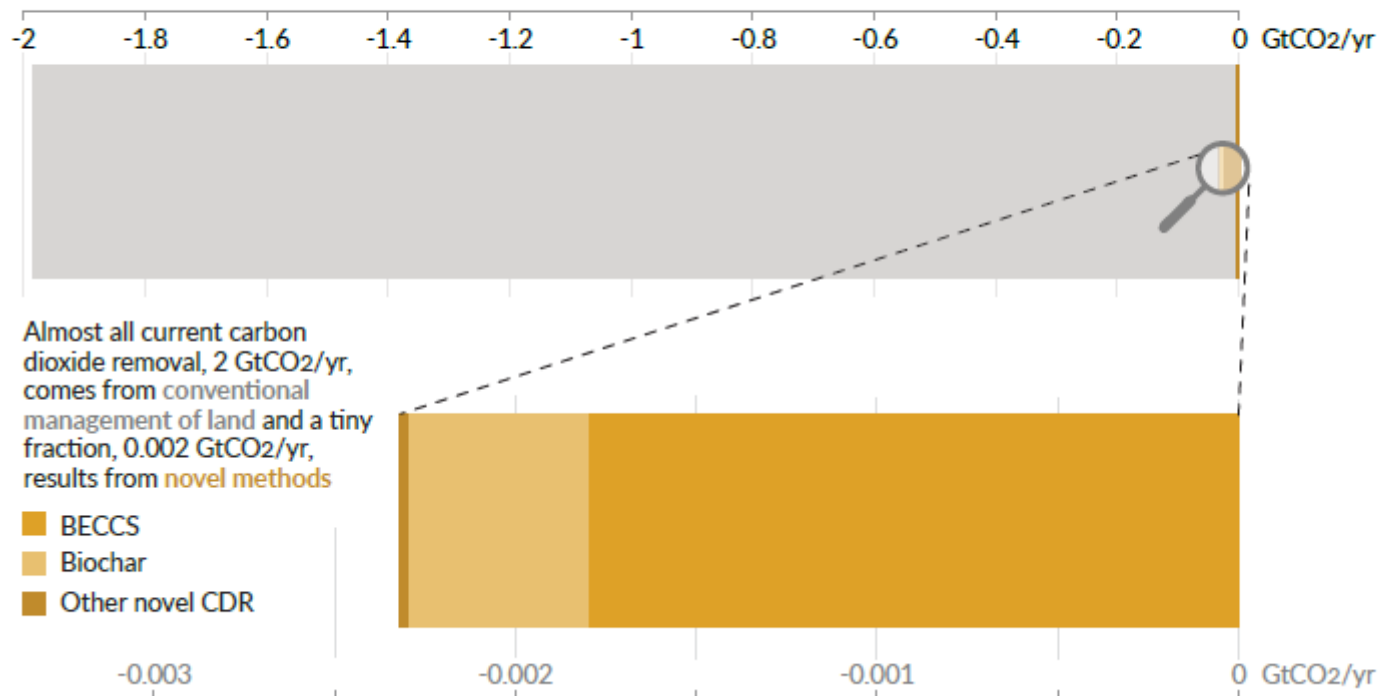
Rappel sur cout capture du carbone (source IEA 2022)

Air ambient (0.0425 % CO2) :	>130 US\$/t CO2
Centrales électriques thermiques (4%-50% CO2) :	50-100 US\$/t CO2
Postcombustion (4-14% CO2)	
Précombustion (15-50% CO2)	
Production de biocarburants (>40% CO2) :	15-35 US\$/t CO2
Capture et stockage via la biomasse :	0 US\$/t CO2

CarbonDioxide Removal (CDR)

Only a tiny fraction of all current carbon dioxide removal results from **novel methods**

Total current amount of carbon dioxide removal, split into **conventional** and **novel** methods (GtCO₂/yr)



CarbonDioxide Removal (CDR)

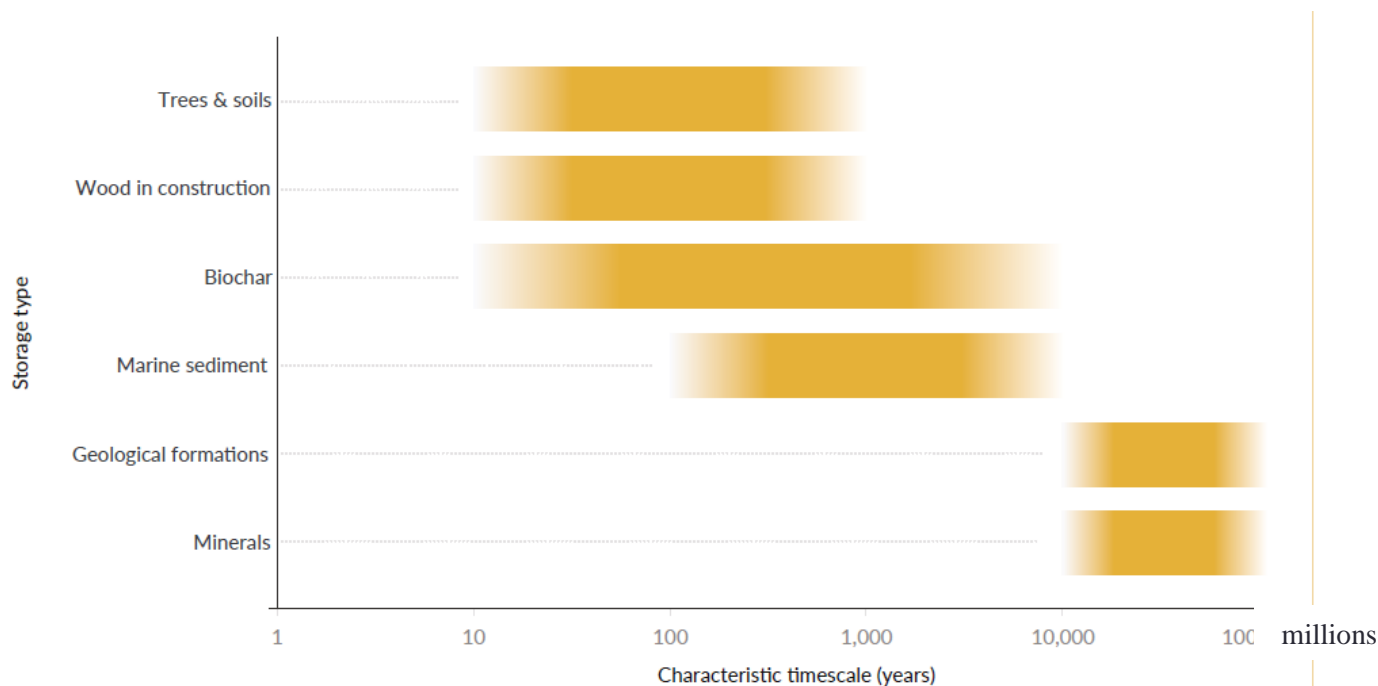


Figure 1.3. The durability of different carbon storage pools ranges from decades to tens of millennia. Note that these timescales are indicative, assuming no premature disturbance. Source: IPCC WG3 AR6 Chapters 7 & 12^{13,19}.



3/ BioEnergies

- vecteur et stock d'hydrogène
- à la base de nouvelles chaînes énergétiques locales et flexibles

Biomasse = Vecteur d'Hydrogène

1/ il existe deux types d'hydrogène : le local et le lointain

Lointain: cher à conditionner, transporter et mettre à disposition utilisateur

Local : n'a pas à supporter ces coûts

-> surtout si l'hydrogène émerge de la biomasse

2/ Les teneurs en hydrogène lointain sont les mêmes que pour l'hydrogène local

- Eau 11%
- Biomasse : 5% (bois, solide) à 25%(méthane, gaz)

3/ L'hydrogène est plus facile à produire à partir de la biomasse que de l'eau

- Electrolyser de l'eau est 5 à 7 fois plus cher énergétiquement que réformer de la biomasse
- La fermentation (voie biologique) est encore plus économique

Biomasse = Vecteur d'Hydrogène

RAPPEL

Teneur en hydrogène (% poids) de liquides les plus riches en hydrogène
En conditions ambiantes

- Hydrocarbures (alcane C_nH_{2n+2})
 - 14.2% à 16.8% H_2 (*)
- Alcools (méthanol CH_3OH , éthanol C_2H_5OH)
 - 12.5% à 13% H_2

(*) liquides ou solides pour $n \geq 5$
gazeux sinon avec 17% à 25% pour C_4H_{10} (butane) à CH_4 (méthane)

Pour mémoire

Eau H_2O

- 11% H_2

Ammoniac NH_3 (gaz)

- 17.5% H_2
(liquide sous $-33^\circ C$)

Biomasse = Vecteur d'Hydrogène

Alcools : Méthanol / Ethanol

S'obtiennent par fermentation de déchets organiques ou de biomasse
Mais également

- A partir de charbon ou d'hydrocarbures (méthanol)
- Comme carburant « vert » de synthèse (H_2+CO_2) : e-carburant

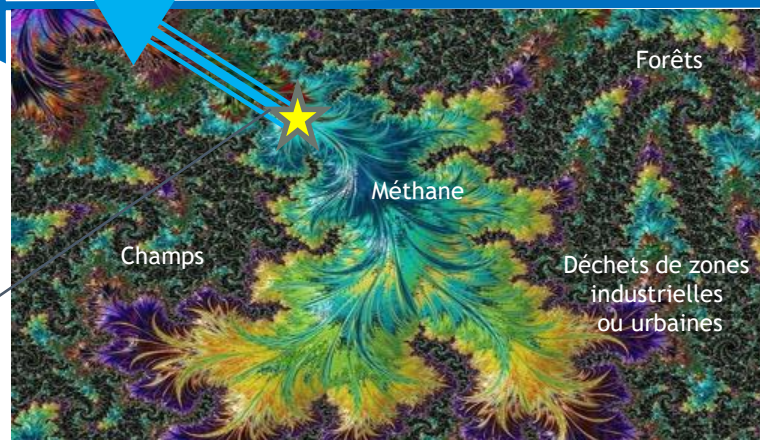
Peuvent-être utilisés pour des moteurs à explosion ou électriques

- Moteur à explosion (biocarburant)
- Pile à combustible (vecteur H_2)

Réorganisation en cours des réseaux de distribution d'énergie

Les réseaux anciens (électriques, gaziers) sont en train d'être adaptés pour réorienter des flux des points terminaux des réseaux vers les branches centrales

Réseau de gaz régional



Biomasse = production & consommation à toutes les échelles de CH_2O , H_2 , H_2O , CO_2 , O_2

Matière organique $(CH_2O)_n$ et milieux vivants (émergences à l'échelle planétaire de processus d'échelle nanométrique)

Présenté par GRTgaz comme "une véritable pièce d'orfèvrerie" et "un chef d'oeuvre de l'industrie gazière", le **poste de rebours** sert à faire remonter et sortir du réseau de distribution du gaz produit par une unité de méthanisation.

Le gaz est comprimé pour être mis à la bonne pression pour son transport. Il subit également un comptage de son volume, et un contrôle de qualité pour que le gaz injecté réponde aux standards du transporteur.

Ce circuit va à l'encontre du fonctionnement traditionnel du réseau. Historiquement, le réseau du gaz fonctionne à sens unique pour acheminer du gaz à haute pression vers des interconnexions où la pression est abaissée pour approvisionner ensuite des installations industrielles ou rejoindre le réseau de distribution. La station de rebours fait l'inverse.

(<https://www.connaissancedesenergies.org/afp/grtgaz-sadapte-la-disponibilite-croissante-de-biomethane-en-france-230210>)



4/ BioEnergies
un marché en très forte croissance
pour sécuriser les approvisionnements et diminuer les
émissions fossiles de gaz à effet de serre



Biomasse = marché en forte croissance

Marché du Méthanol

Développement exponentiel en Chine (« soleil liquide »)

- **Voie de transition du charbon vers la biomasse**
- Flottes entières de véhicules légers ou poids lourds fonctionnent au méthanol

Développement rapide en Occident (croissance >4%/an jusqu'en 2030) dans

- Transport maritime,
- Mobilité lourde,
- Alimentation électrique ou thermique fixe, du mW(électronique) au MW(sites isolés)



Biomasse = marché en forte croissance

Biocarburants gazeux et liquides
(biomasse solide non incluse)

Marché global 155 Md US\$ en 2021

- Taux de croissance de 7.1%/an prévu jusqu'en 2030
Pour atteindre 284 Md US\$ en 2030

Forte progression de l'éthanol aux US, Brésil, Mexique et autres pays en 2022

- Par exemple en France :
Carburant E85 dans les stations service en progression de 86% en 2022

Biomasse = marché en forte croissance

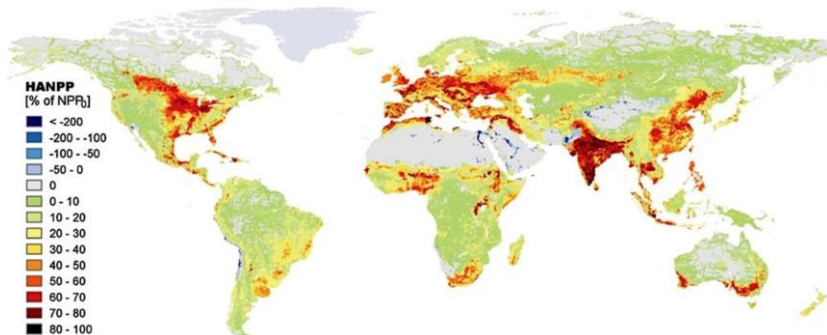
Biogaz, biochar/charbon de bois

Développements très rapides dans le monde

- Rachats en 2022 (deals pouvant dépasser 2 Md€) de producteurs de biogaz par les majors pétrolières : TotalEnergies, BP, SHELL, CHEVRON,...
- Taux de croissance de la production de biogaz mondiale 5.4% en 2022
Croissance biométhane de 20% en Europe en 2022
Il est prévu de couvrir 65% des besoins gaz européens en 2050 par du biogaz
- De nombreuses startup se lancent dans la pyrolyse du bois avec coproduction d'hydrogène et/ou biocarburants

Biomasse = des ressources à découvrir

Biomasse Primaire Photosynthétique (BPP)



Biomasse en substitution des énergies carbonées fossiles ?

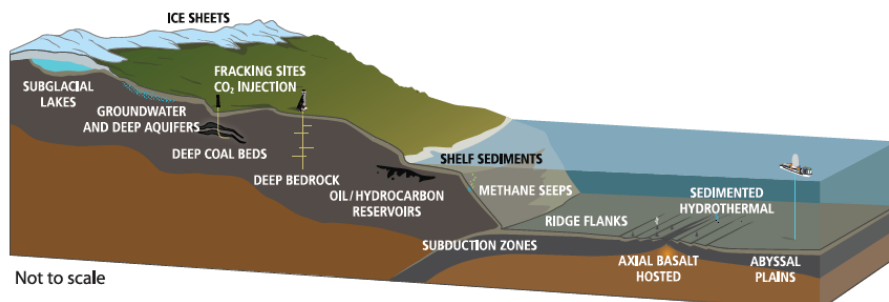
L'énergie finale nécessaire aux consommateurs pourrait leur être fournie moyennant un faible prélèvement sur les cycles du carbone de la biosphère.

Besoin final de moins de 4 Gtep/an vs plus de 120 Gtep/an de production photosynthétique primaire nette (PPN)

=> prélèvement de moins de 3.3% /an sur la photosynthèse?

Biomasse profonde : primaire chimiosynthétique et décomposition de BPP

? Gtep/an viennent de la subsurface (production ? Gtep/an, taux prélèvement ?%)



Enorme potentiel ?

La production et l'appropriation de biomasse du sol et du sous-sol restent des potentialités inexploitées

20 GtC biomasse microbienne estimée jusqu'à 5 km dans la lithosphère, sous les sols et les fonds marins. Probablement beaucoup plus

La dégradation de la matière organique par méthanogénèse génère par ailleurs des flux et des ressources de gaz biogénique et d'hydrates de méthane en zone polaire et au fond des océans (4000 GtC et 1300 Gt H₂ en place ?).