



# Mécanismes de réponse de la photosynthèse au CO<sub>2</sub> élevé

Les plantes dans un environnement à fort CO<sub>2</sub>: contraintes et opportunités

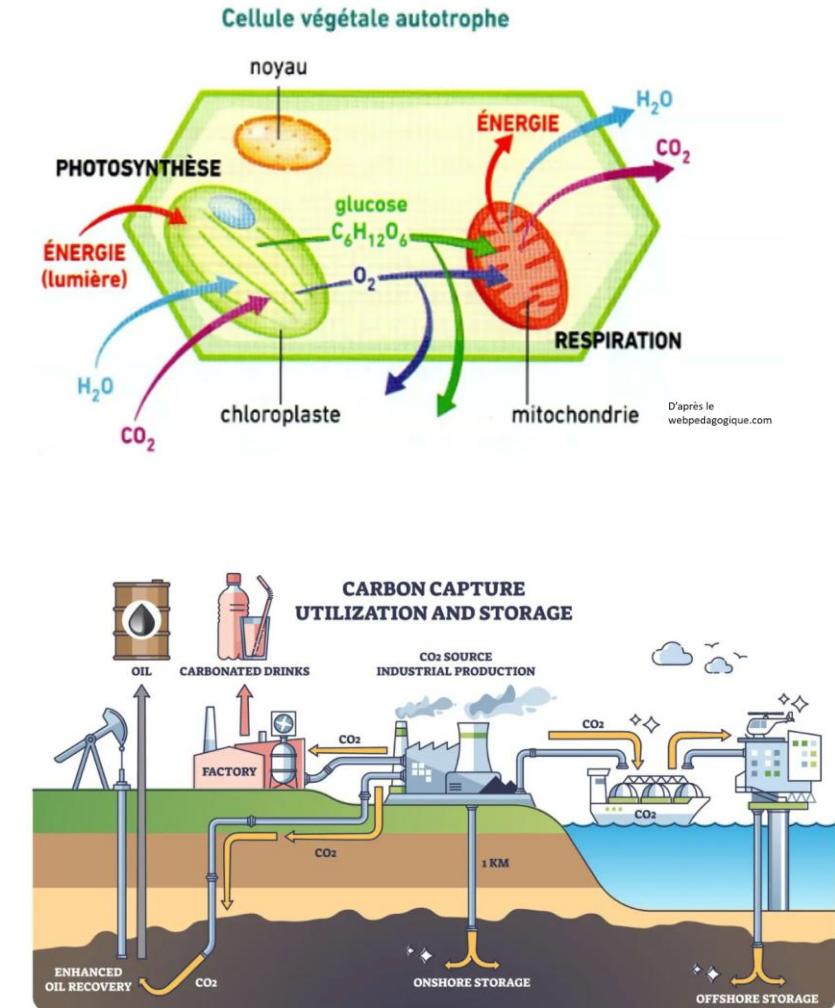
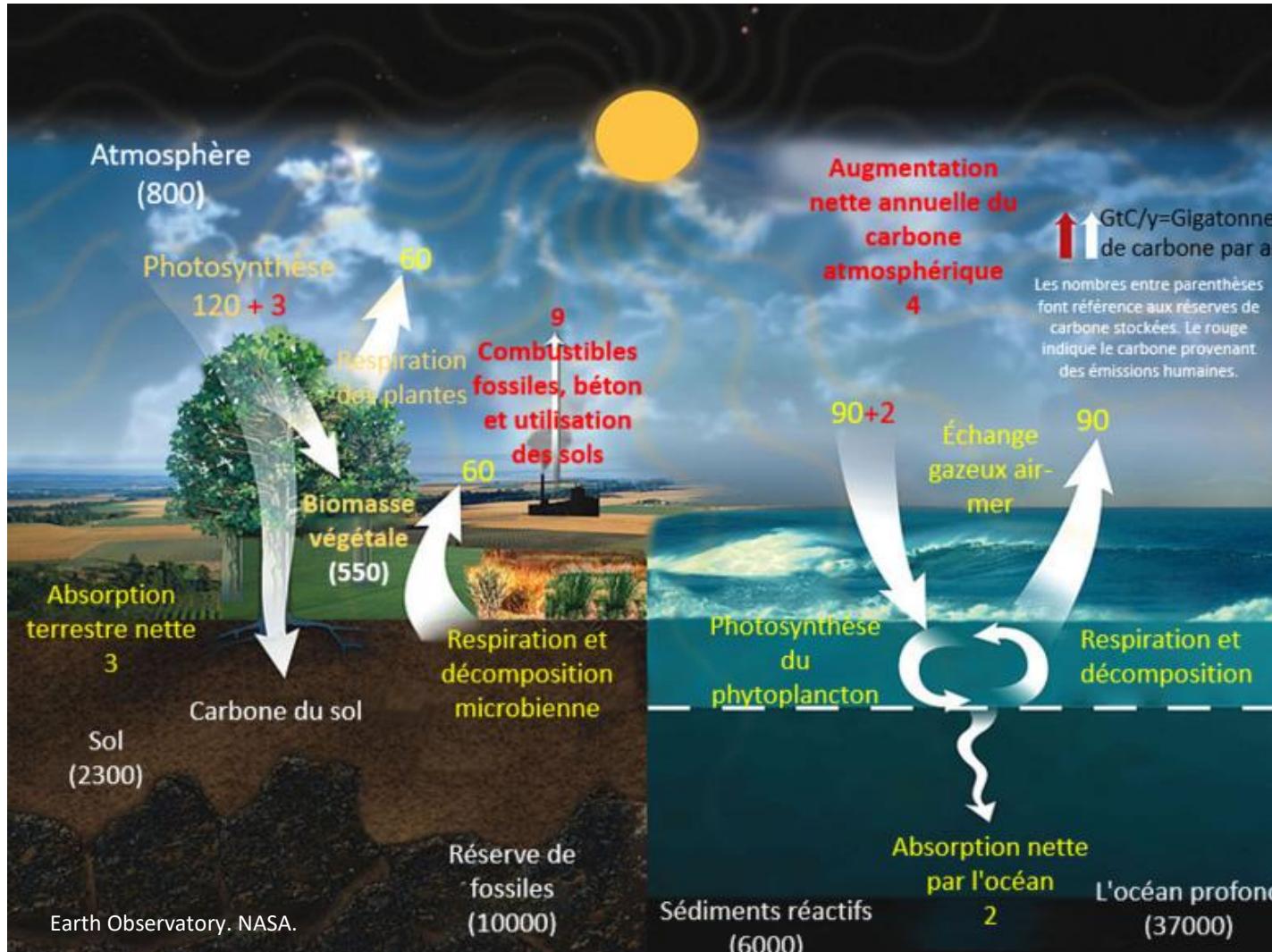
Institut de France, quai de Conti, Paris. 30 Septembre 2025

Xenie Johnson

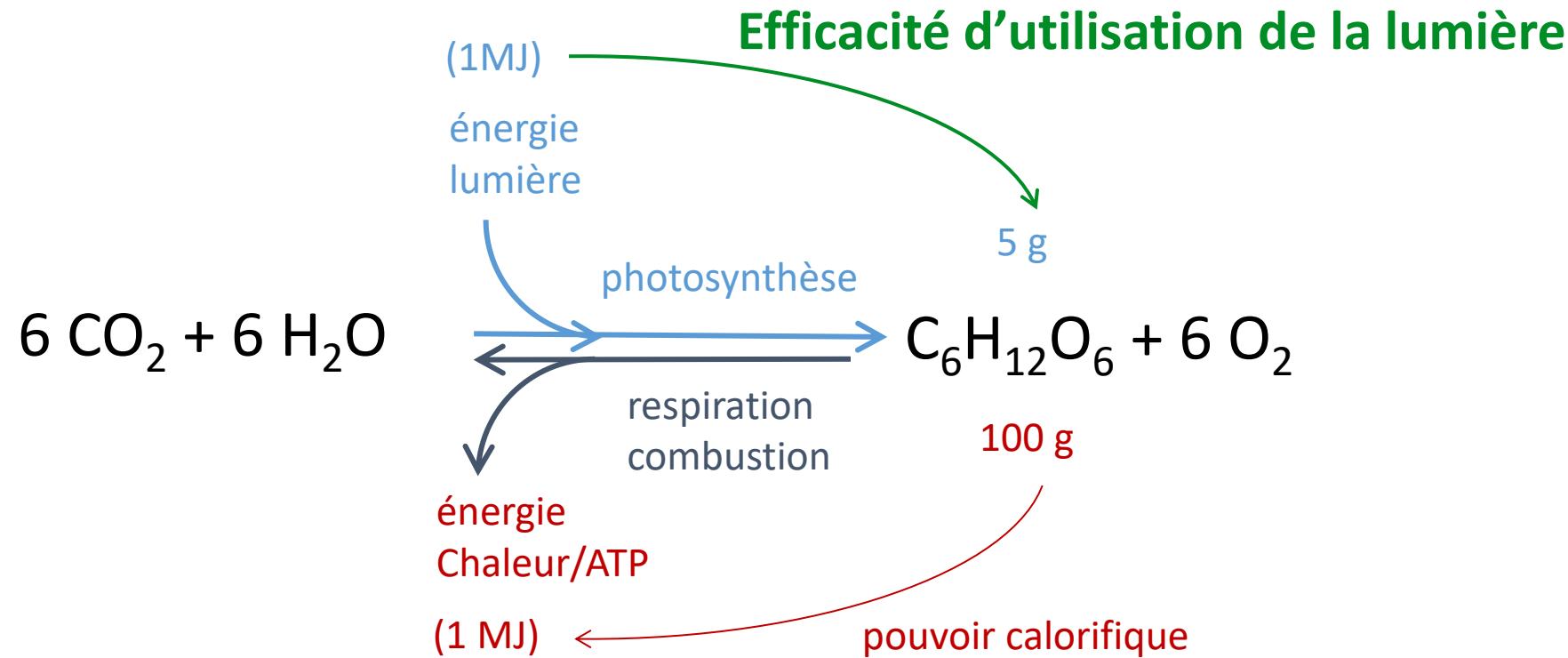
Directrice de Recherche, Equipe Photosynthèse et Environnement

BiAM, CEA Cadarache

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

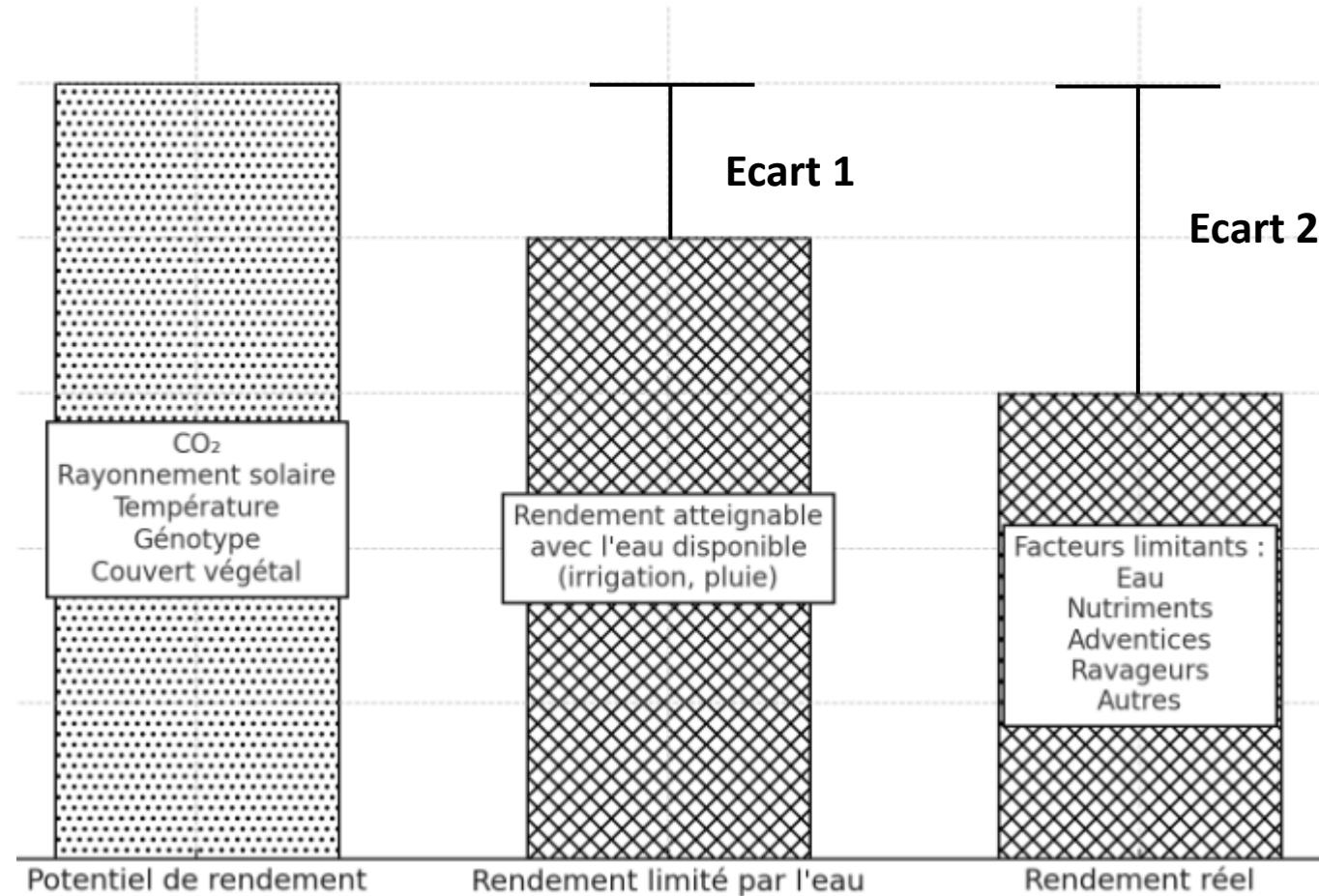


# Energétique de la photosynthèse, de la respiration et de la combustion



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 ?

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

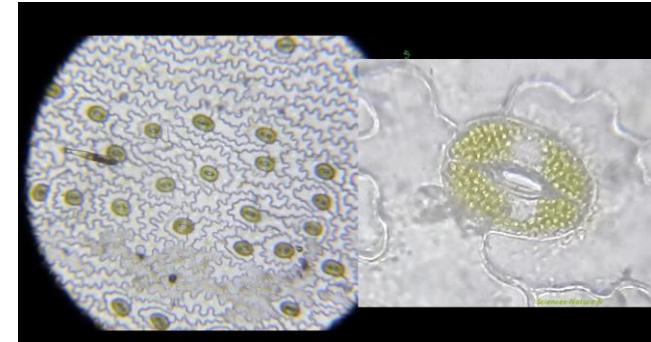
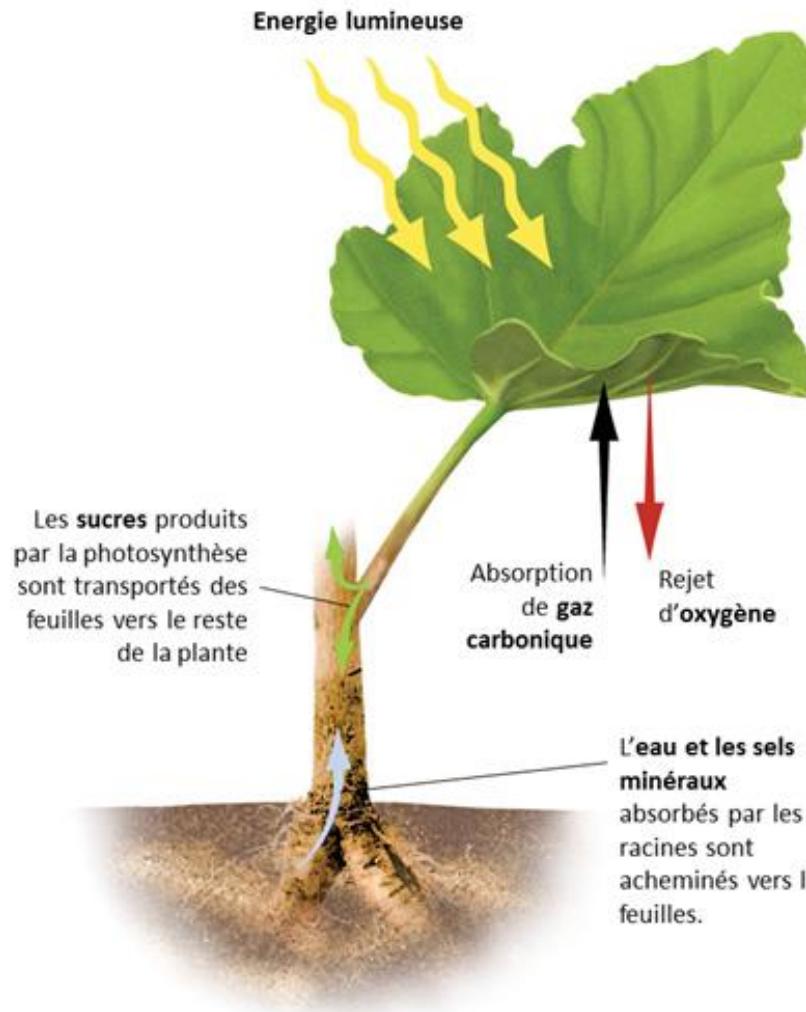
**Transport / diffusion**

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

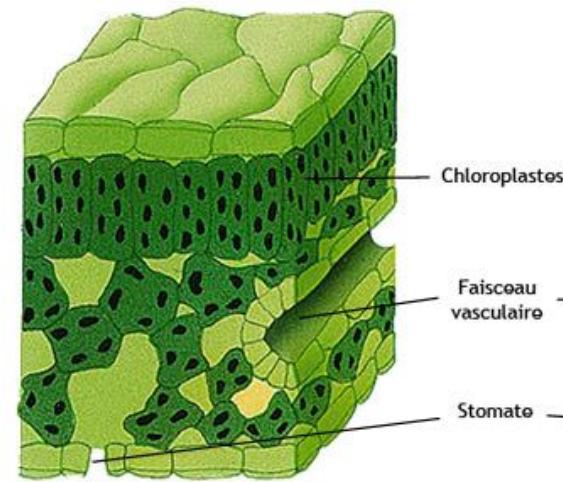
**Taille d'Antenne Chlorophyllienne**

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

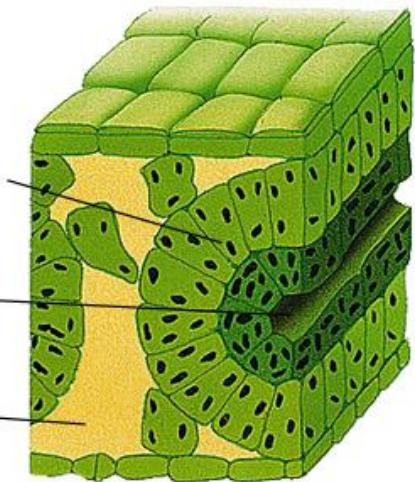
# Anatomie de la plante et de la feuille au niveau cellulaire



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

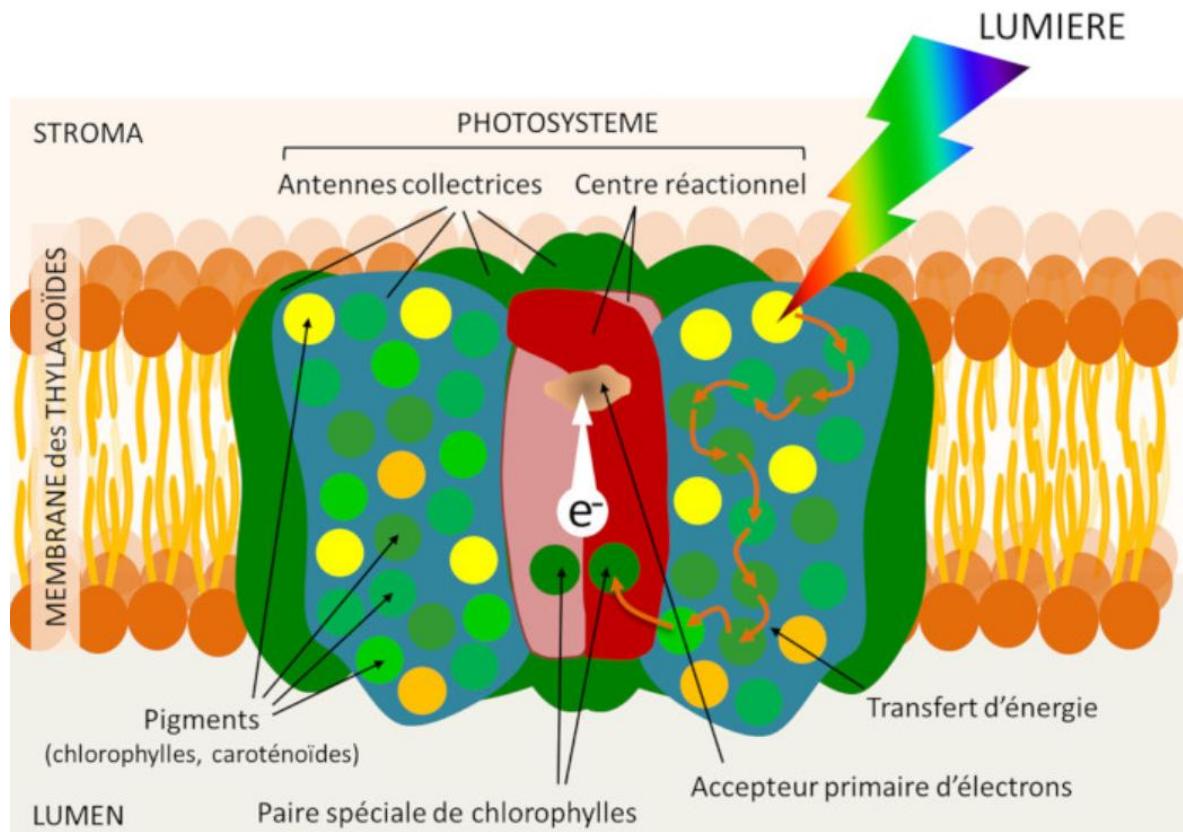


Feuille de plante en C3

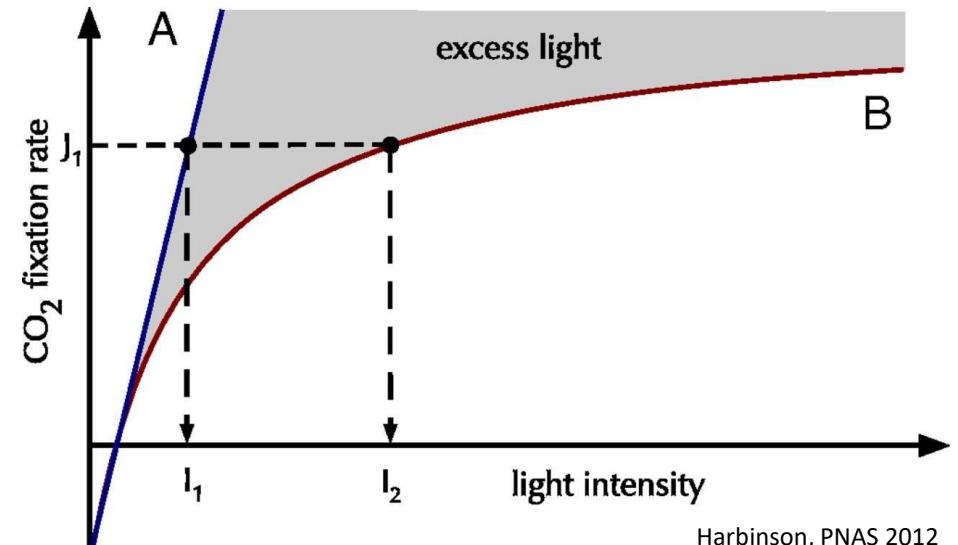
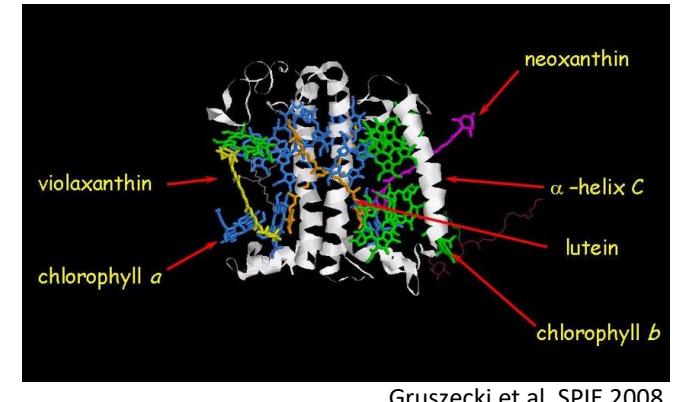
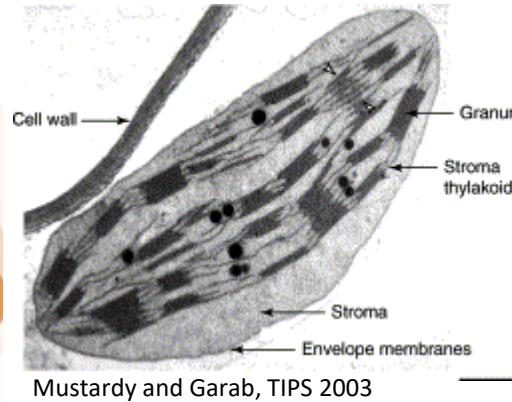


Feuille de plante en C4

# Les Antennes Chlorophyllienne: Captation de la Lumière et NPQ



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



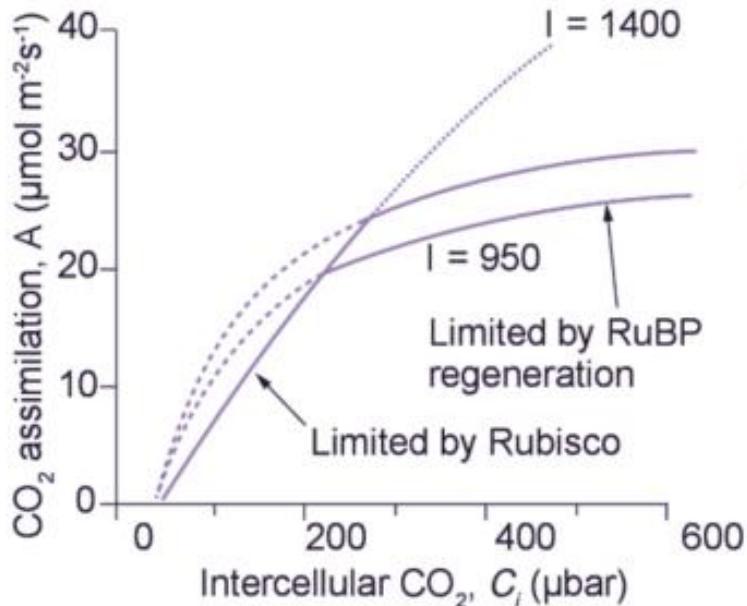
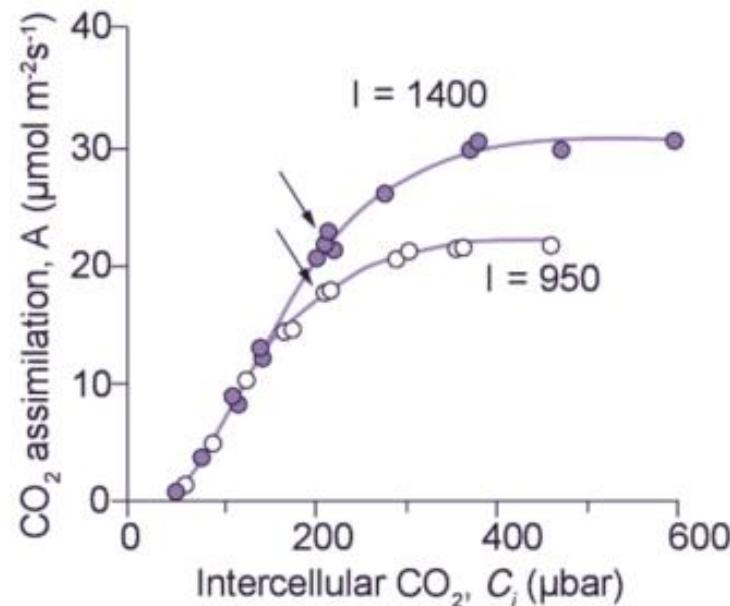
Harbinson, PNAS 2012

Xenie Johnson CEA. Mécanismes de réponse de la photosynthèse au  $\text{CO}_2$  élevé.

# Assimilation du CO<sub>2</sub> (LICOR) et courbes A-Ci



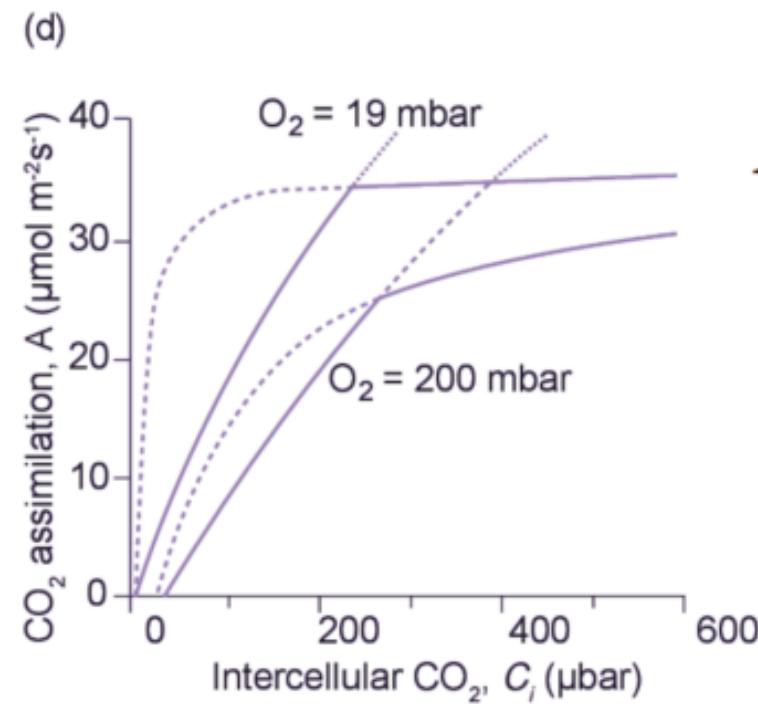
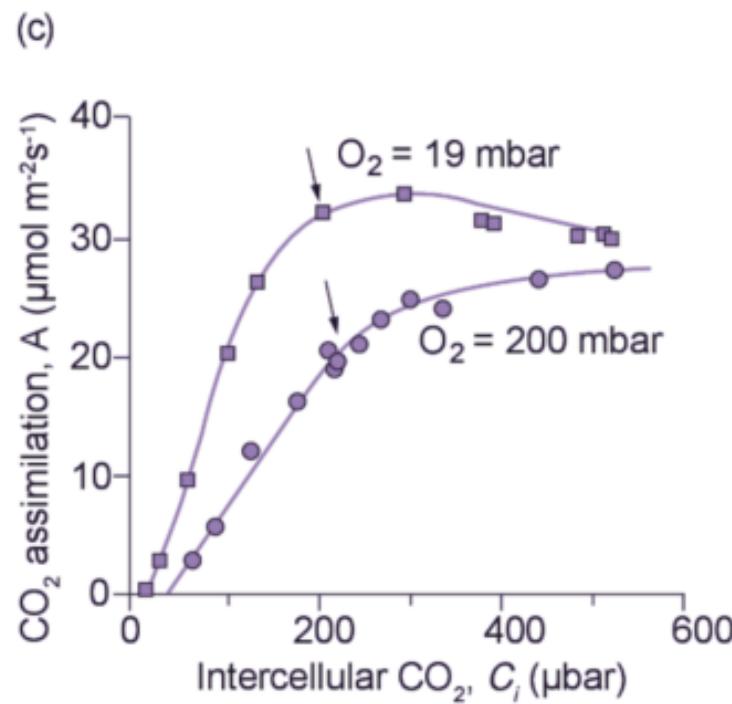
LI-COR Environmental  
LI-6400/XT | Dark Adapting Clip Kit



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

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

# Effet de l'oxygène sur A, l'assimilation de CO<sub>2</sub>: La Photorespiration

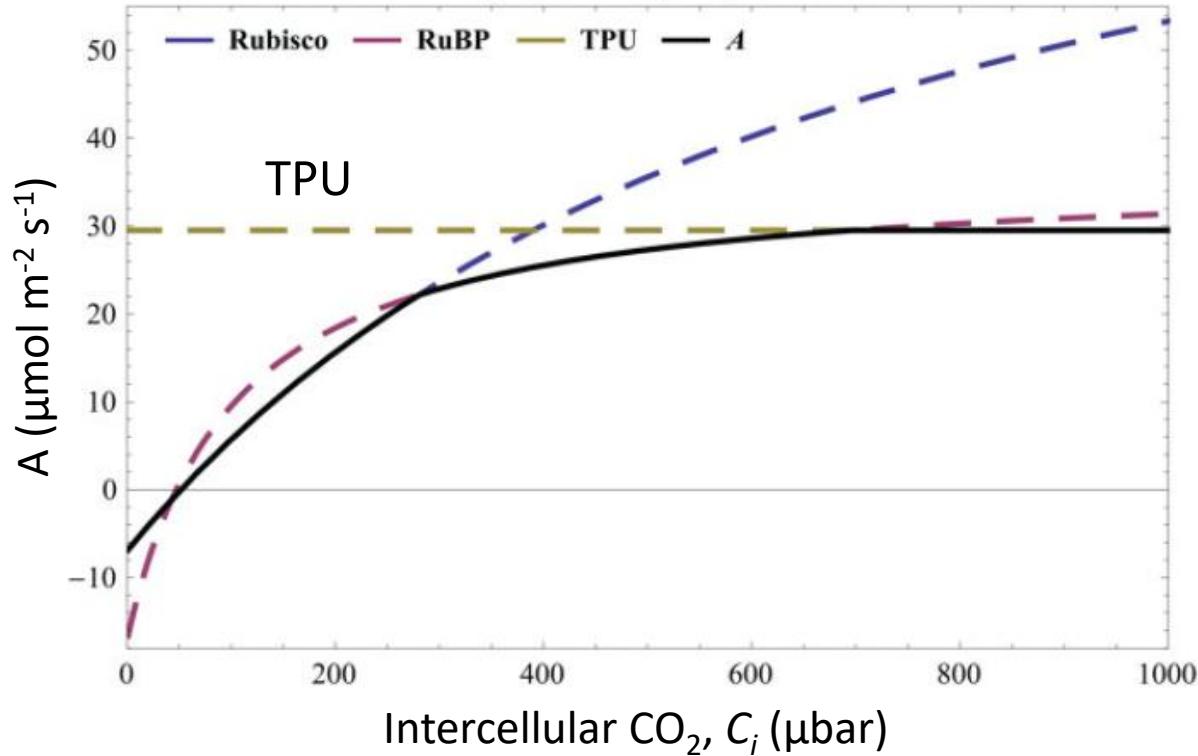


$$A = \frac{(C_i - \Gamma_*) V_{cmax}}{C_i + K_c (1 + O/K_o)}$$

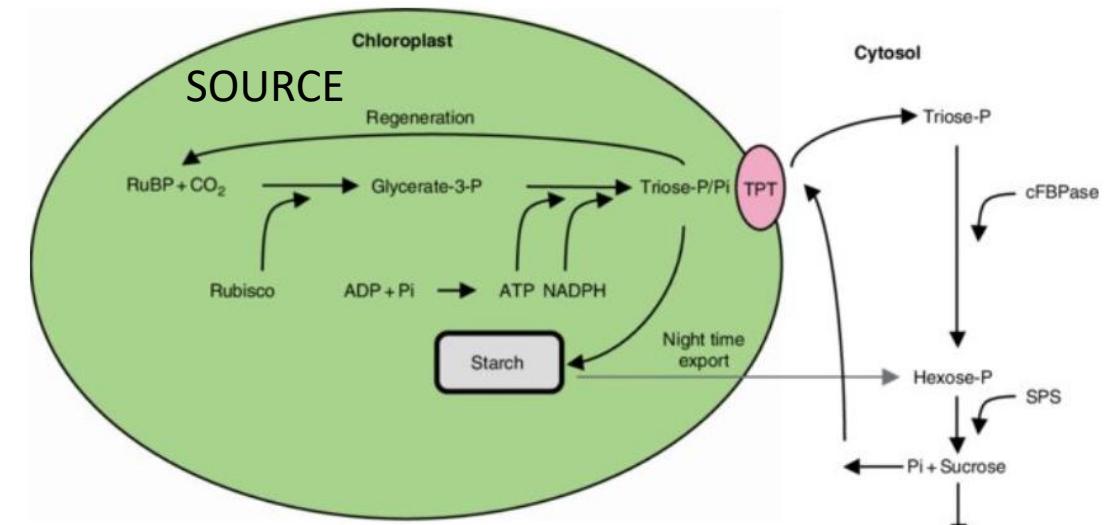
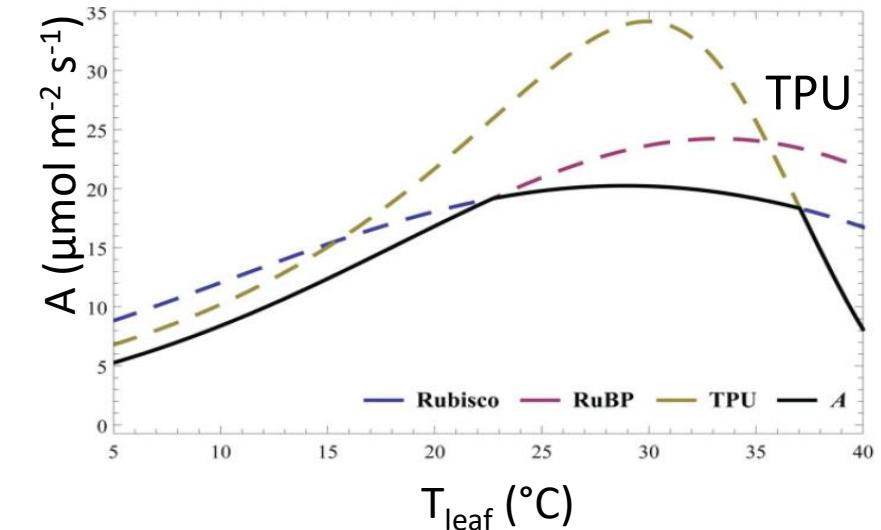
# Assimilation du CO<sub>2</sub> en fort CO<sub>2</sub>: TPU

réponse photosynthétique à la température foliaire

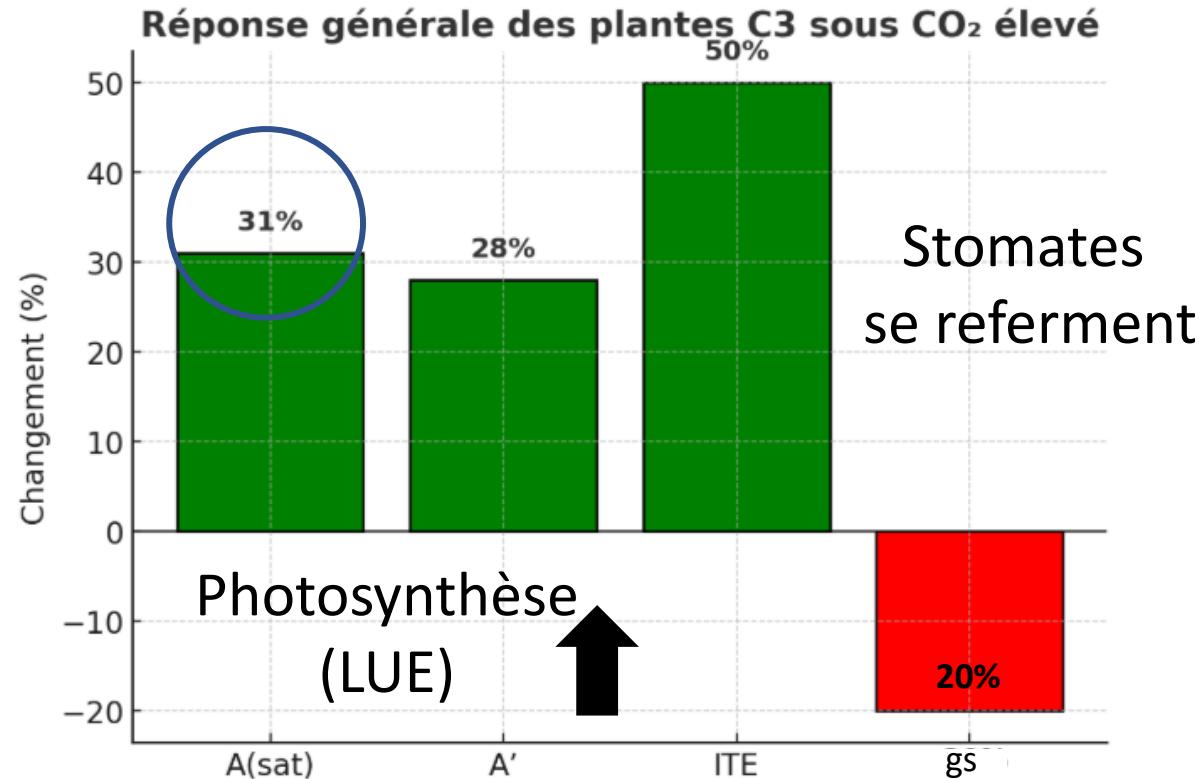
Courbe de réponse photosynthétique au CO<sub>2</sub>



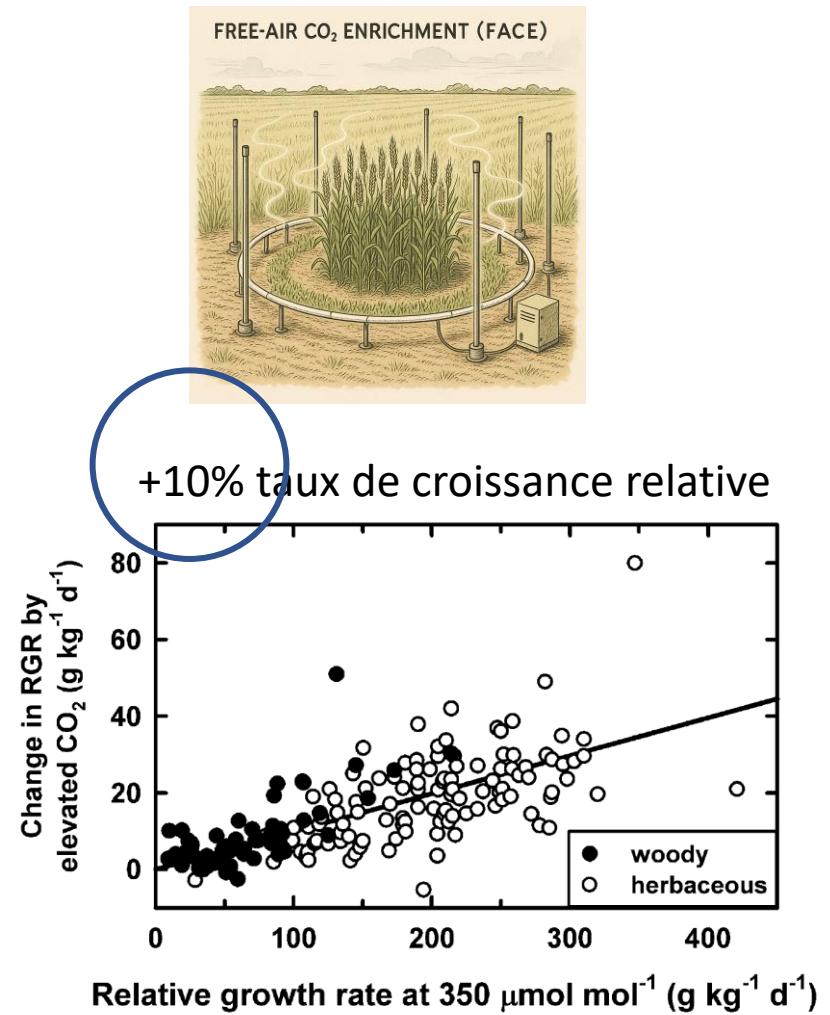
Bernacchi et al., PCE 2013



# Les Effets du CO<sub>2</sub> élevé sur les espèces en C3



Ainsworth and Long 2005; Ainsworth and Rogers 2007 PCE



Kirschbaum, Plant Physiol. 2011

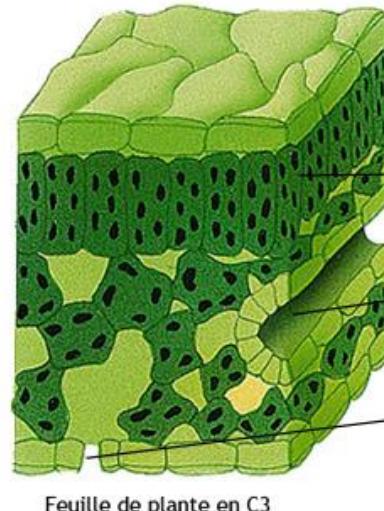
# Effet du CO<sub>2</sub> élevé sur les espèces en C3 par rapport aux C4

Plantes C3



+ 30%  $A_{sat}$

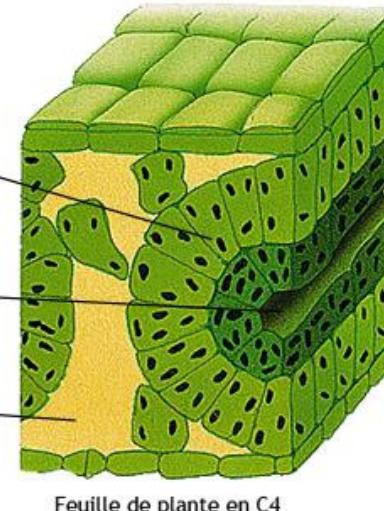
+ 17 % rendement



Chloroplastes

Faisceau vasculaire

Stomate



Plantes C4



0 %  $A_{sat}$

+ 20% WUE

# Différentes réponses du rendement et de l'acclimatation au CO<sub>2</sub> élevé

+ 47 %  $A_{sat}$

Arbres



+ 35 %  $A_{sat}$

Herbacées



+ 37 %  $A_{sat}$

Culture C3



+ 21 %  $A_{sat}$

Arbustes

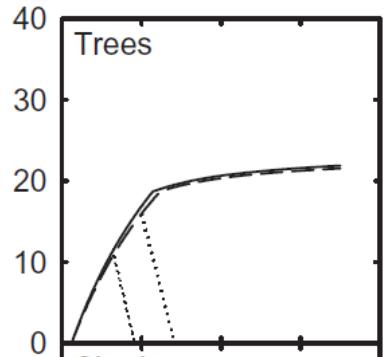


+ 23 %  $A_{sat}$

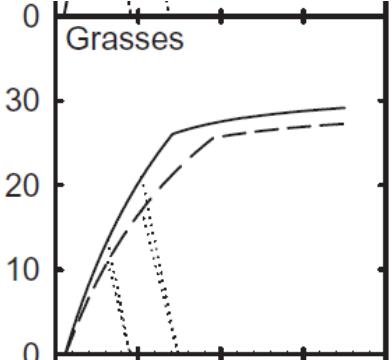
Légumineuses



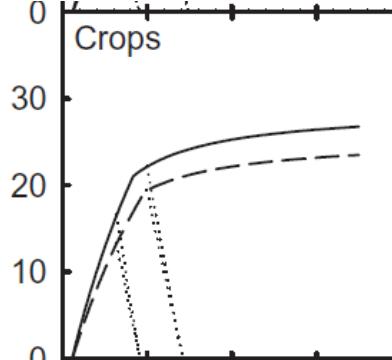
# Differentes réponses en rendement et de l'acclimatation au CO<sub>2</sub> élevé



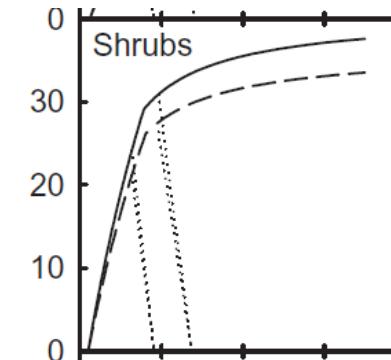
Arbres



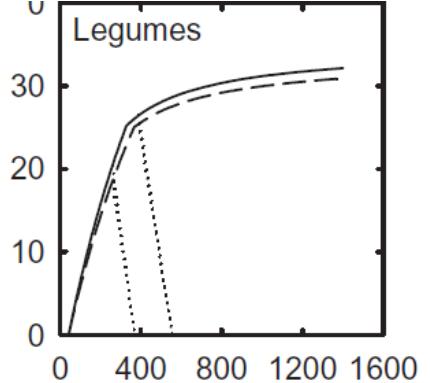
Herbaceae



Culture C3



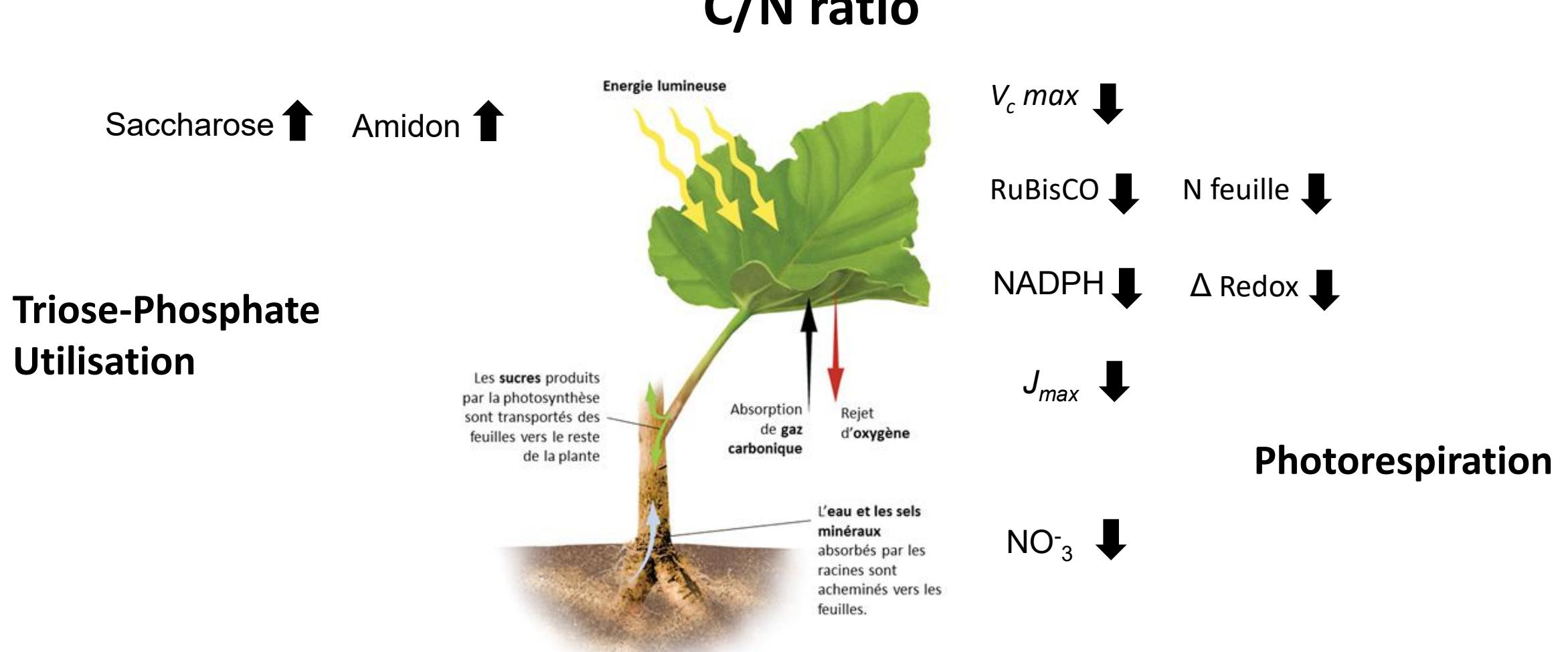
Arbustes



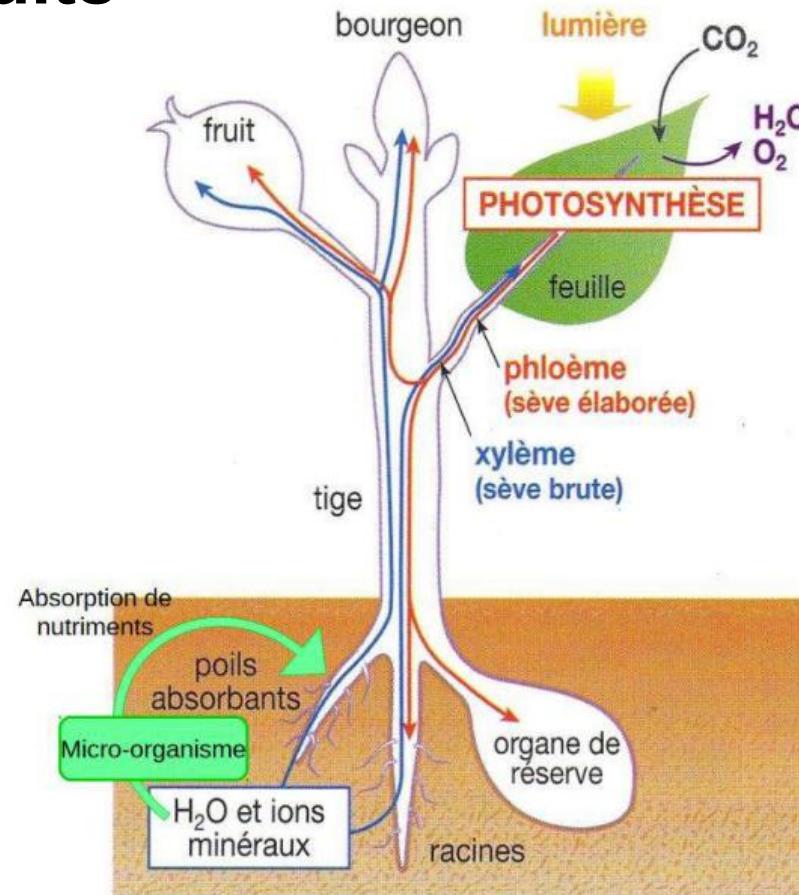
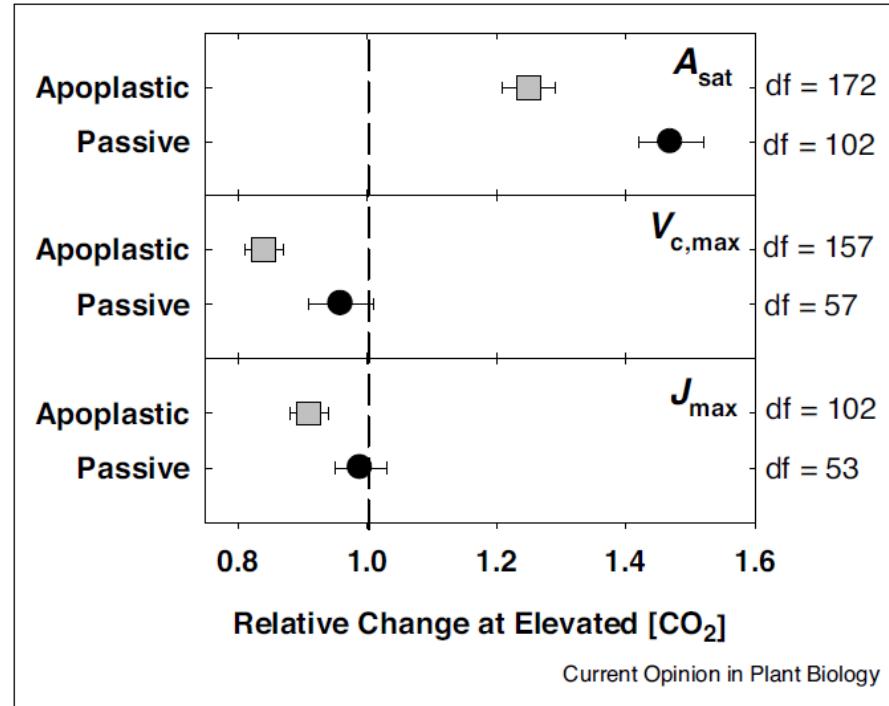
Legumineuses



# Facteurs qui régulent la réponse au CO<sub>2</sub> élevé et l'acclimation



# Export des Sucres et Forces des Puits



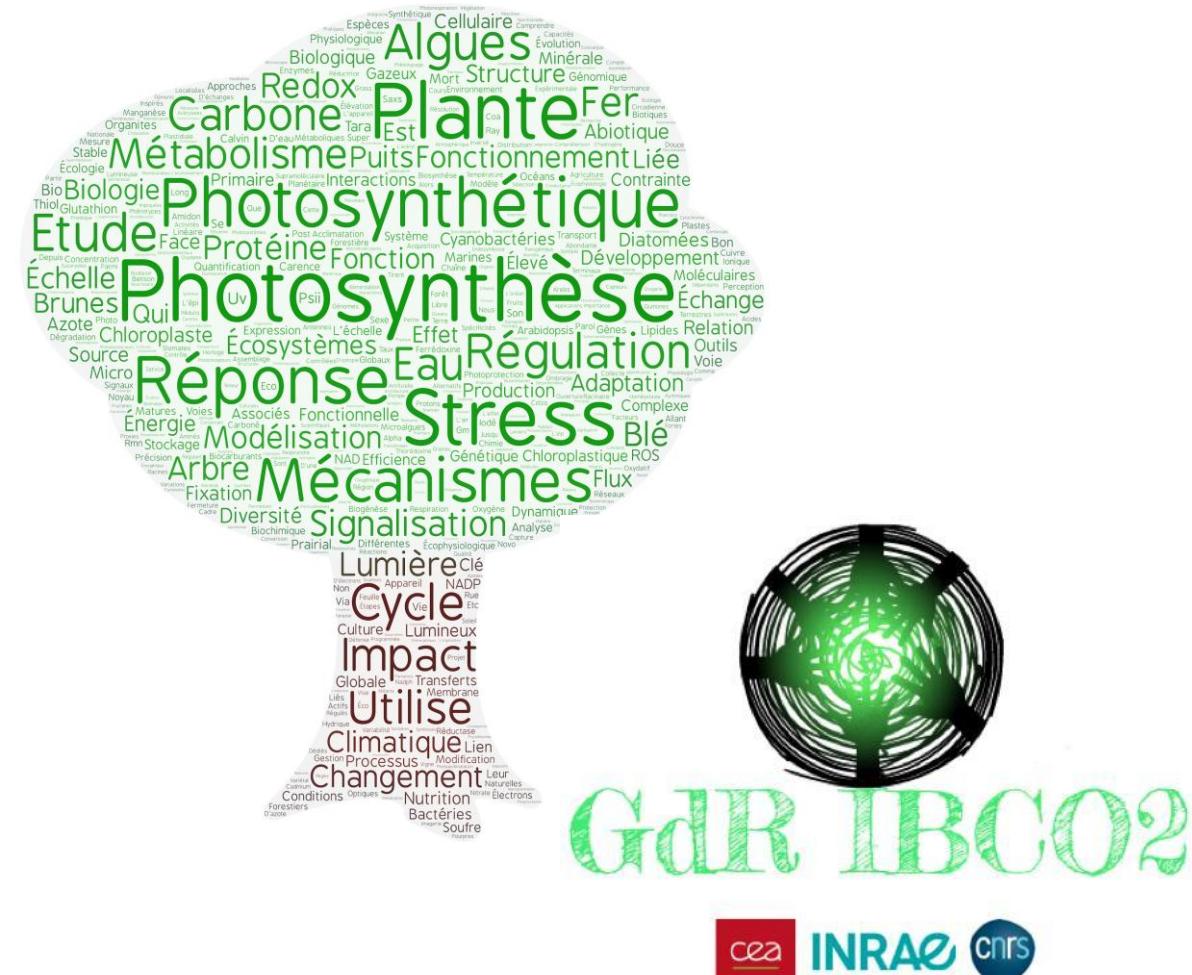
- Export de sucres
- Capacité de stockage de l'amidon foliaire

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

# conclusions

- La **photosynthèse** augmente sous des niveaux élevés de CO<sub>2</sub>.
- 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**.

# Groupement de Recherches “Biologie Intégrative de la Captation du CO<sub>2</sub>”



30/09/2025

Xenie Johnson CEA. Mécanismes de réponse de la photosynthèse au CO<sub>2</sub> élevé.

## 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://Lemonde.fr)

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

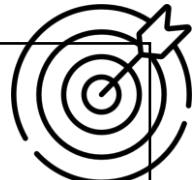
**TRIBUNE** - Un groupe de chercheurs regrette que l'UE ne consacre qu'une infime part de son budget à la biologie et à l'amélioration des plantes pour répondre aux défis climatiques



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 CO<sub>2</sub> atmosphérique

# Structure et financement de FairCarboN



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,  
H<sub>2</sub>O)

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€

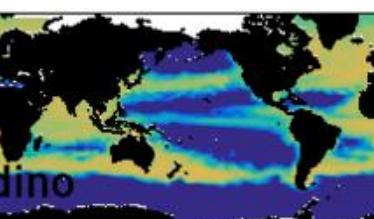
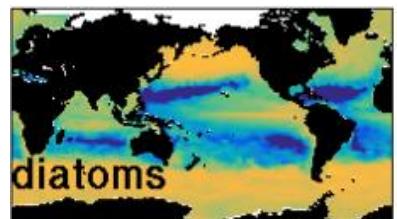
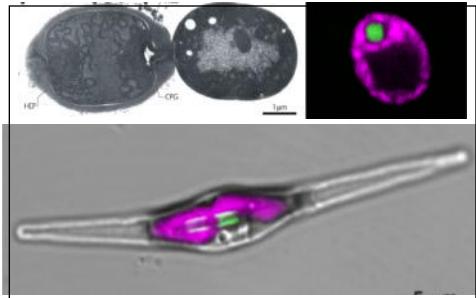
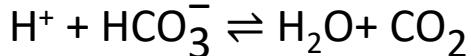
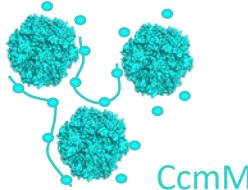
Gouvernance : Direction, coordination et animation du programme

Budget : 5.2 M€

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

*CO<sub>2</sub> CMF*

*Dir. Hélène Launay CNRS AMU CEA*



moléculaire

cellulaire

planétaire

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



C/N et LUE  
Photosynthèse



Plante

Plant physiology

Mass transfer in  
the plant biomass



Champs

Agronomic model

Field trials and  
crop phenotyping



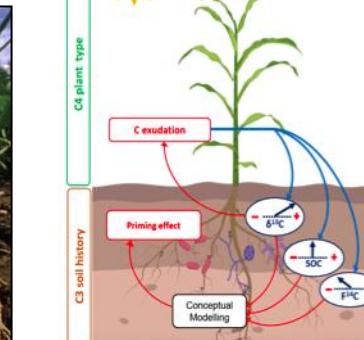
Ecosystème

Land Surface model

Data  
integration and  
modeling

*RhizoSeqC*

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



NORD

SUD

