

Éléments de correction

Partie 1 – Stockage du carbone par les arbres :	
1.	Photosynthèse
2.	<p>Grandeur : X = Masse de carbone dim(Stock)=Masse, unité tC. dim(Flux)=Masse/Temps, unité tC/an Dans la phrase soulignée, le terme «stock en MtC/an» est incorrect, l'unité correspond plutôt à une variation du stock qu'on peut donc noter $\frac{\delta X}{dt}$ (bilan instantané)</p>
3.	<p>Masse molaire du CO₂ : $M_{CO_2} = M_C + 2M_O = 44g/mol$ 1 mole de carbone peut être aussi sous forme C ou CO₂. Le nombre donné correspond donc au rapport des masses molaires : $\frac{M_{CO_2}}{M_C} = \frac{44g/mol}{12g/mol} \sim 3,6$</p>
4.	<div style="display: flex; align-items: flex-start;"> <div style="flex: 1;"> <p>(Données en MtC/an)</p> </div> <div style="flex: 1;"> <ul style="list-style-type: none"> - Les unités sont indiquées (ici, MtC/an). - Le schéma est propre et clair - Justification des bilans : C'est une grandeur conservative. Bonus : les bilans pour chaque sous-système sont non stationnaires (non équilibrés), les systèmes sont ouverts <p>Données extraites du document 1 (unités MtC/an) :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Variations de stocks /an (« séquestré ») : $\frac{dX_{forêt}}{dt} = +10.2$ et $\frac{dX_{filièreBois}}{dt} = +0.6$ - Flux sur 1 an : $\frac{\delta X_{croissance}}{dt} = +30.8$ et $\frac{\delta X_{exploité}}{dt} = +20.6$ <p>Données obtenues par un bilan (unités MtC/an) :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bilan pour la {filière bois} $\frac{dX_{filièreBois}}{dt} = \frac{\delta X_{exploité}}{dt} - \frac{\delta X_{brûlé}}{dt}$ d'où $\frac{\delta X_{brûlé}}{dt} = +20$ - Bilan pour l'{atmosphère} $\frac{dX_{atmosphère}}{dt} = \frac{\delta X_{brûlé}}{dt} - \frac{\delta X_{croissance}}{dt} = -10,8$ <p>NB : la notation $\Delta X_{atmosphère} = X_{brûlé} - X_{croissance}$ est tolérée (grande échelle de temps)</p> </div> </div>
Partie 2 – Vertus et limites des pratiques de forestation	
5.	

<p>6.</p>	<p>5 mots-clés justifiés sont attendus ; des exemples possibles sont listés ci-dessous</p> <p style="text-align: center;"><u>Mots clés surlignés = enjeux cités dans l'extrait de texte n°2 donné</u></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%;"></th> <th style="width: 35%;">adaptation au dérèglement climatique</th> <th style="width: 35%;">atténuation du dérèglement climatique</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="vertical-align: middle; text-align: center;">Enjeux pour la forêt :</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> -protection des sols ; -régulateur hydrique ; - régulateur thermique (par exemple dans zones urbaines) ; -risque d'incendies ; -augmentation du risque d'évènements climatiques extrêmes (selon localisation) : sécheresses, canicules, tempêtes... - propagation de maladies et/ou parasites et/ou pathogènes ; - « effet cocktail » : les évènements climatiques (sécheresses par exemple) rendent les arbres plus vulnérables aux parasites. - différents objectifs pour le reboisement, pas toujours alignés (filière bois, protection sols, paysage...) -cycle de développement des arbres modifiés (en France métropolitaine : plus tôt au printemps et plus tard à l'automne), les exposant davantage aux gels tardifs ou précoces ; - évolution génétique des arbres très lente au regard de la vitesse d'évolution actuelle du climat -> acclimatation possible mais limitée ; </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> -c'est un puits de carbone ; - uniformisation des espèces plantées lors du reboisement ; - compétition pour l'usage des sols avec d'autres pratiques (exemple : besoin de terres pour biomasse pour énergie dans les scénarios de décarbonation) ; -diminution des ressources en eau pour d'autres activités ; </td> </tr> </tbody> </table>		adaptation au dérèglement climatique	atténuation du dérèglement climatique	Enjeux pour la forêt :	<ul style="list-style-type: none"> -protection des sols ; -régulateur hydrique ; - régulateur thermique (par exemple dans zones urbaines) ; -risque d'incendies ; -augmentation du risque d'évènements climatiques extrêmes (selon localisation) : sécheresses, canicules, tempêtes... - propagation de maladies et/ou parasites et/ou pathogènes ; - « effet cocktail » : les évènements climatiques (sécheresses par exemple) rendent les arbres plus vulnérables aux parasites. - différents objectifs pour le reboisement, pas toujours alignés (filière bois, protection sols, paysage...) -cycle de développement des arbres modifiés (en France métropolitaine : plus tôt au printemps et plus tard à l'automne), les exposant davantage aux gels tardifs ou précoces ; - évolution génétique des arbres très lente au regard de la vitesse d'évolution actuelle du climat -> acclimatation possible mais limitée ; 	<ul style="list-style-type: none"> -c'est un puits de carbone ; - uniformisation des espèces plantées lors du reboisement ; - compétition pour l'usage des sols avec d'autres pratiques (exemple : besoin de terres pour biomasse pour énergie dans les scénarios de décarbonation) ; -diminution des ressources en eau pour d'autres activités ;
	adaptation au dérèglement climatique	atténuation du dérèglement climatique					
Enjeux pour la forêt :	<ul style="list-style-type: none"> -protection des sols ; -régulateur hydrique ; - régulateur thermique (par exemple dans zones urbaines) ; -risque d'incendies ; -augmentation du risque d'évènements climatiques extrêmes (selon localisation) : sécheresses, canicules, tempêtes... - propagation de maladies et/ou parasites et/ou pathogènes ; - « effet cocktail » : les évènements climatiques (sécheresses par exemple) rendent les arbres plus vulnérables aux parasites. - différents objectifs pour le reboisement, pas toujours alignés (filière bois, protection sols, paysage...) -cycle de développement des arbres modifiés (en France métropolitaine : plus tôt au printemps et plus tard à l'automne), les exposant davantage aux gels tardifs ou précoces ; - évolution génétique des arbres très lente au regard de la vitesse d'évolution actuelle du climat -> acclimatation possible mais limitée ; 	<ul style="list-style-type: none"> -c'est un puits de carbone ; - uniformisation des espèces plantées lors du reboisement ; - compétition pour l'usage des sols avec d'autres pratiques (exemple : besoin de terres pour biomasse pour énergie dans les scénarios de décarbonation) ; -diminution des ressources en eau pour d'autres activités ; 					
<p>7.</p>	<p>Définition : ce ne sont pas les termes des définitions exacts qui sont attendus mais des explications correctes. La rétroaction est un processus dans lequel un effet intervient aussi comme agent causal sur sa propre origine.</p> <p>rétroaction positive : processus qui accentue les perturbations (donc effet instable d'auto-alimentation du processus initial) ;</p> <p>rétroaction négative : processus qui atténue les perturbations (maintient dans un équilibre stable).</p> <p>Exemples de réponses possibles :</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;"> <pre> graph TD A[↑ changement climatique] --> B[↑ du nombre d'hectares de forêts incendiés] B --> C[↑ émissions carbone dû aux forêts brûlées] C --> A </pre> </td> <td style="width: 50%; text-align: center;"> <pre> graph TD A[↑ [CO2] dans l'atmosphère] --> B[↑ croissance des arbres (cf. équation 1 photosynthèse)] B --> C[↓ [CO2] dans l'atmosphère] C --> A </pre> </td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">exemple de rétroaction positive</td> <td style="text-align: center;">exemple de rétroaction négative</td> </tr> </table>	<pre> graph TD A[↑ changement climatique] --> B[↑ du nombre d'hectares de forêts incendiés] B --> C[↑ émissions carbone dû aux forêts brûlées] C --> A </pre>	<pre> graph TD A[↑ [CO2] dans l'atmosphère] --> B[↑ croissance des arbres (cf. équation 1 photosynthèse)] B --> C[↓ [CO2] dans l'atmosphère] C --> A </pre>	exemple de rétroaction positive	exemple de rétroaction négative		
<pre> graph TD A[↑ changement climatique] --> B[↑ du nombre d'hectares de forêts incendiés] B --> C[↑ émissions carbone dû aux forêts brûlées] C --> A </pre>	<pre> graph TD A[↑ [CO2] dans l'atmosphère] --> B[↑ croissance des arbres (cf. équation 1 photosynthèse)] B --> C[↓ [CO2] dans l'atmosphère] C --> A </pre>						
exemple de rétroaction positive	exemple de rétroaction négative						

8.	<p>Services écosystémiques : les services que la nature rend à l'homme au travers du fonctionnement et de la résilience des écosystèmes naturels et anthropisés (c'est une notion anthropocentrée). Exemples de services écosystémiques : (3 sont attendus)</p> <table border="1" data-bbox="188 293 1289 999"> <tr> <td rowspan="2" style="background-color: #1a3d4d; color: white; text-align: center;">Biens produits</td> <td style="background-color: #8eb9e0;">Fourniture de bois (énergie et matériau)</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #8eb9e0;">Fourniture de biens forestiers non ligneux (dont plantes aromatiques, substances naturelles et molécules)</td> </tr> <tr> <td rowspan="5" style="background-color: #00b0c0; color: white; text-align: center;">Services de régulation</td> <td style="background-color: #e0f7f7;">Régulation de la température et du microclimat local</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #e0f7f7;">Stockage du carbone et atténuation du changement climatique</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #e0f7f7;">Qualité et disponibilité en eau</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #e0f7f7;">Protection contre les aléas naturels (crues, avalanches, glissements de terrain, etc.) et sur les littoraux (stabilisation des dunes, de certains traits de côte, etc.)</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #e0f7f7;">Formation et stabilisation des sols</td> </tr> <tr> <td rowspan="3" style="background-color: #c0e040; color: white; text-align: center;">Services culturels et récréatifs</td> <td style="background-color: #e0f2c1;">Activités récréatives et de bien-être (baignade, inspiration artistique, sport, cueillette)</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #e0f2c1;">Chasse</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #e0f2c1;">Soutien aux activités de recherches scientifiques et éducatives (observation naturaliste)</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #8e7cc3; color: white; text-align: center;">Patrimoine naturel</td> <td style="background-color: #e0d5ff;">Labellisation et valeurs patrimoniales des forêts françaises</td> </tr> </table> <p>Source de l'image</p>	Biens produits	Fourniture de bois (énergie et matériau)	Fourniture de biens forestiers non ligneux (dont plantes aromatiques, substances naturelles et molécules)	Services de régulation	Régulation de la température et du microclimat local	Stockage du carbone et atténuation du changement climatique	Qualité et disponibilité en eau	Protection contre les aléas naturels (crues, avalanches, glissements de terrain, etc.) et sur les littoraux (stabilisation des dunes, de certains traits de côte, etc.)	Formation et stabilisation des sols	Services culturels et récréatifs	Activités récréatives et de bien-être (baignade, inspiration artistique, sport, cueillette)	Chasse	Soutien aux activités de recherches scientifiques et éducatives (observation naturaliste)	Patrimoine naturel	Labellisation et valeurs patrimoniales des forêts françaises
Biens produits	Fourniture de bois (énergie et matériau)															
	Fourniture de biens forestiers non ligneux (dont plantes aromatiques, substances naturelles et molécules)															
Services de régulation	Régulation de la température et du microclimat local															
	Stockage du carbone et atténuation du changement climatique															
	Qualité et disponibilité en eau															
	Protection contre les aléas naturels (crues, avalanches, glissements de terrain, etc.) et sur les littoraux (stabilisation des dunes, de certains traits de côte, etc.)															
	Formation et stabilisation des sols															
Services culturels et récréatifs	Activités récréatives et de bien-être (baignade, inspiration artistique, sport, cueillette)															
	Chasse															
	Soutien aux activités de recherches scientifiques et éducatives (observation naturaliste)															
Patrimoine naturel	Labellisation et valeurs patrimoniales des forêts françaises															
Partie 3 – <i>Compensation et neutralité carbone</i>																
9.	<p>trafic aérien français ≈ 24,3 Mt de CO₂ par an, or la forêt française stocke 10,2 MtC par an càd, d'ap. la Q3 (en considérant que ça n'a pas varié) : $10,2 \times 3,664 = 37,4 \text{ MtCO}_2/\text{an}$ donc les émissions de CO₂ du trafic aérien ≈ env. 2/3 de ce que la forêt française peut capter chaque année (sur le papier, ça « compense ») mais le trafic aérien n'est pas le seul secteur émetteur de GES (ces émissions représentent env. 5 à 6 % des émissions globales de la Franceⁱ) et le « trafic aérien français » ne compte que les vols <u>au départ de la France</u>, pas ceux qui partent d'un autre pays donc impossibilité d'atteindre la neutralité carbone du trafic français actuel par compensation en plantant des arbres sauf en éliminant complètement toutes les autres sources d'émission carbone (<i>compter bon pour élt de discussion pertinent</i>)</p>															
10.	<p>a). lecture graph. (fig 4) : en 30 ans, plantation stocke 407 tC.ha⁻¹ (accepter $400 \leq \dots \leq 415 \text{ tC.ha}^{-1}$) donc une moyenne annuelle de $\frac{407}{30} = 13,6 \text{ tC.an}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$ (entre 13,3 et $14 \text{ tC.an}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$) b). sur 10 ans, d'après le calcul de l'ONF : $13,6 \times 10 = 136 \text{ tC.ha}^{-1}$ en réalité (par lecture graphique) : la plantation stocke 67 tC.ha⁻¹ (accepter $60 \leq \dots \leq 75 \text{ tC.ha}^{-1}$) <i>Conclusion</i> : si la durée de vie de la plantation est de 10 ans, elle stockera environ 2 fois moins de carbone que ne va le calculer l'ONF (et le déclarer l'entreprise) or avec le chgmt climatique, les risques ↗ que les arbres ne vivent pas 30 ans (cf. Q5 par ex.) ⇒ risque de surévaluer la compensation carbone réelle</p>															
11.	<p>Donner des points pour tout enjeu cohérent avec l'extrait explicité ; on peut par ex. citer :</p> <ul style="list-style-type: none"> - risque d'1 effet rebond (comme on « compense » les émissions, on peut « continuer à polluer », et continuer à œuvrer à la croissance du trafic aérien, tout en s'affichant neutre) ; - enjeu de justice sociale (émissions des populations riches sont compensées au détriment de populations plus pauvres, habitant généralement dans des pays plus pauvres également) ; - arbitrage / compétition pour l'usage des terres (la surface de terres disponibles est finie ⇒ faut-il faire disparaître des terres agricoles pour reforester ?) 															

Des compléments sur cette thématique pour approfondir la question :

- La capacité des forêts françaises à stocker du carbone a déjà été divisée par 2 en une dizaine d'année (cause principale : le changement climatique, responsable de l'augmentation de la mortalité des arbres – et ce sont en général les arbres les plus jeunes qui sont touchés – et d'une diminution de la croissance des arbres ; cause secondaire : la récolte de la filière bois a augmenté, diminuant la quantité de carbone nette stockée par la filière bois : cf. question 4) – source et explications : *Présentation orale de P. CLAIS: Les forêts françaises face au changement climatique dans le cadre des journées [L'URGENCE CLIMATIQUE : UN TOURNANT DÉCISIF ? 8-9 mars 2024, Académie des Sciences, France](#)*
- Actualités du 30 avril 2024 : la commission européenne épingle 20 compagnies aériennes pour « *pour pratiques d'écoblanchiment trompeuses* » :
https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/fr/ip_24_2322
- Un document sur [l'impact du changement de l'affectation d'usage des sols sur le stock de carbone qu'ils contiennent](#).
- Et un clin d'œil :



Illustration de Maurèen Poignonec,

¹ Rapport [Décarbonation du secteur aérien \(juin 2023\)](#)