



Influence de l'élévation du CO₂ sur l'efficacité d'utilisation de l'eau: régulation stomatique et contrôle de la transpiration

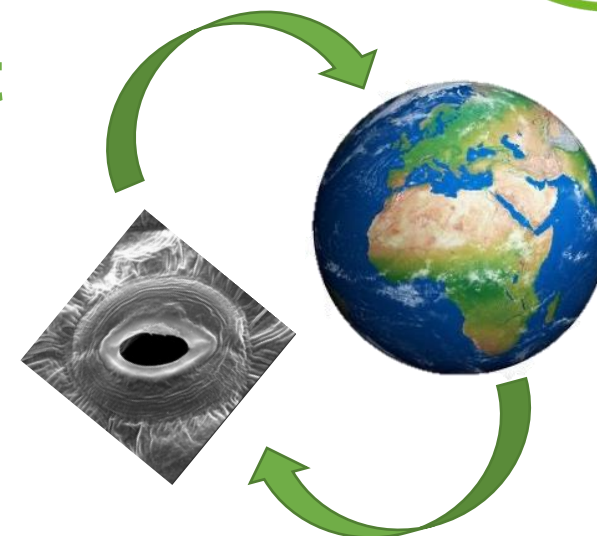
Nathalie LEONHARDT

Plant Environmental Physiology and Stress Signalling (PEPSS)

BIAM

Green Solutions for Tomorrow

Institut de Biosciences et biotechnologies d'Aix-Marseille



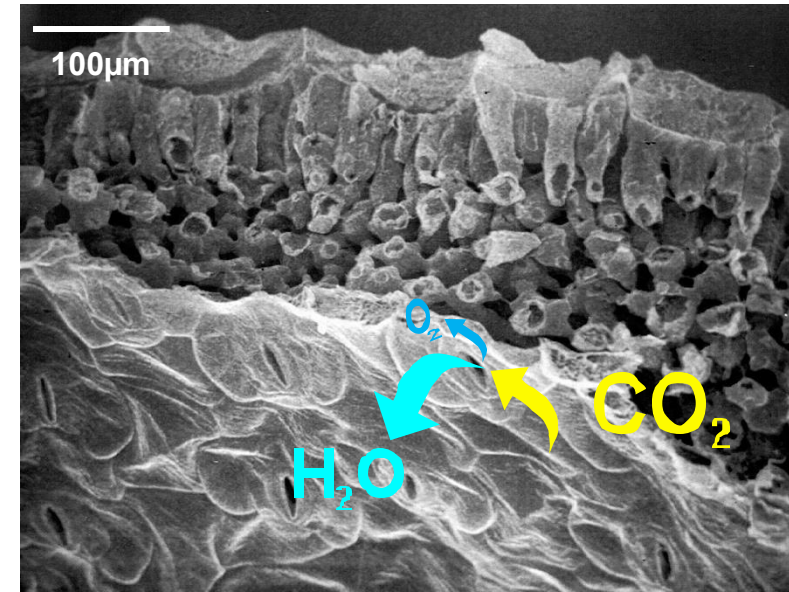
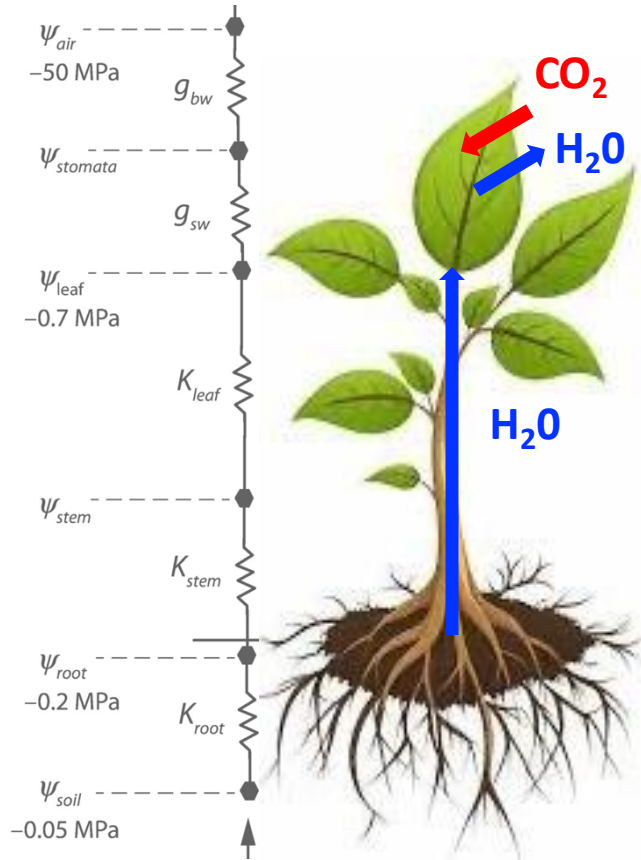
Colloque: Les plantes dans un environnement à fort CO₂ – Contraintes et opportunités



PEPR FairCarboN

mardi 30 septembre 2025

Les stomates contrôlent les échanges gazeux entre les plantes et l'atmosphère

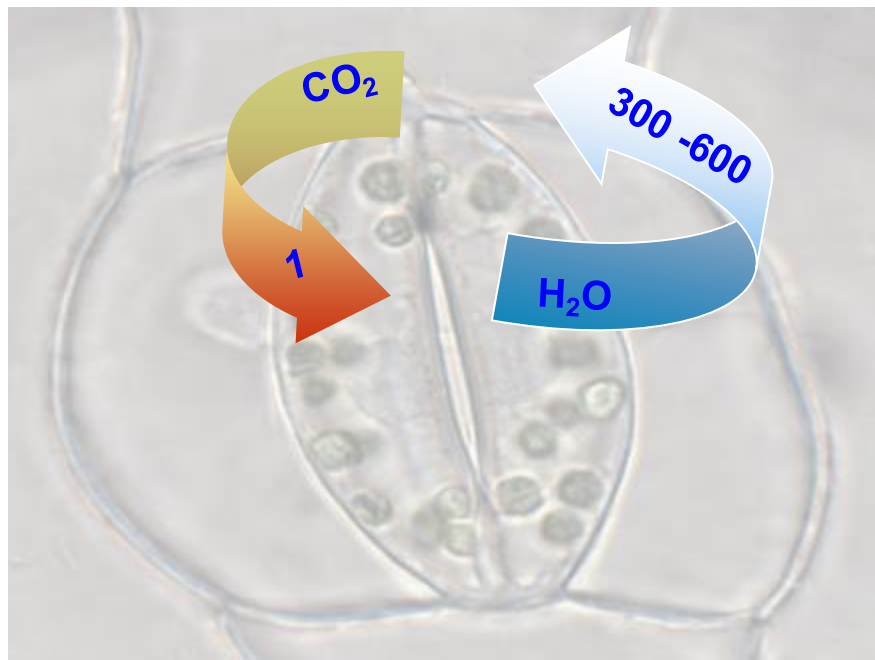


Light
Dark
 eCO_2



➔ **La conductance stomatique, g_s ($mmol.m^{-2}.s^{-1}$):** taux d'échanges gazeux (absorption de CO_2) et de transpiration à travers les stomates foliaires, déterminée par l'ouverture stomatique.

La régulation de l'ouverture du pore optimise le flux de transpiration et la prise de CO₂ pour la photosynthèse.



Water Use Efficiency (Efficience d'utilisation de l'eau)

$$WUE = \frac{\text{Net CO}_2 \text{ uptake in mg}}{\text{H}_2\text{O loss (transpired) in g}}$$

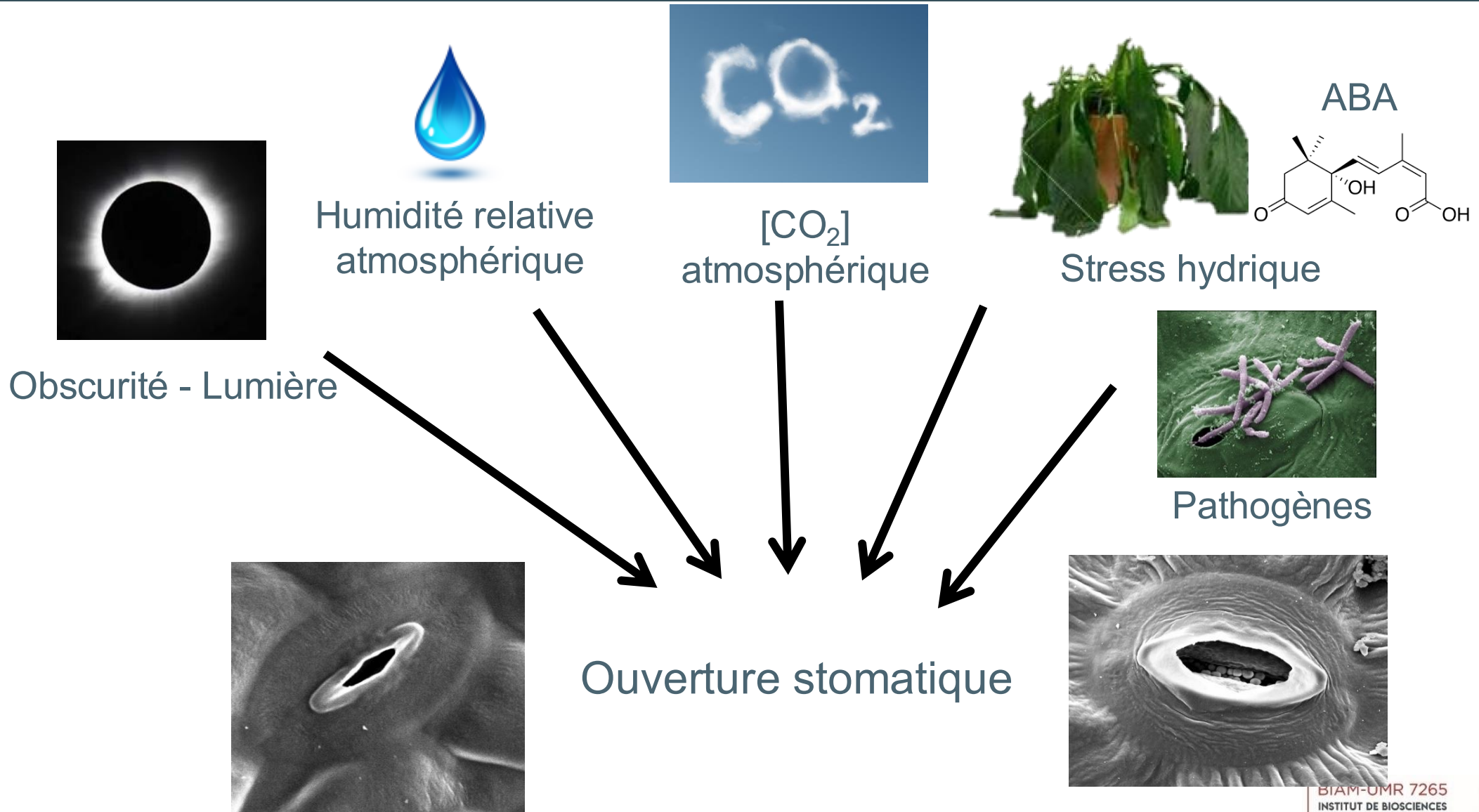
(Fisher and Turner, 1978)

$$WUE = \frac{\text{Dry matter or crop yield in kg}}{\text{Water used in evapotranspiration in m}^3}$$

(Teare et al., 1973)

➔ En réponse à un stress hydrique, la perte d'eau via le flux de transpiration peut être réduite rapidement (~30-60 min) et très efficacement (>90% de réduction) par la fermeture des stomates.

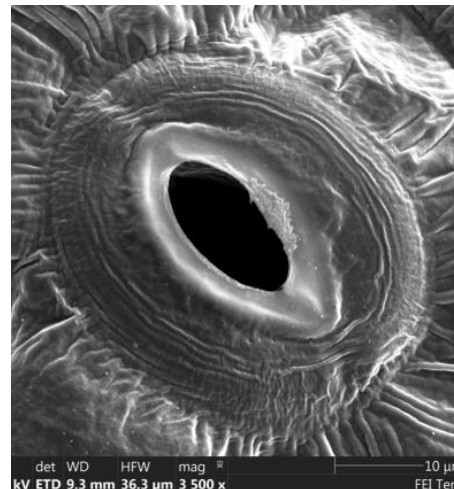
Les Stomates répondent à divers signaux environnementaux



Stomates et les cycles globaux du carbone et de l'eau

Evapotranspiration:
35.000 Gt/an

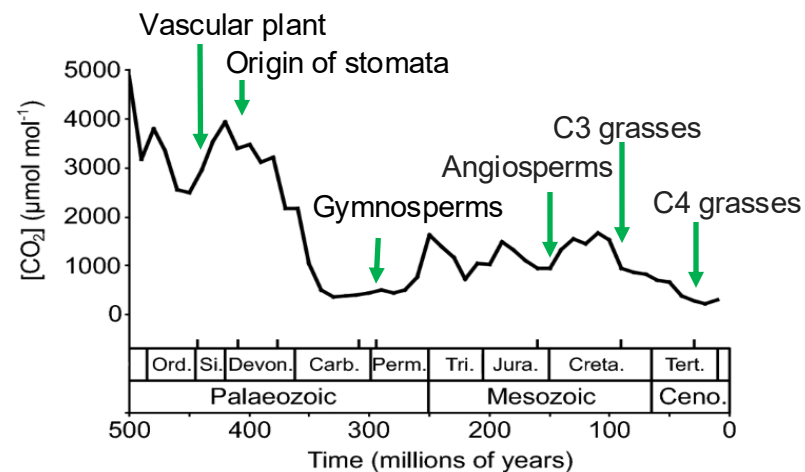
CO₂
350-400 Gt/an



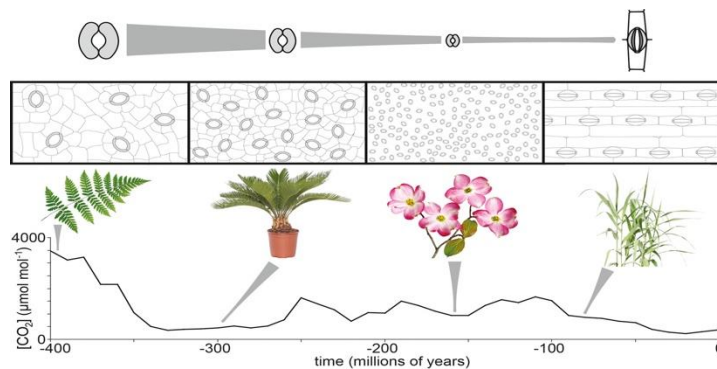
H₂O vapeur d'eau atmosphérique):
13.000 Gt (km³)

aCO₂ (420ppm) :
3.300 Gt

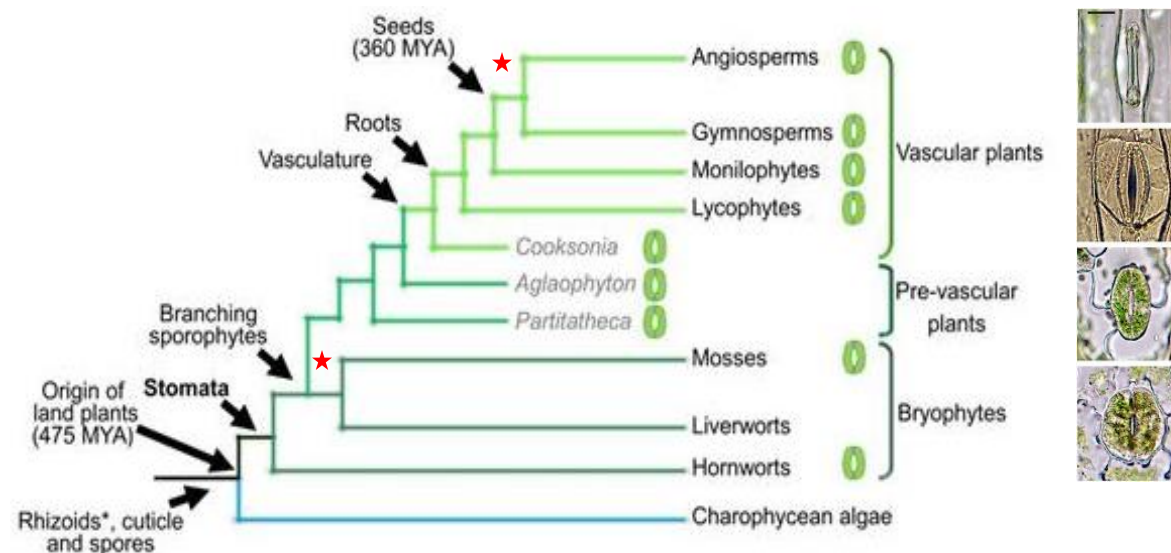
De la formation à la fonction : le rôle central du CO₂ dans la régulation stomatique



Haworth, M. *et al.* (2021).



Haworth, M. *et al.* (2023).

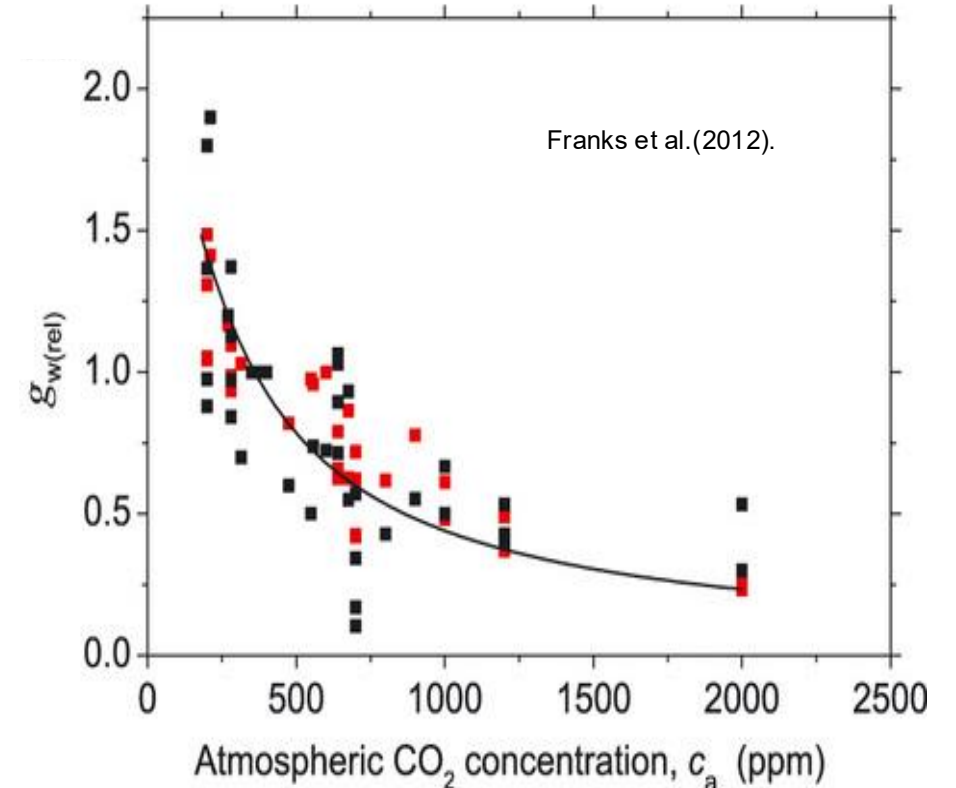
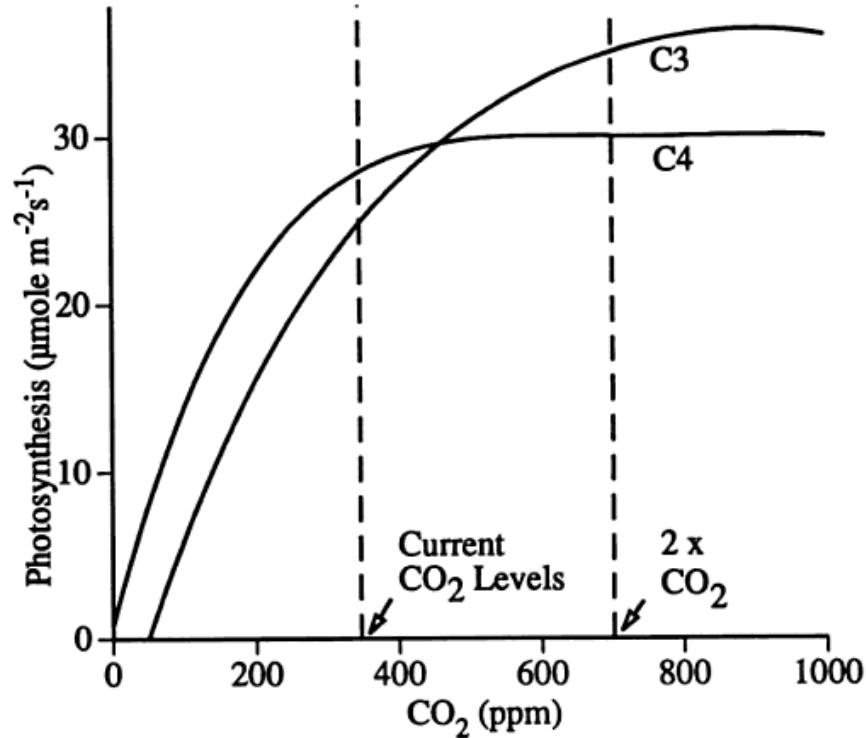
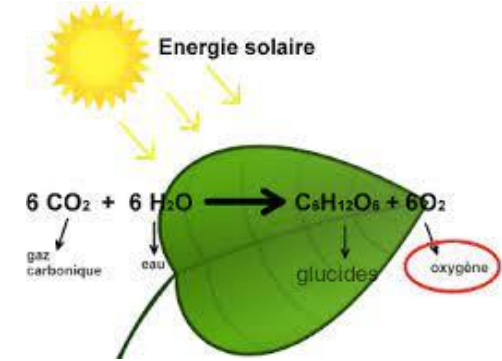


Modifié de plantstomata.wordpress.com

➔ Comprendre comment la régulation stomatique a évolué lors de l'augmentation/diminution du CO₂ atmosphérique dans l'histoire géologique est un défi pour prédire l'adaptation future.

Haworth *et al.* (2018).

Photosynthèse et conductance stomatique en réponse aux CO₂



Kaiser & Drennen(1997).

➡ Dialogue entre photosynthèse (mésophylle) et régulation stomatique ?

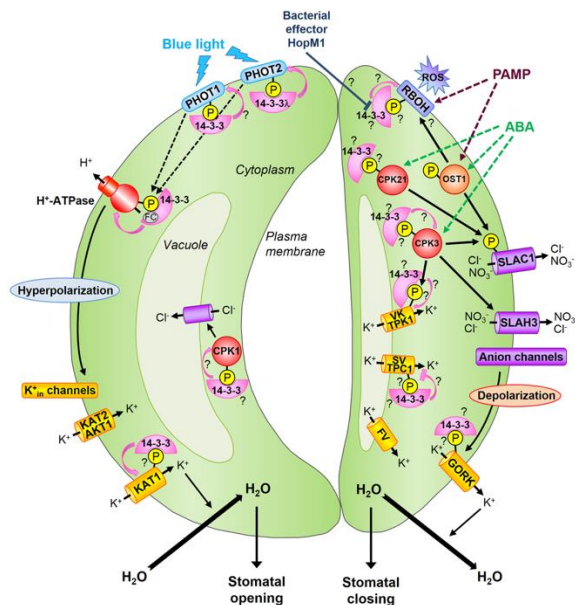


Caractérisation des mécanismes physiologiques et moléculaires de la conductance stomatique

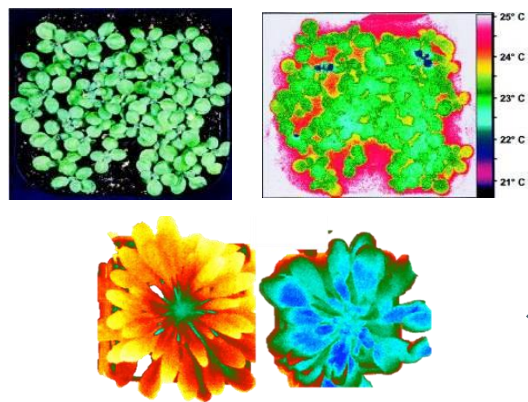
❖ Mécanismes physiologiques:



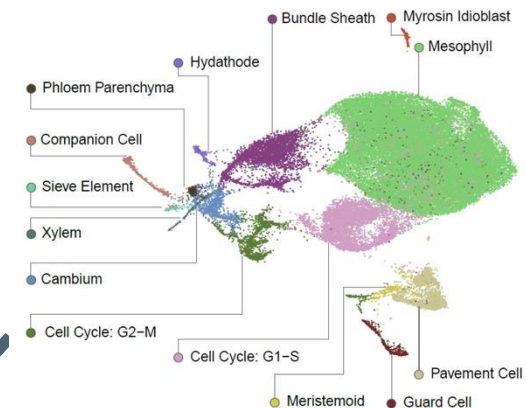
❖ Mécanismes moléculaires:



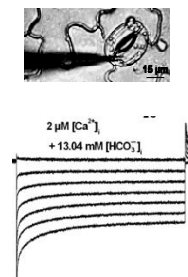
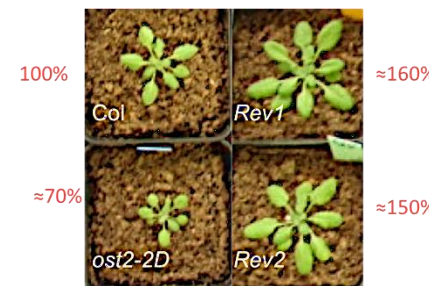
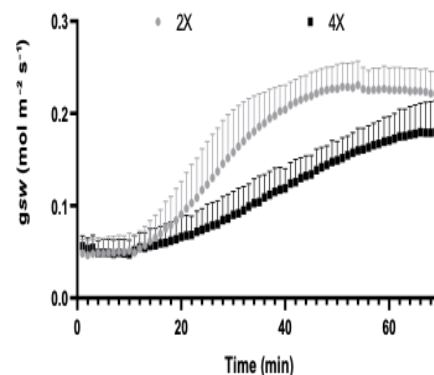
Approches génétiques



Approches transcriptomiques



Identification des acteurs moléculaires



Compréhension des mécanismes moléculaires

➤ Signalisation stomatique au CO₂ :

✓ Anhydrases carboniques βCA1 et βCA4

(Hu et al. 2010; Hu et al. 2015; Kolbe et al., 2018)

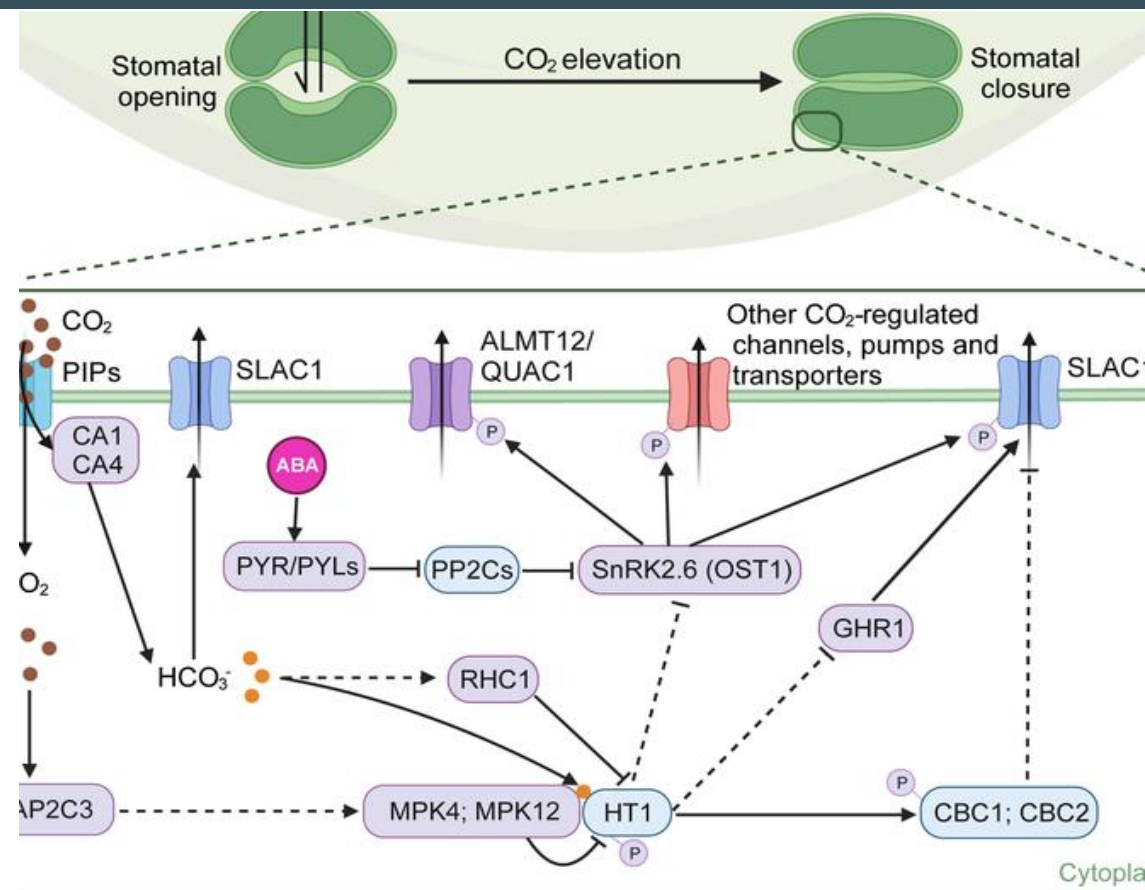
✓ Canal anionique SLAC

(Hu et al., 2010; Xu et al., 2011; Yamamoto et al., 2016; Zhang et al., 2018)

✓ Module HT1–MPK4/12

(Hashimoto et al., 2006; Hashimoto-Sugimoto et al., 2016; Horak et al., 2016; Takahashi et al., 2022; Jakobson et al., 2016; Toldsepp et al., 2018)

➡ Senseur du CO₂ ?



(d'après revue Zhang et al. 2024)

➤ Signalisation stomatique au CO₂ :

✓ Anhydrases carboniques β CA1 et β CA4

(Hu et al. 2010; Hu et al. 2015; Kolbe et al., 2018)

✓ Canal anionique SLAC

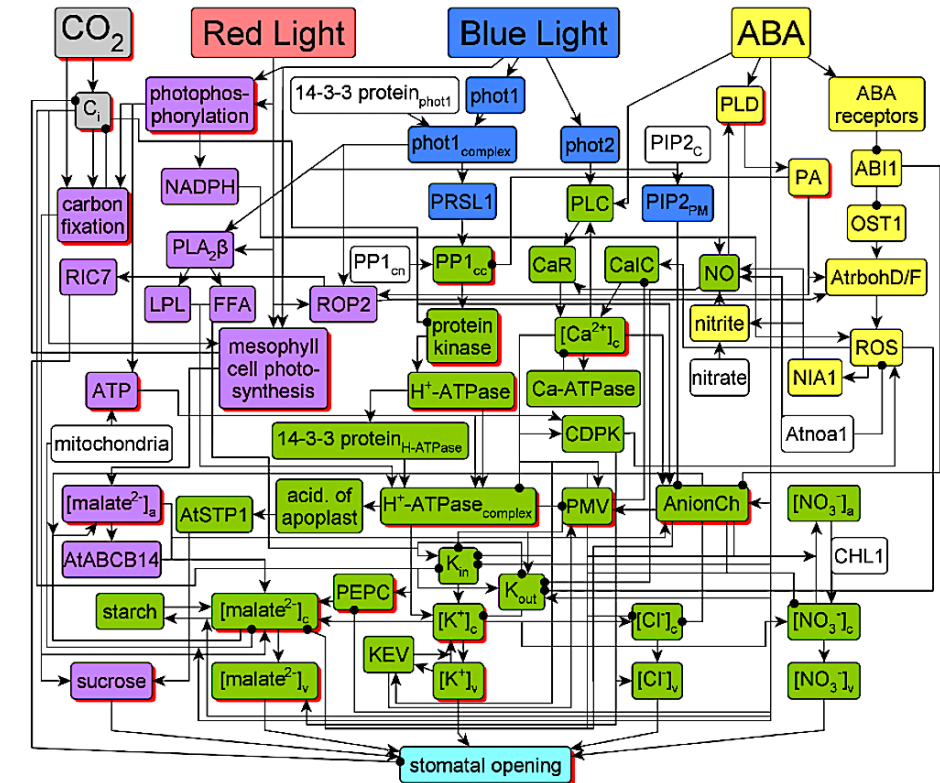
(Hu et al., 2010; Xu et al., 2011; Yamamoto et al., 2016; Zhang et al., 2018)

✓ Module HT1-MPK4/12

(Hashimoto et al., 2006; Hashimoto-Sugimoto et al., 2016; Horak et al., 2016; Takahashi et al., 2022; Jakobson et al., 2016; Toldsepp et al., 2018)

➡ **Senseur du CO₂ ?**

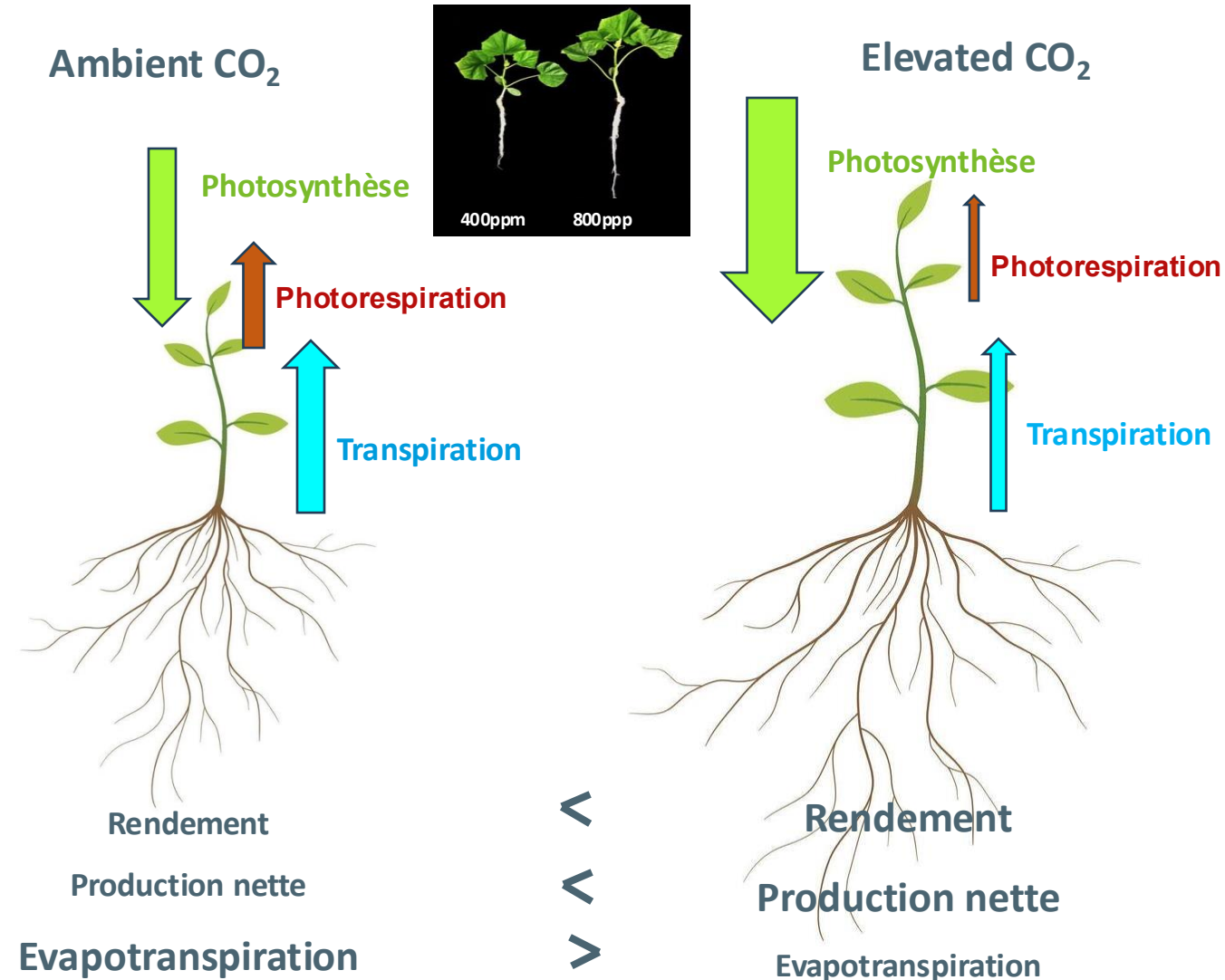
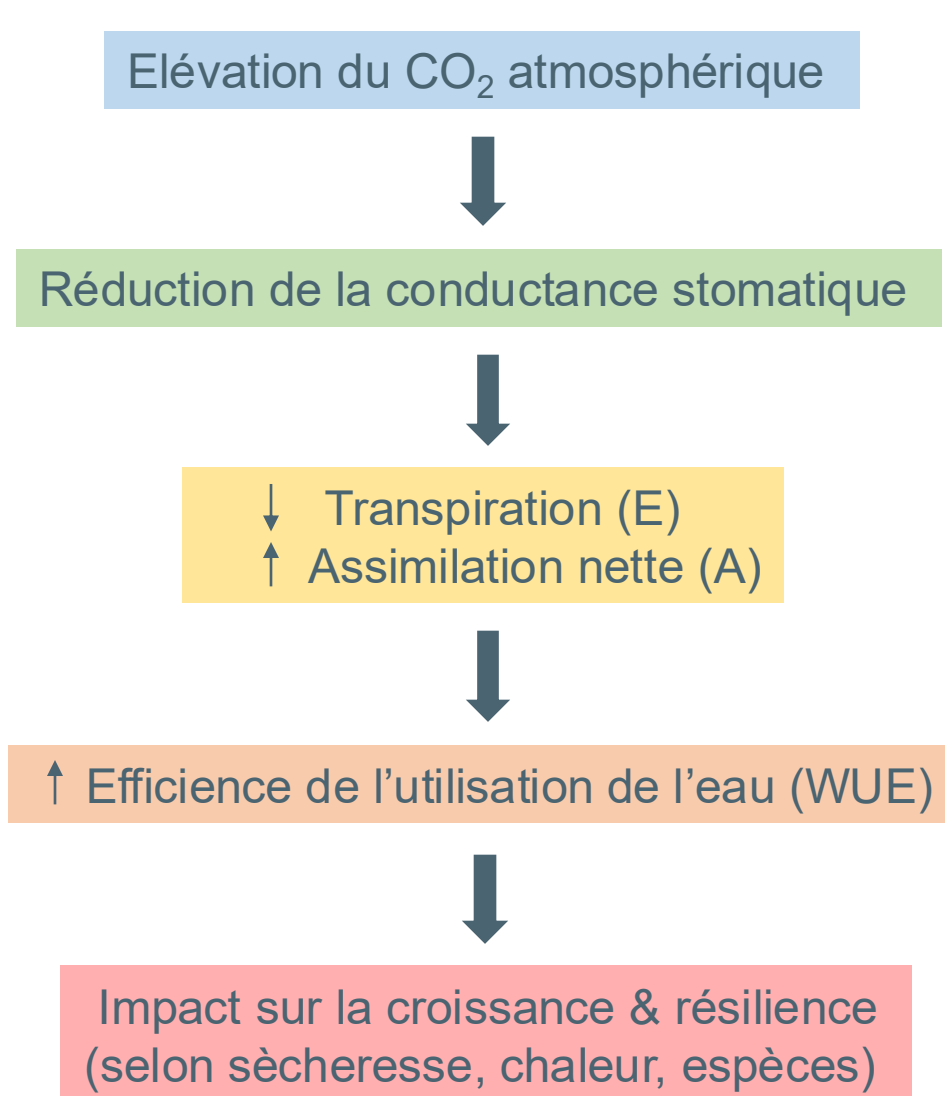
➡ **Interaction avec les autres voies de signalisation: ABA, lumière ... ?**



(d'après revue Gan & Albert. 2016)

➤ **Interaction avec le métabolisme** : le lien direct entre la perception du CO₂ dans les cellules de garde et les flux de sucres, d'ions et de métabolites est encore mal compris.

De la signalisation au contrôle physiologique



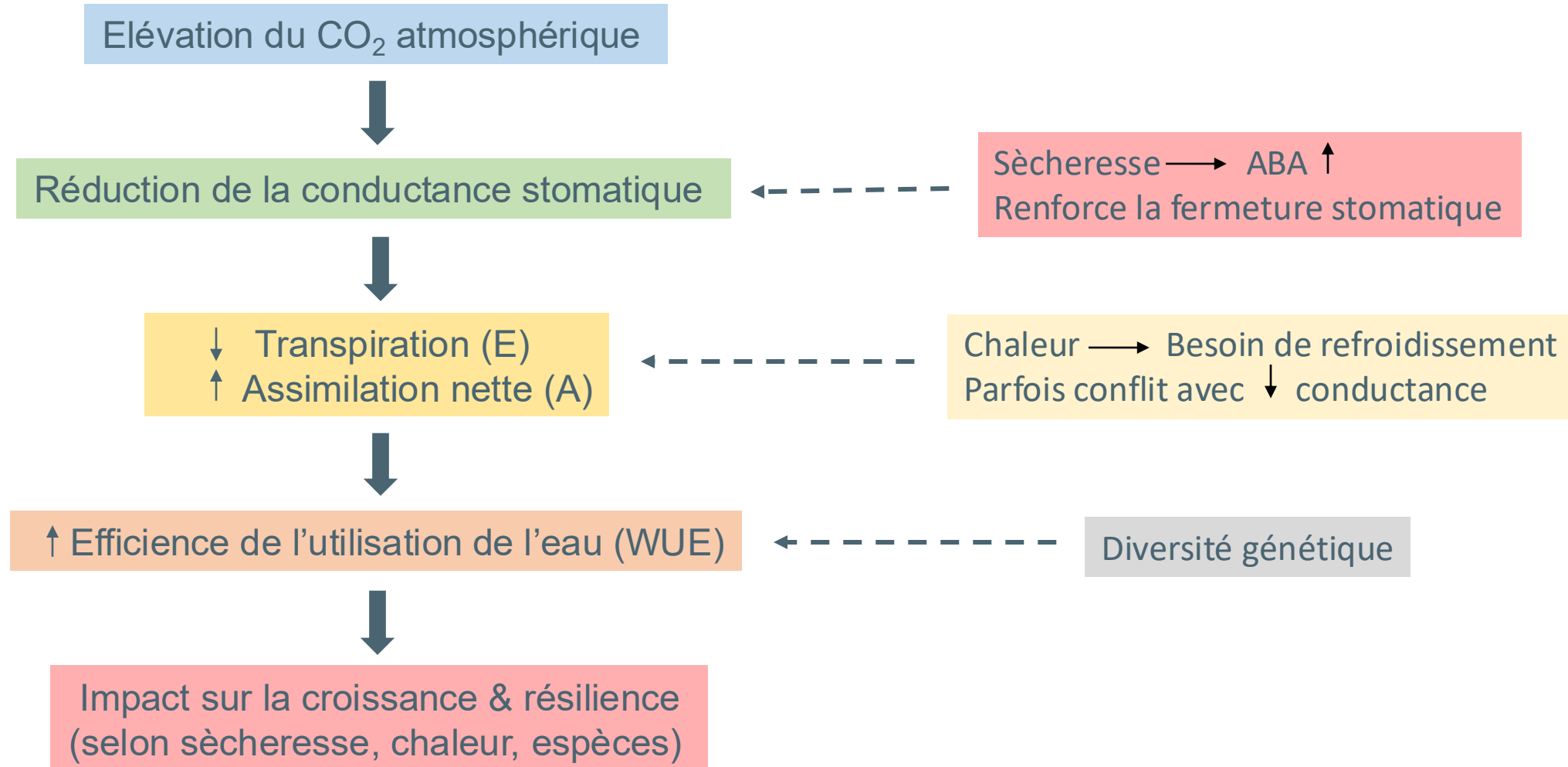
Quelques exemples ...

Espèce / type	Conditions expérimentales	Effets sur g_s	Effets sur A	Impact sur iWUE/WUE	Référence
<i>Arabidopsis thaliana</i> (C_3)	700 ppm vs 400 ppm CO_2	↓ 30–40 %	↓ ~10 %	+25–35 % iWUE	Engineer et al., 2016
Blé tendre (<i>Triticum aestivum</i> , C_3)	700 ppm vs 400 ppm CO_2	↓ 25–35 %	↑ 10–20 %	+30–40 % iWUE	Leakey et al., 2009
Tomate (<i>Solanum lycopersicum</i> , C_3)	700 ppm vs 400 ppm CO_2	↓ ~20–30 %	↑ ~10–15 %	+20–25 % WUE	Wang et al., 2024
Orge (<i>Hordeum vulgare</i> , C_3)	700 ppm vs 400 ppm CO_2	↓ 20–30 %	↑ ~10–15 %	+20–30 % iWUE	Merilo et al., 2019
Plantes C_4 (Sorgho, Maïs)	700 ppm vs 400 ppm CO_2	↓ 10–15 %	Photosynthèse saturée	Gain limité <10 % WUE	Leakey et al., 2006

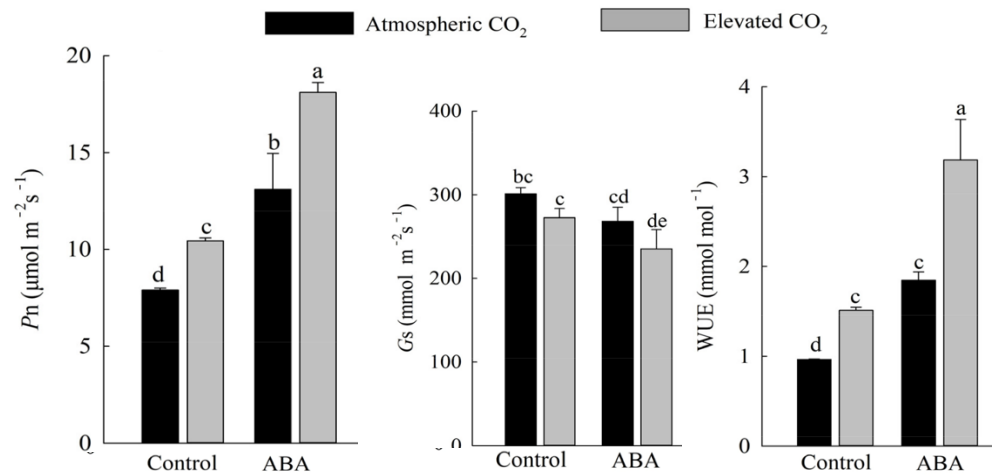
➔ Chez les C_3 , $e[CO_2]$: ↓ g_s de 20–40 % , ↑ d'assimilation de 10–20 %
 ↑ WUE de 20–40 %. assimilation

➔ Chez les C_4 , l'effet est **beaucoup plus limité**, car la photosynthèse est déjà saturée en CO_2 .

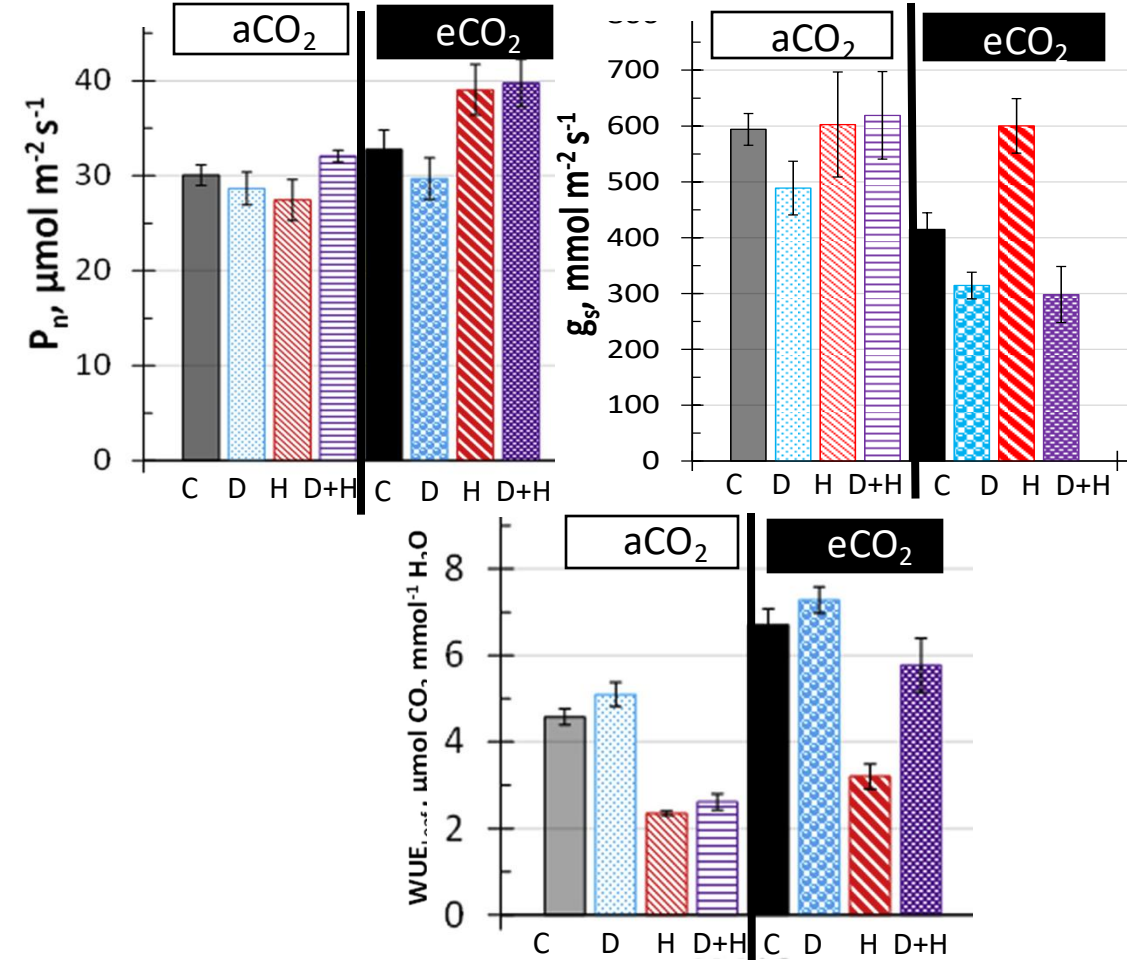
Effets des multiples stress



Effets des multiples stress



(Li et al., 2020)



(Abdelhakim et al., 2021)

➔ En stress hydrique, le bénéfice d'e[CO₂] est souvent amplifié

Conclusion & Perspectives

- ✓ **Les stomates** assurent la coordination entre l'assimilation de carbone, la transpiration et le contrôle thermique foliaire.
- ✓ **L'élévation du CO₂ atmosphérique induit une réduction de la conductance stomatique (gs)**, avec pour conséquence une augmentation apparente de iWUE.
 - ➔ L'ampleur et la durabilité de ce bénéfice dépendent fortement de l'espèce (C3, C4), du génotype et des conditions environnementales.
- ✓ **En conditions de stress combinés (sécheresse, chaleur)**: interactions entre les voies de signalisation du CO₂, de l'ABA et d'autres signaux hydriques et thermiques
- ✓ **À long terme, les plantes présentent une acclimatation photosynthétique** au eCO₂ : ajustement de la capacité photosynthétique & remodelage métabolique qui pourrait réduire les gains initiaux en assimilation et en WUE.
- ✓ Améliorer l'intégration des réponses stomatiques et photosynthétiques dans les **modèles globaux de cycle du carbone et l'eau**.

Merci pour votre attention

Nathalie Leonhardt

nathalie.leonhardt@cea.fr

