



Mécanismes de réponse de la photosynthèse au CO₂ élevé

Les plantes dans un environnement à fort CO₂: contraintes et opportunités

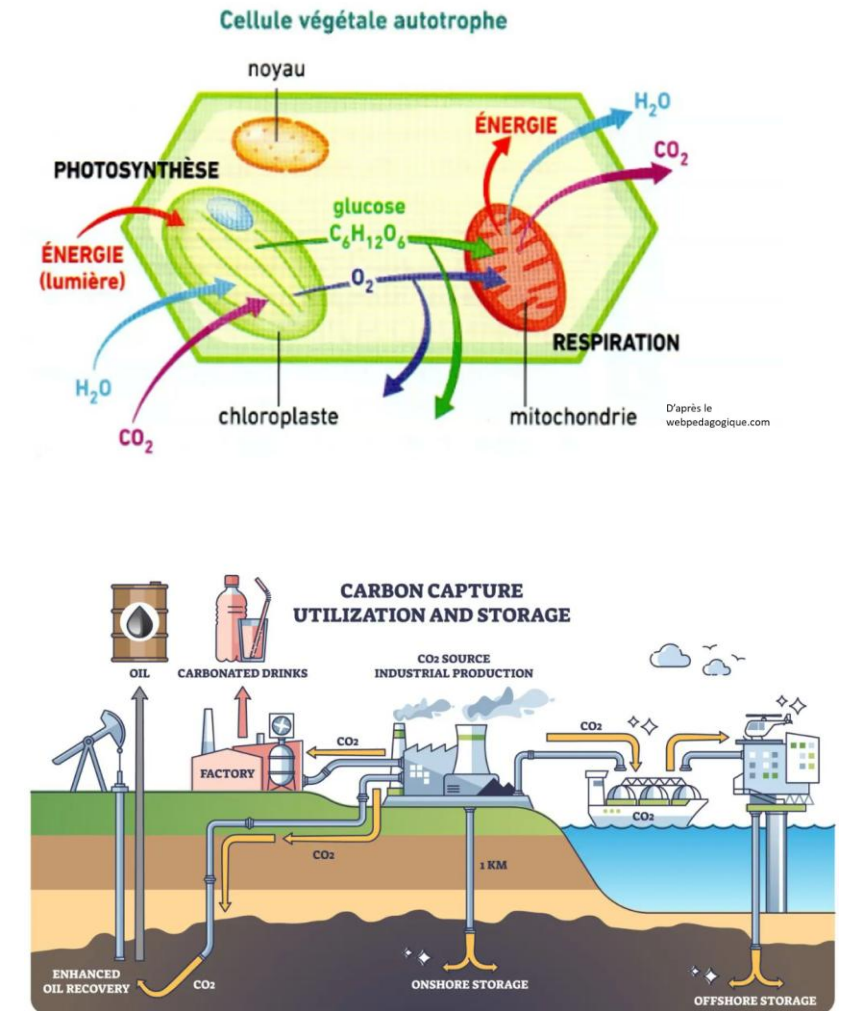
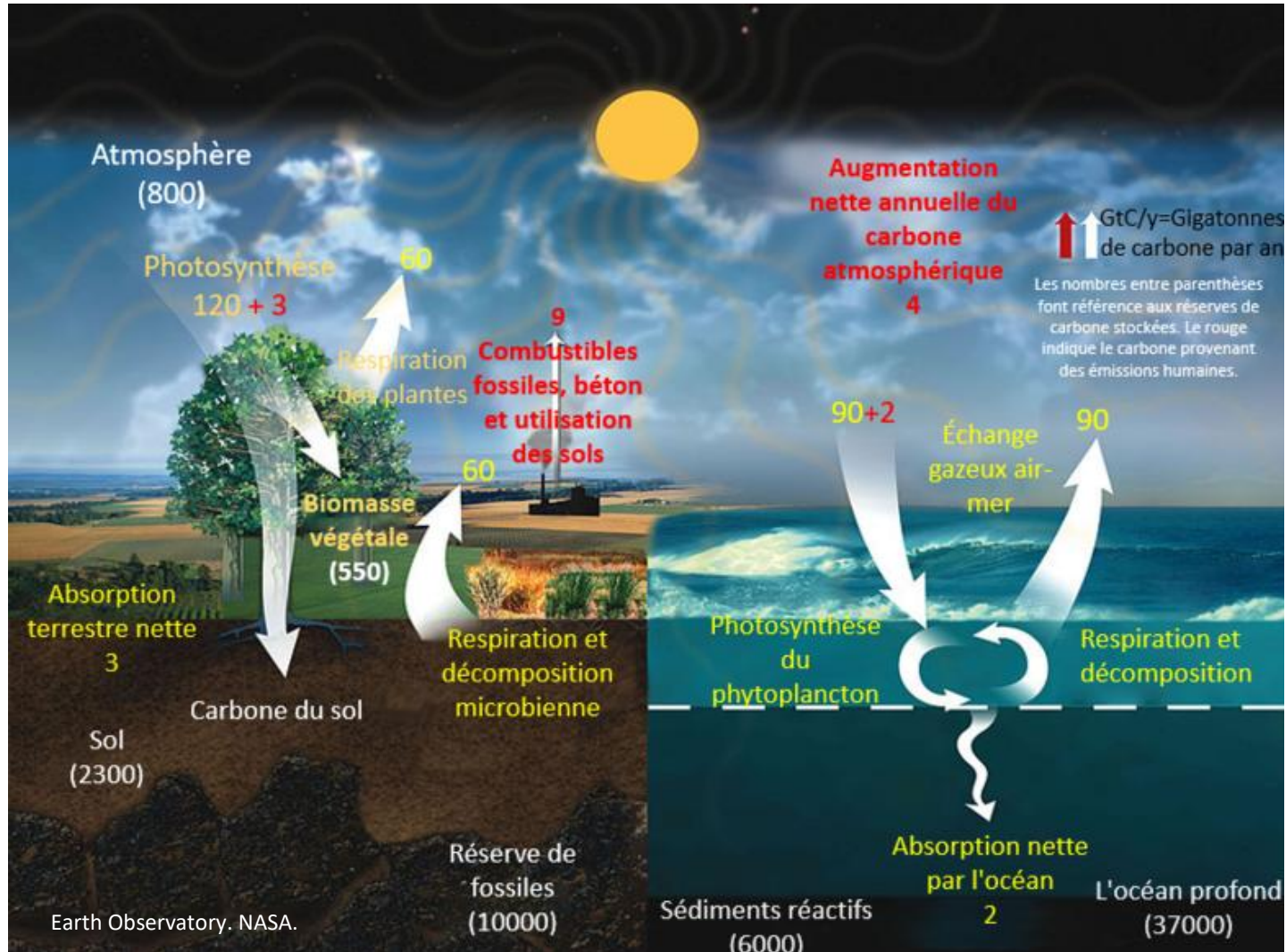
Institut de France, quai de Conti, Paris. 30 Septembre 2025

Xenie Johnson

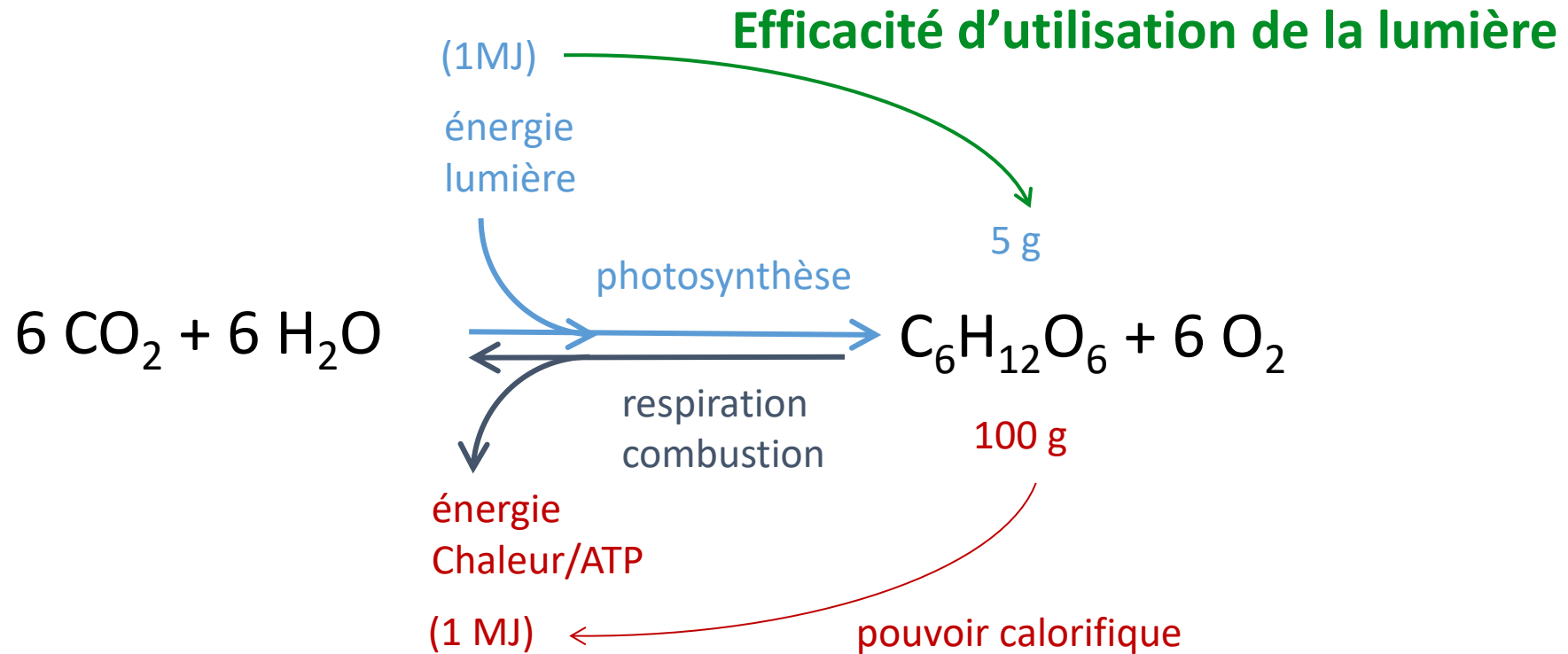
Directrice de Recherche, Equipe Photosynthèse et Environnement

BiAM, CEA Cadarache

Écosystèmes photosynthétiques : aperçu de la contribution terrestre et océanique au cycle du carbone

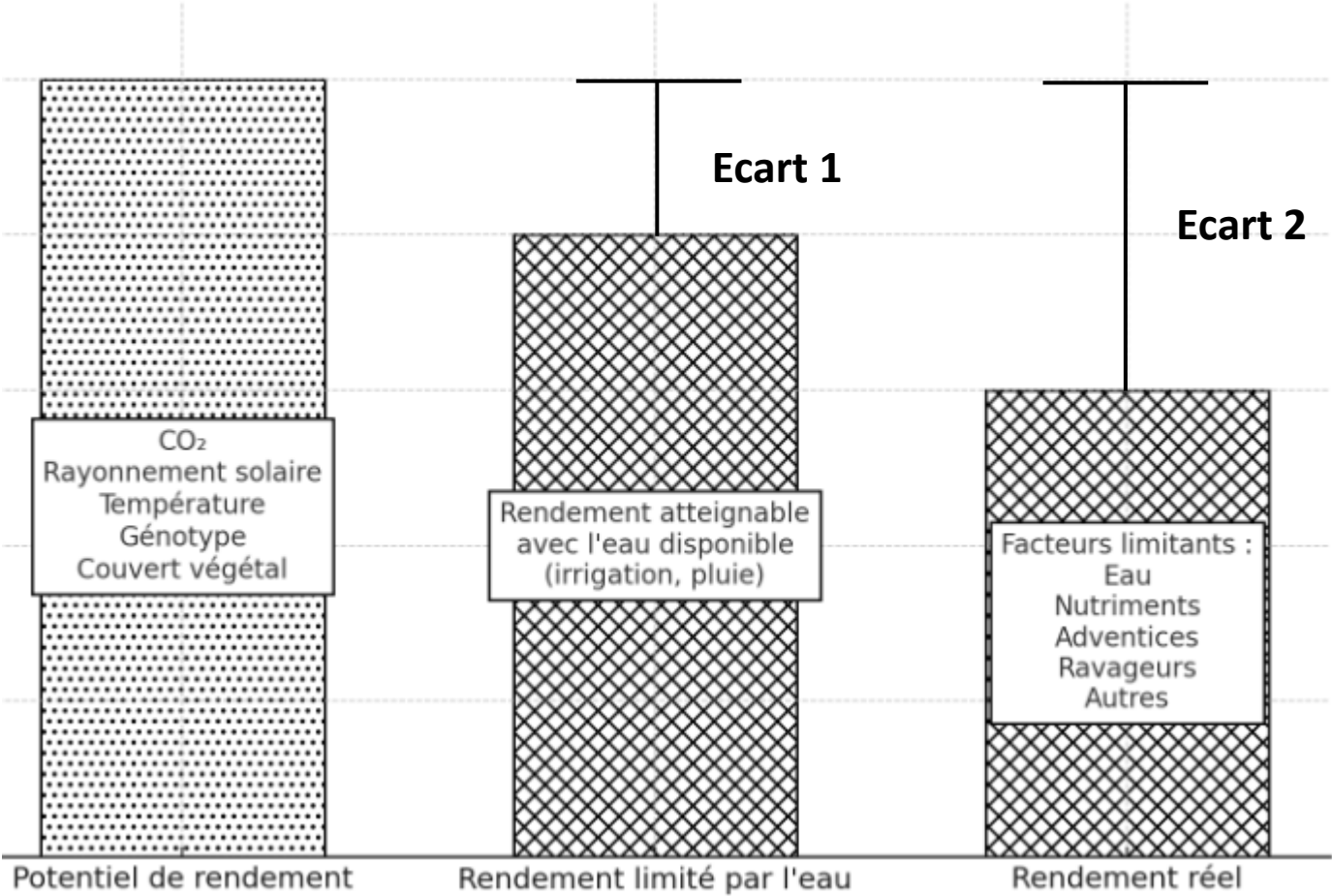


Energétique de la photosynthèse, de la respiration et de la combustion



HdR J. Alric 2018

Ecart (Yield gap) entre potentiel de rendement (Yield potential) et rendement réel



Yield Potential: Its Definition, Measurement, and Significance

L. T. Evans* and R. A. Fischer

Crop Science, 39, 1544-1551, 1999

L'efficacité d'utilisation de la lumière d'une plante en C3 n'est que d'environ 3 % Pourquoi ?

$$\text{Photosynthèse (LUE)} = \frac{\text{\# CO}_2}{\text{\# photons}}$$

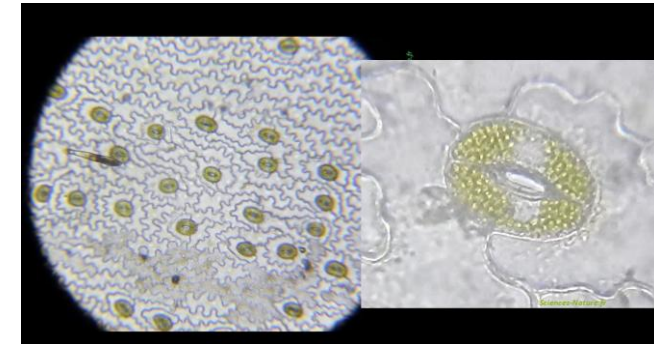
Transport / diffusion

- Conductance stomatique et transpiration
- Conductance du mésophylle
- Carboxylation / oxygénation

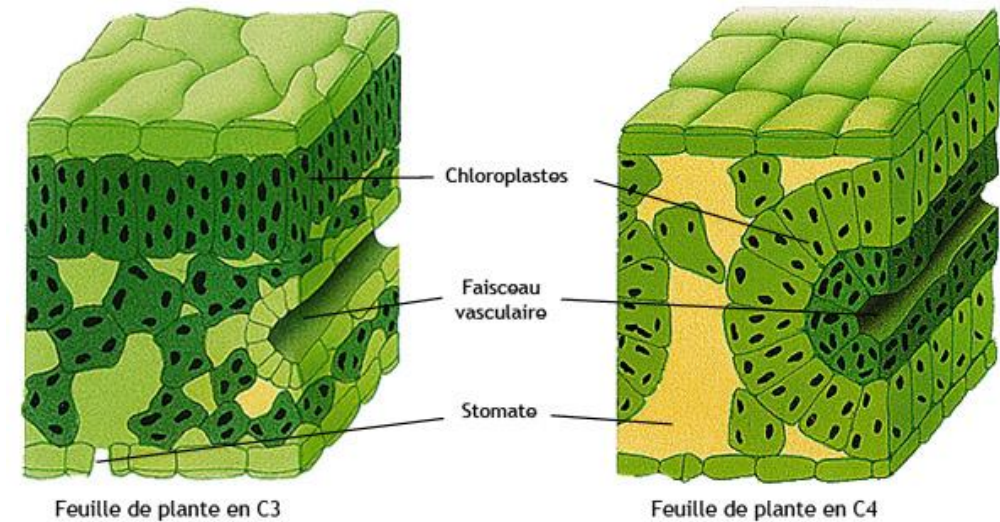
Taille d'Antenne Chlorophyllienne

- Contenu en chlorophylle
- Transition d'état
- L'extinction non-photochimique (NPQ)

Anatomie de la plante et de la feuille au niveau cellulaire

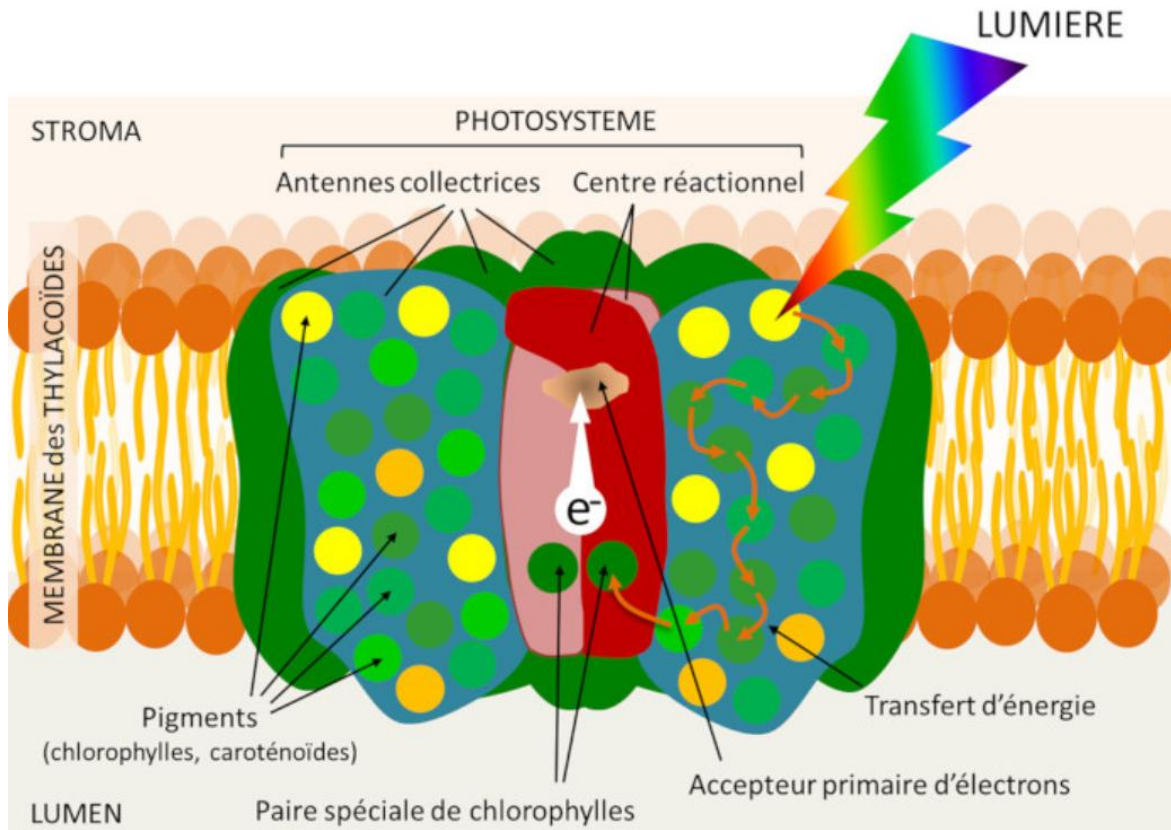


A. J. Westgeest et al., The Plant Cell, 2023.

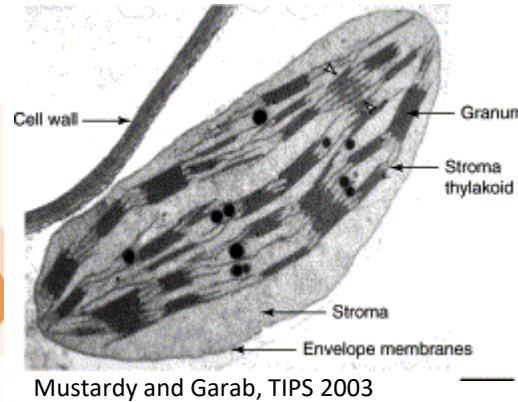


<https://botarela.fr/Poaceae/Famille/Photosynthese-2.html>

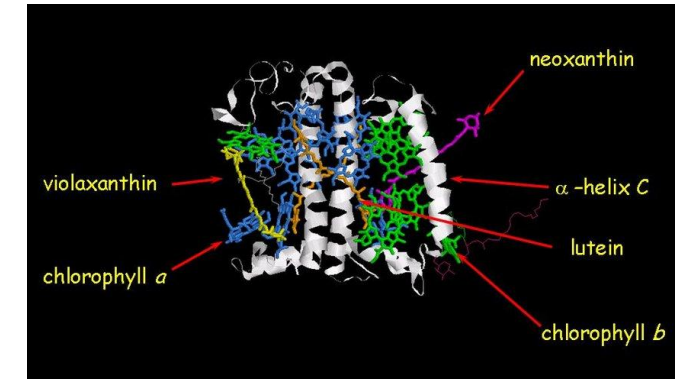
Les Antennes Chlorophylliennes: Captation de la Lumière et NPQ



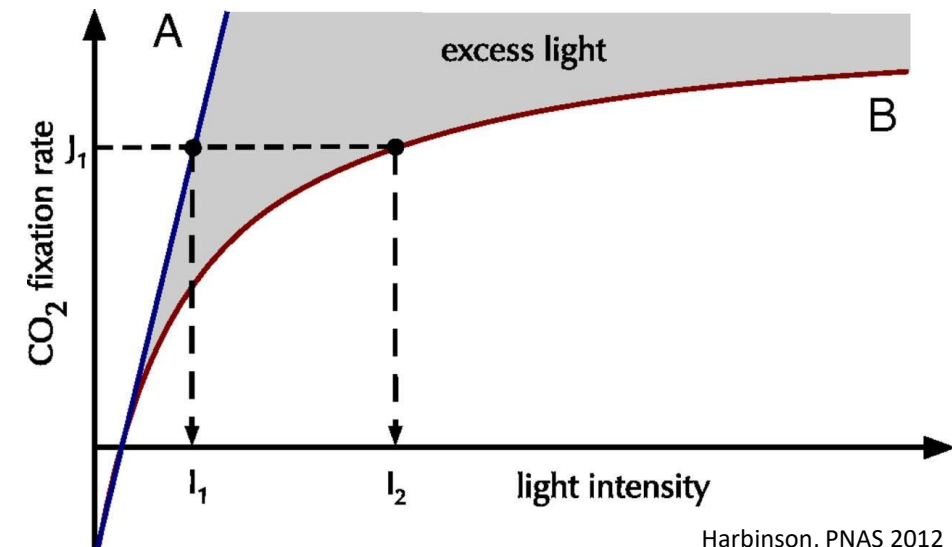
Joyard et Morot-Gaudry, <https://www.encyclopedie-environnement.org/vivant/lumiere-photosynthese/>



Mustardy and Garab, TIPS 2003



Gruszecki et al, SPIE 2008

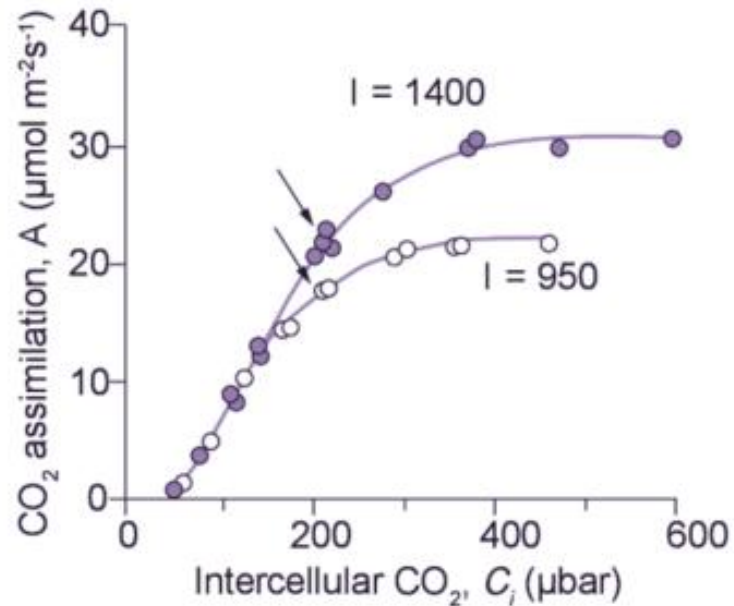


Harbinson, PNAS 2012

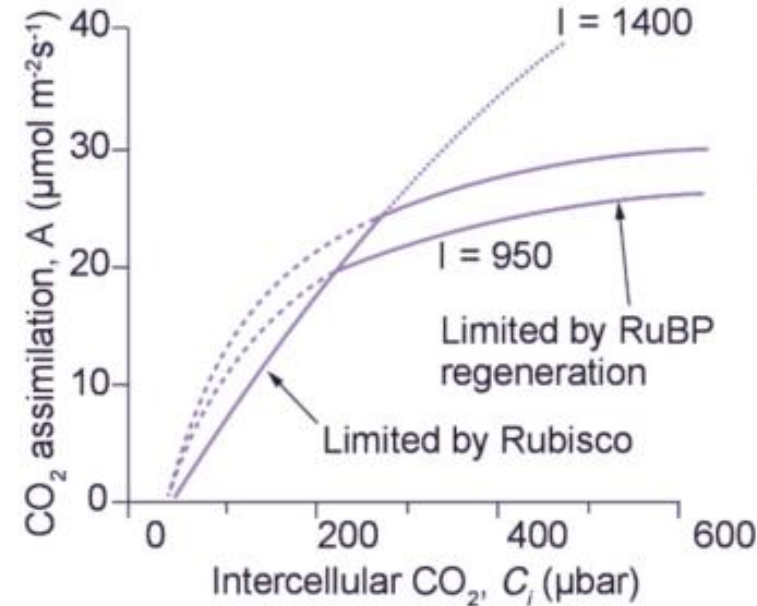
Assimilation du CO₂ (LICOR) et courbes A-Ci



LI-COR Environmental
LI-6400/XT | Dark Adapting Clip Kit



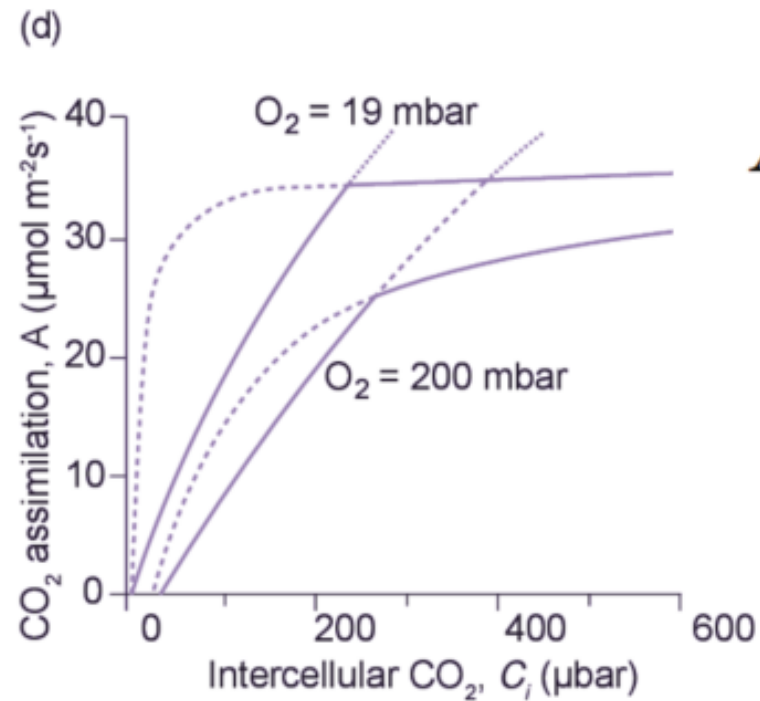
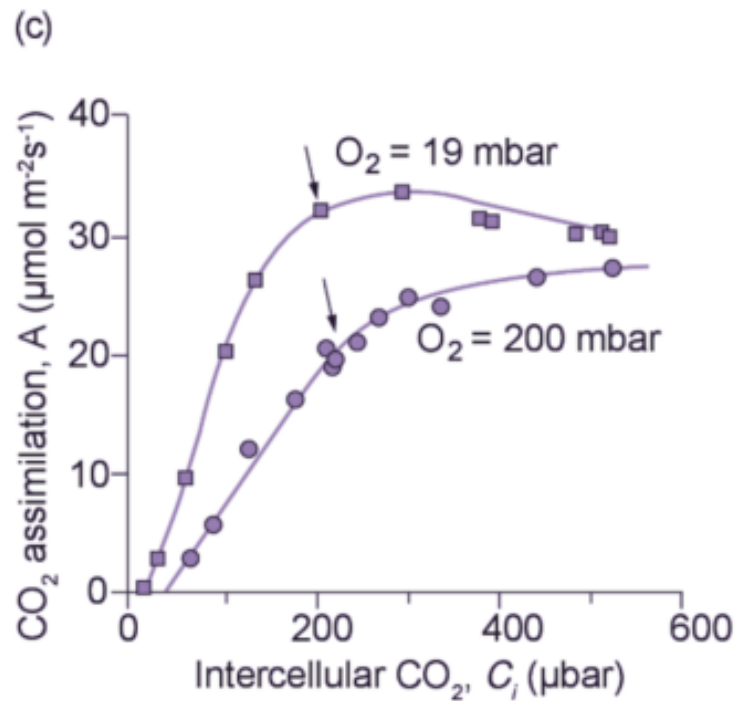
$$A = \frac{(C_i - \Gamma_*) V_{cmax}}{C_i + K_c (1 + O/K_o)} - R$$



$$A = \frac{J (C_i - \Gamma_*)}{4.5 C_i + 10.5 \Gamma} - R$$

Mesurer la photosynthèse de façon non invasive (<https://rseco.org/content/case-study-11-development-aci-curves.html>) :

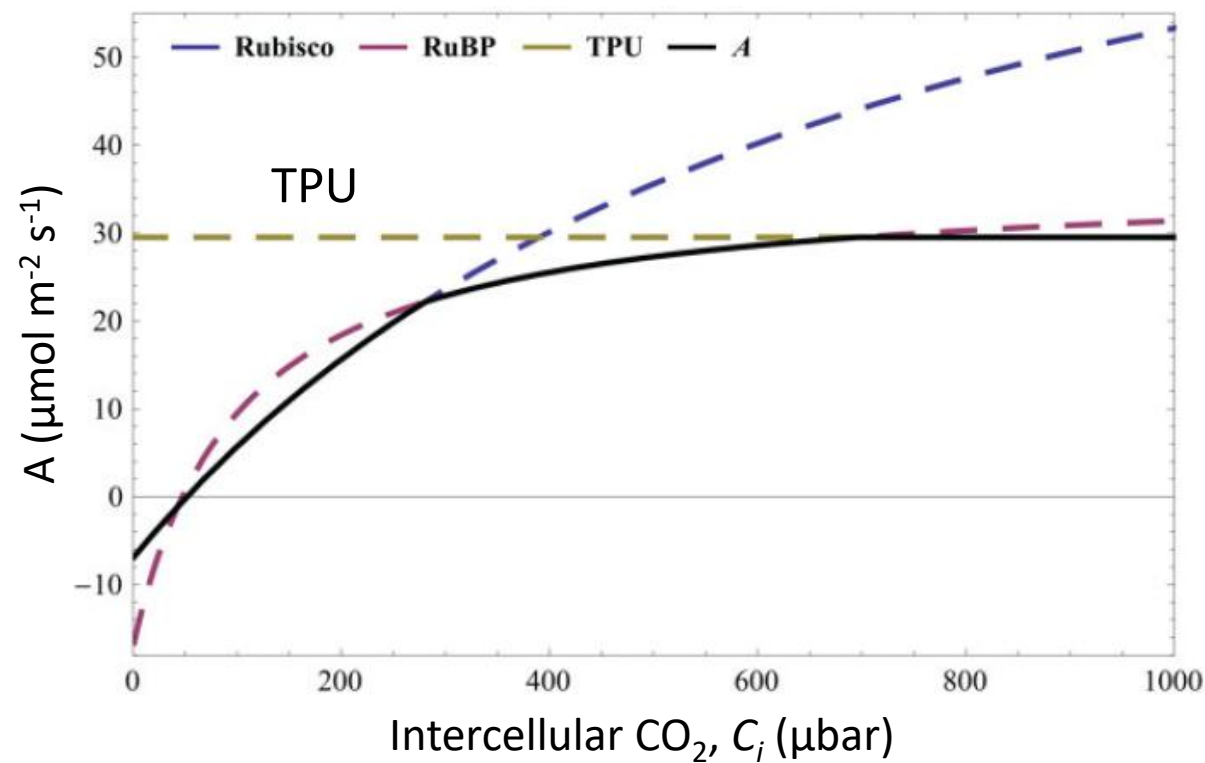
Effet de l'oxygène sur A, l'assimilation de CO₂: La Photorespiration



$$A = \frac{(C_i - \Gamma_*) V_{cmax}}{C_i + K_c (1 + O/K_o)}$$

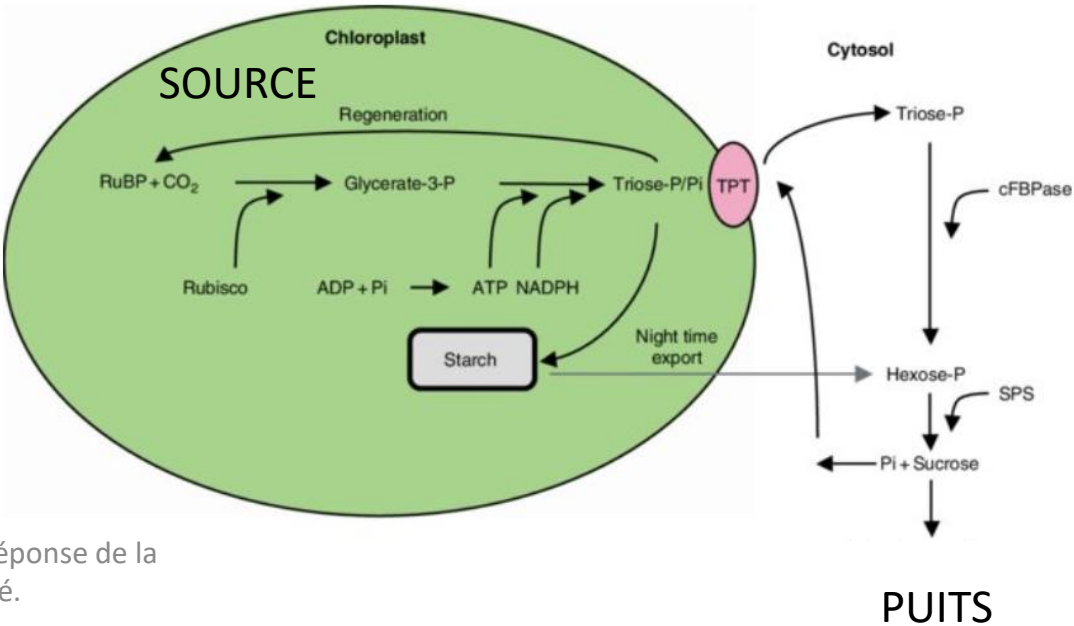
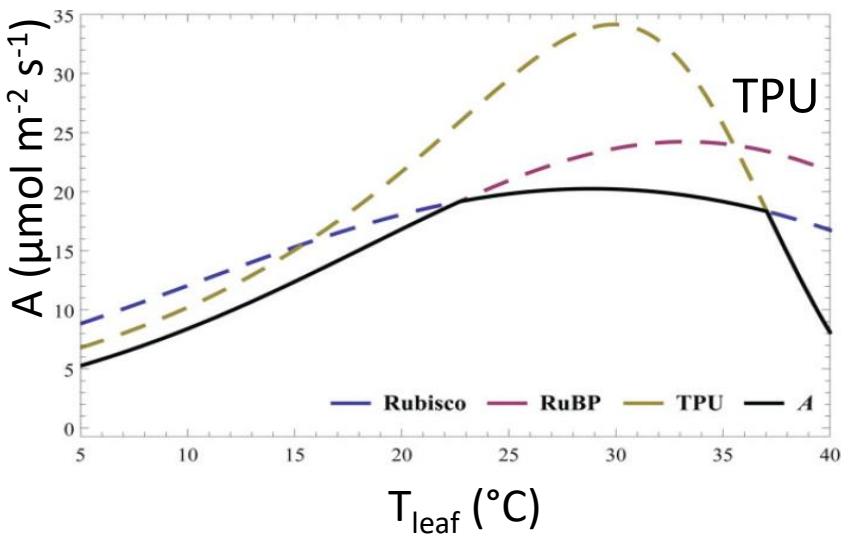
Assimilation du CO₂ en fort CO₂: TPU

Courbe de réponse photosynthétique au CO₂

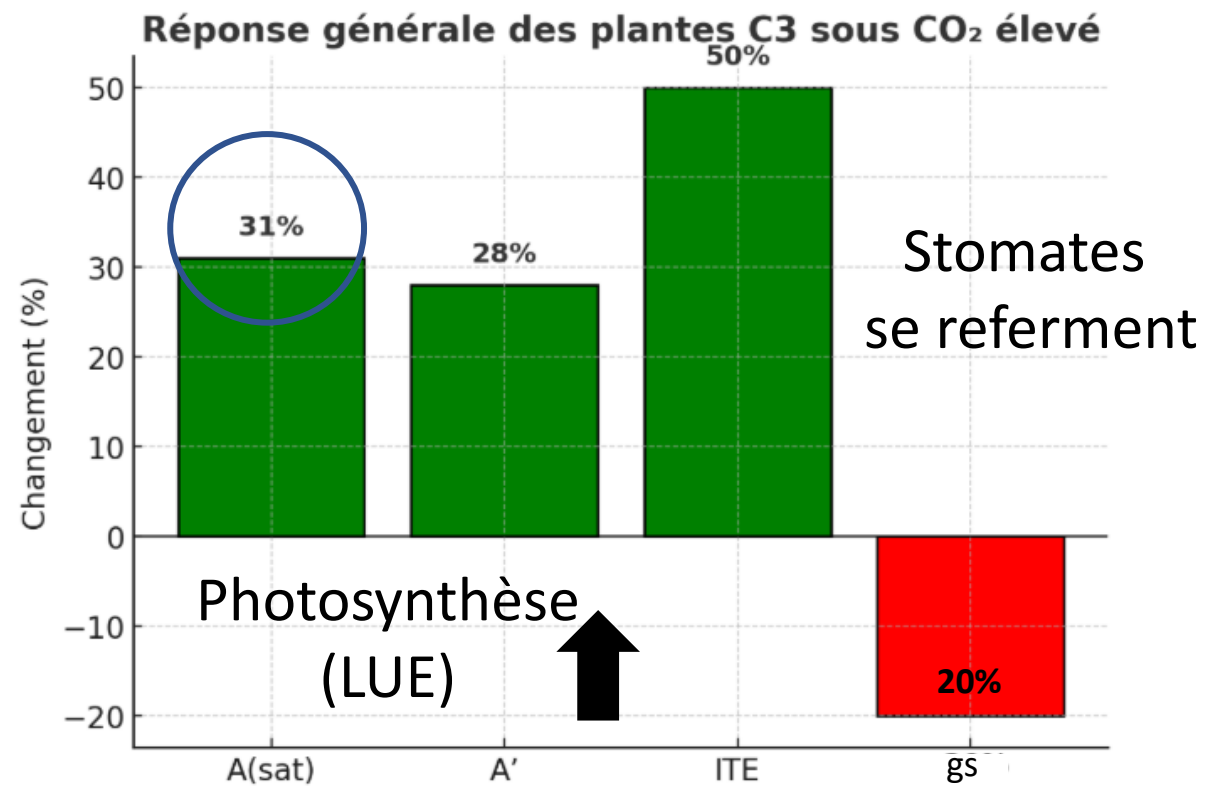


Bernacchi et al., PCE 2013

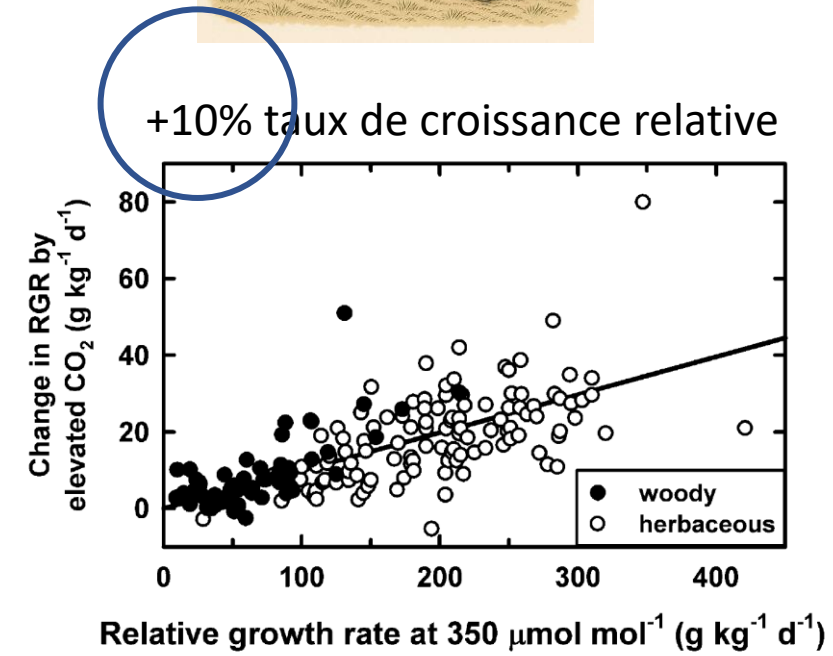
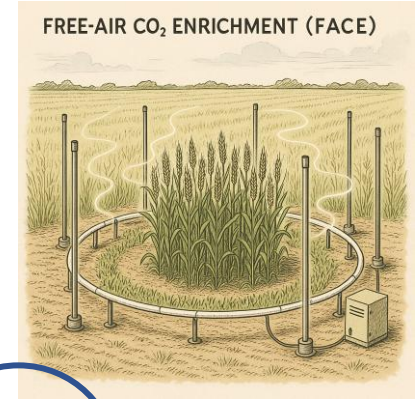
réponse photosynthétique à la température foliaire



Les Effets du CO₂ élevé sur les espèces en C3



Ainsworth and Long 2005; Ainsworth and Rogers 2007 PCE



Kirschbaum, Plant Physiol. 2011

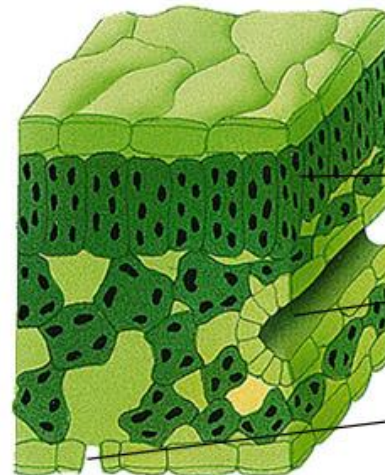
Effet du CO₂ élevé sur les espèces en C3 par rapport aux C4

Plantes C3



+ 30% A_{sat}

+ 17 % rendement



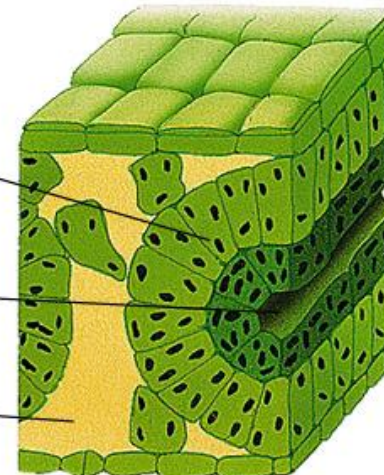
Feuille de plante en C3

Plantes C4



0 % A_{sat}

+ 20% WUE



Feuille de plante en C4

Différentes réponses du rendement et de l'acclimatation au CO₂ élevé

+ 47 % A_{sat}

+ 35 % A_{sat}

+ 37 % A_{sat}

+ 21 % A_{sat}

+ 23 % A_{sat}

Arbres

Herbacées

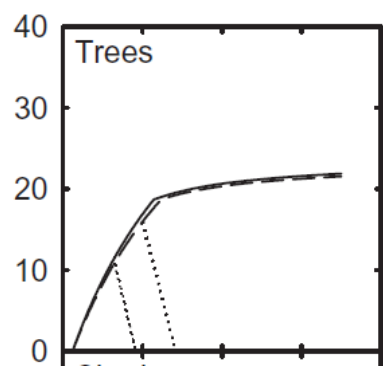
Culture C3

Arbustes

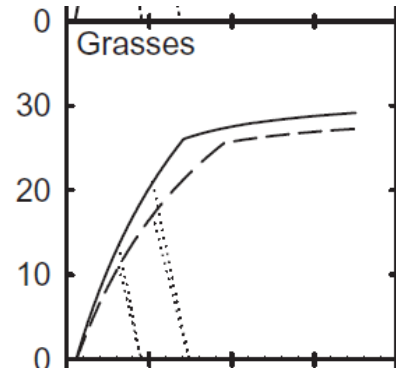
Légumineuses



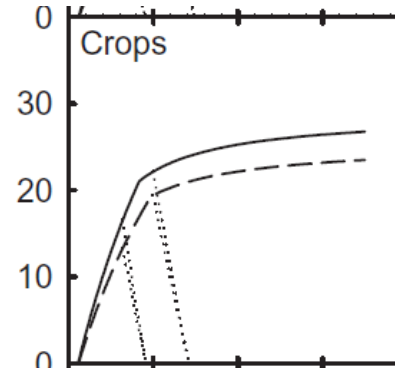
Differentes réponses en rendement et de l'acclimatation au CO₂ élevé



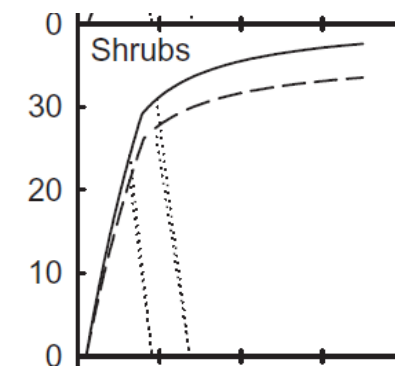
Arbres



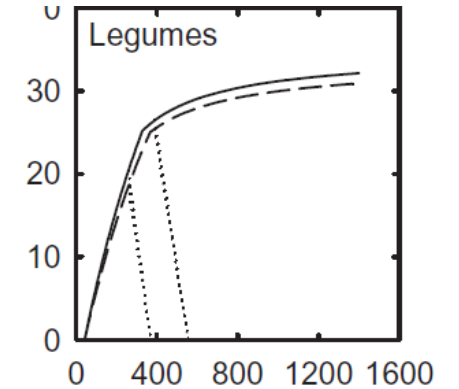
Herbaceae



Culture C3



Arbustes



Legumineuses

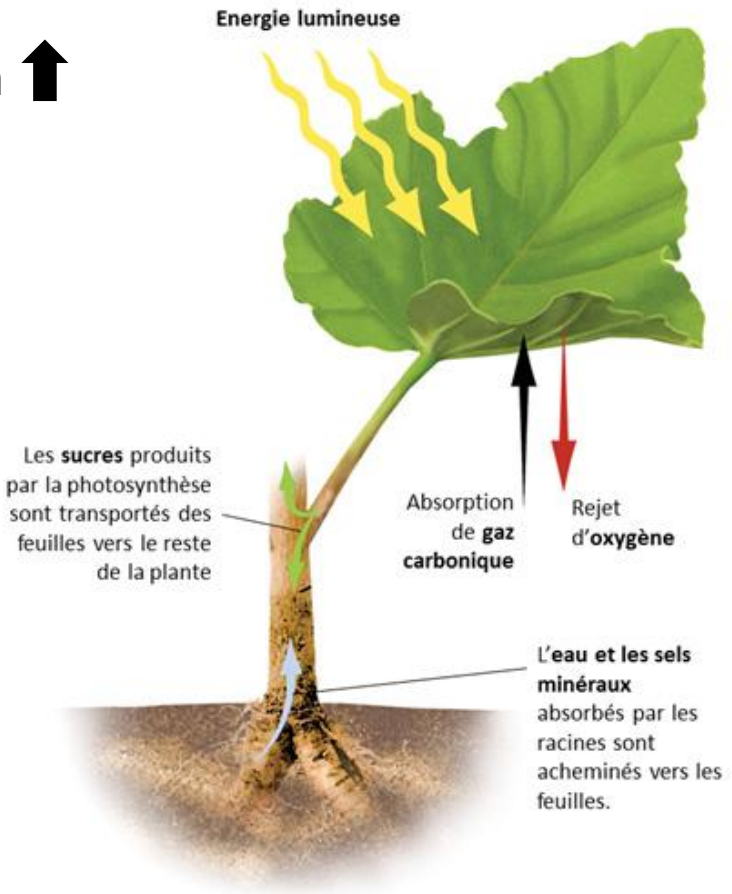


Facteurs qui régulent la réponse au CO₂ élevé et l'acclimatation

C/N ratio

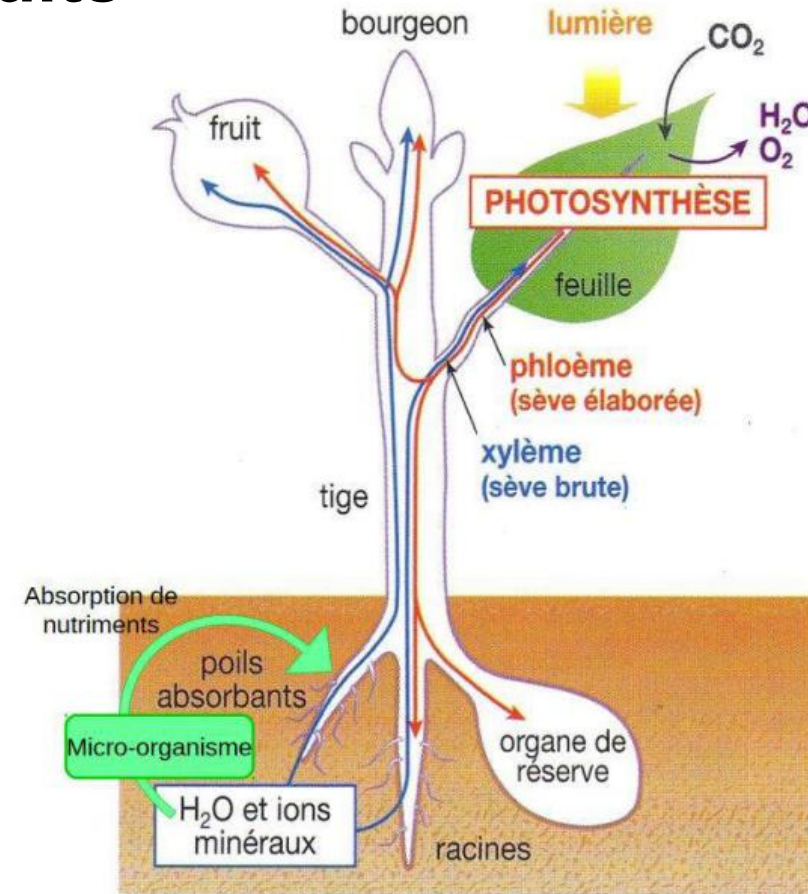
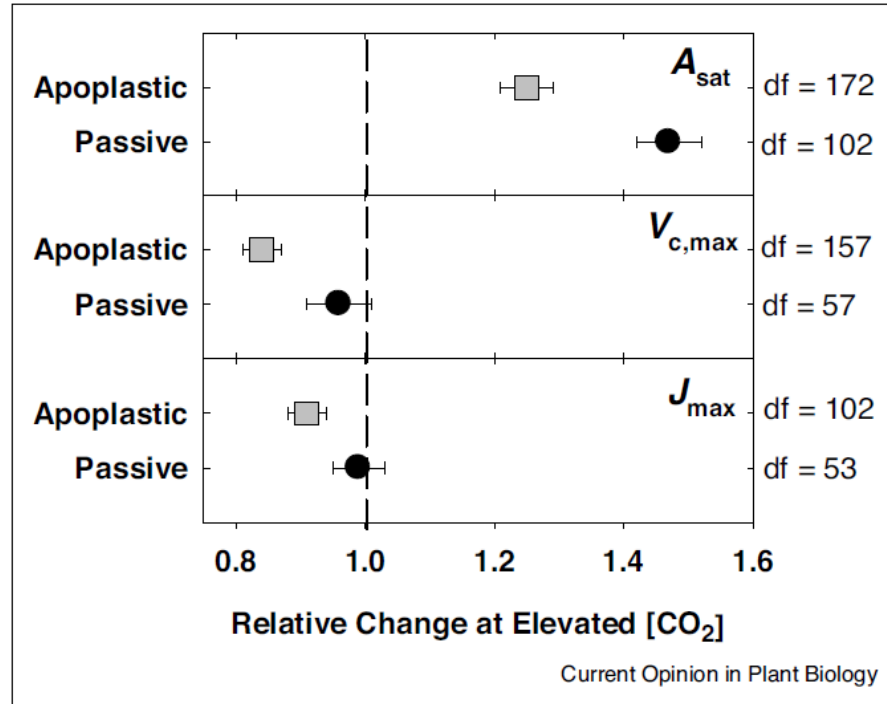
Saccharose ↑ Amidon ↑

Triose-Phosphate
Utilisation



- $V_c\ max$ ↓
- RuBisCO ↓
- N feuille ↓
- NADPH ↓
- Δ Redox ↓
- J_{max} ↓
- Photorespiration
- NO_3^- ↓

Export des Sucres et Forces des Puits



- Export de sucres
- Capacité de stockage de l'amidon foliaire

- Plasticité de jeunes plantes
- Limitation pas le force de puits

conclusions

- La **photosynthèse** augmente sous des niveaux élevés de CO₂.
- Chez les **plantes C3**, la photosynthèse s'acclimate au cours du temps et les gains sont finalement plus faibles qu'attendu.
- Les raisons sont multiples: principalement, fermeture stomatique, réduction de la photorespiration et limitation par le **rapport C:N** (carbone/azote)
- Les **plantes C4** présentent une meilleure **efficience d'utilisation de l'eau (WUE)**, mais peu d'autres effets d'acclimatation.
- Les **arbres** et les **légumineuses** montrent très peu de réponses d'acclimatation, ce qui en fait les espèces les plus **prévisibles**.

Groupe de Recherches “Biologie Intégrative de la Captation du CO₂”



Time to translate

A Roadmap For Photosynthesis To Drive Crop Improvement

Society needs more resilient crops

Climate change is driving abiotic stresses that negatively impacts crop health and yields. This reduces primary production, threatening food, feed and energy security, and the bioeconomy. New climate resilient crops are urgently needed.



Photosynthesis - an underexploited trait

Photosynthesis is a complex process but has many underexploited traits with great potential to improve crop yield and resilience to climate change. Recent scientific advances have demonstrated significant improvements in crop productivity through improving photosynthesis efficiency. Multiple innovations have been developed by the research community to varying Crop Technology Readiness Levels (TRL).

Industry has a strong interest in photosynthesis-driven crop improvement, but collaborative projects and an enabling environment are needed to bridge the translation gap for 'smart' crop development.

Conventional modern breeding and New Genomic Techniques (NGTs) provide pathways to exploit these innovations. The time to translate is now.

European Strategic Research Agenda and Road Map to 2030



INVESTIR DANS
LA RÉSILIENCE
DES PLANTES,
C'EST GARANTIR
LA SÉCURITÉ
ALIMENTAIRE
DES FUTURES
GÉNÉRATIONS

RENDEZ-VOUS

LE MONDE • SCIENCE & MÉDECINE

MERCREDI 22 JANVIER 2025

Jean Alric, CNRS; **Sylvie Dinant**,
Inrae; **Xenie Johnson**, CEA.

Retrouvez tous les signataires
sur [Lemonde.fr](https://www.lemonde.fr)

Production agricole : l'Europe risque de décrocher dans l'innovation variétale

TRIBUNE - Un groupe de chercheurs regrette que l'UE ne consacre qu'une infime part de son budget à la biologie et à l'amélioration des plantes pour répondre aux défis climatiques



PROGRAMME DE RECHERCHE CARBONE ET ÉCOSYSTÈMES CONTINENTAUX

Le **PEPR FairCarboN** étudie la contribution des écosystèmes continentaux à la réduction des émissions GES et à l'absorption de CO₂ atmosphérique

Structure et financement de FairCarbonN



**Appels à projets 2023-2024 : 4 axes
11 projets**

Budget : 15 M€

**Axe 1
Continuum terre-zone
aquatique**

**Axe 3
Production et utilisation
de la biomasse végétale**

**Axe 2
Couplage des cycles
biogéochimiques (C,N, P,
H₂O)**

**Axe 4
Questions économiques et
sociales, moteurs et
impacts du changement**



Cinq projets ciblés

**PC1 - ALAMOD
Bases de données et modèles
numériques partagés**

Budget : 7 M€

**PC2 - SLAM-B
Trajectoires de changement
dans les territoires et
*scenario labs***

Budget : 6.5 M€

**PC3, PC4 & PC5
Soutien aux équipements et
infrastructures
Tours a flux
Systèmes de Culture
Continuum terrestre-
aquatique
(métropole, outremer et pays
du Sud)**

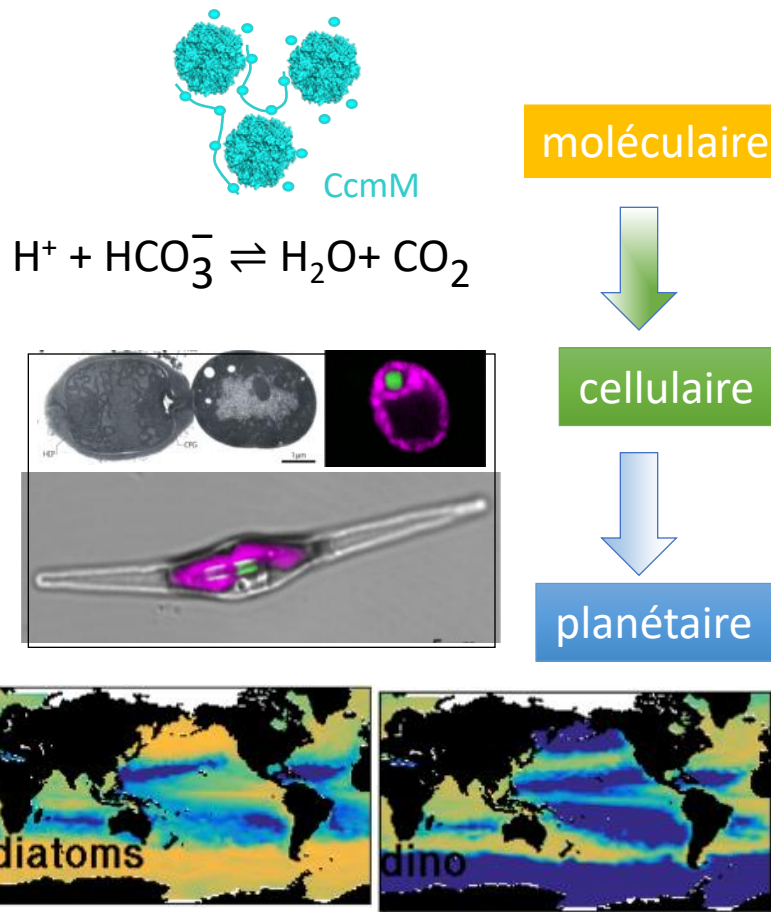
Budget : 6.3 M€

Gouvernance : Direction, coordination et animation du programme

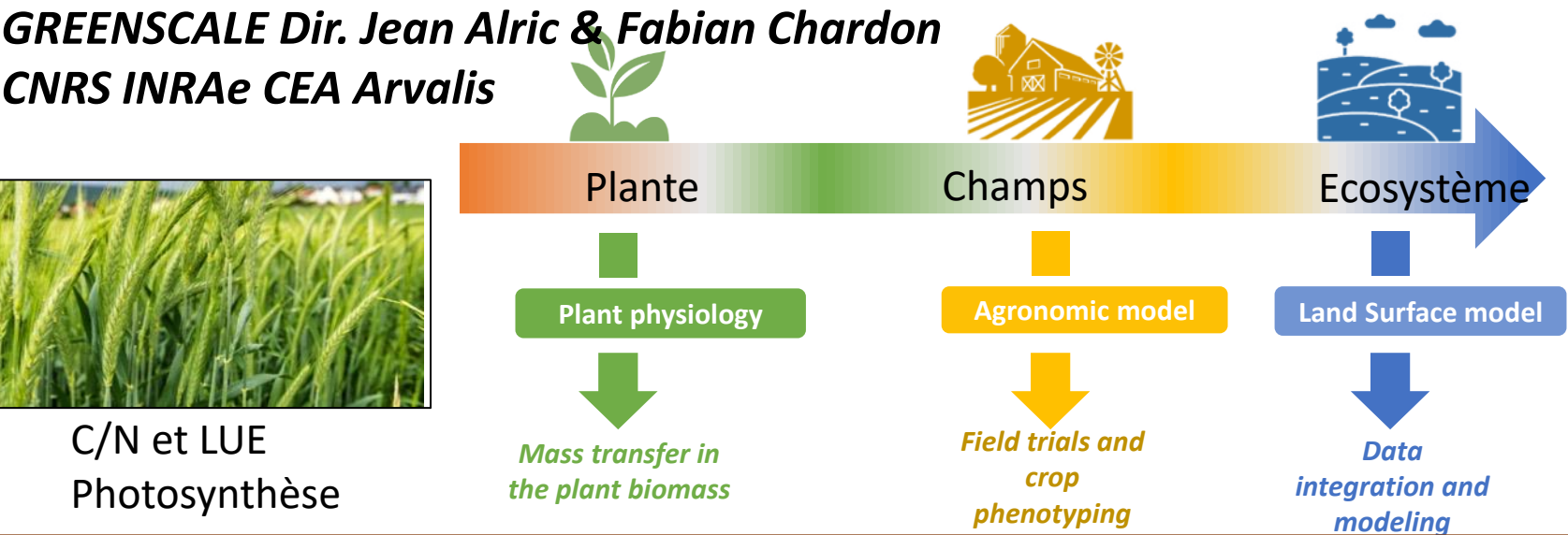
Budget : 5.2 M€

FairCarboN Axe3 : 3 projets financés: océans, plantations, sol

CO2_CMΦ
Dir. Helene Launay CNRS AMU CEA



GREENSCALE *Dir. Jean Alric & Fabian Chardon*
CNRS INRAe CEA Arvalis



RhizoSeqC
Dir. Isabelle Basile-Doelsch CNRS INRAe
CIRAD AMU CEA IRD ENS ISRA UR PSL

