



HAL
open science

L'arbre face aux changements climatiques

Didier Le Thiec

► **To cite this version:**

| Didier Le Thiec. L'arbre face aux changements climatiques. 2017. hal-02949503

HAL Id: hal-02949503

<https://hal.inrae.fr/hal-02949503>

Submitted on 25 Sep 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Didier Le Thiec

UMR Ecologie et Ecophysiologie Forestières
UMR Silva (2018)



Changements Globaux

↔ Changements climatiques



- Changement d'usage des terres
- Intensification de l'usage des terres
- Dégradation des écosystèmes

- Perturbation des grands cycles biogéochimiques (carbone, eau, éléments minéraux)

- Changements climatiques

- Fragmentation des habitats
- Perte de Biodiversité / Extinction d'espèces

Le cinquième rapport du GIEC 2014 (800 auteurs, 1000 relecteurs)

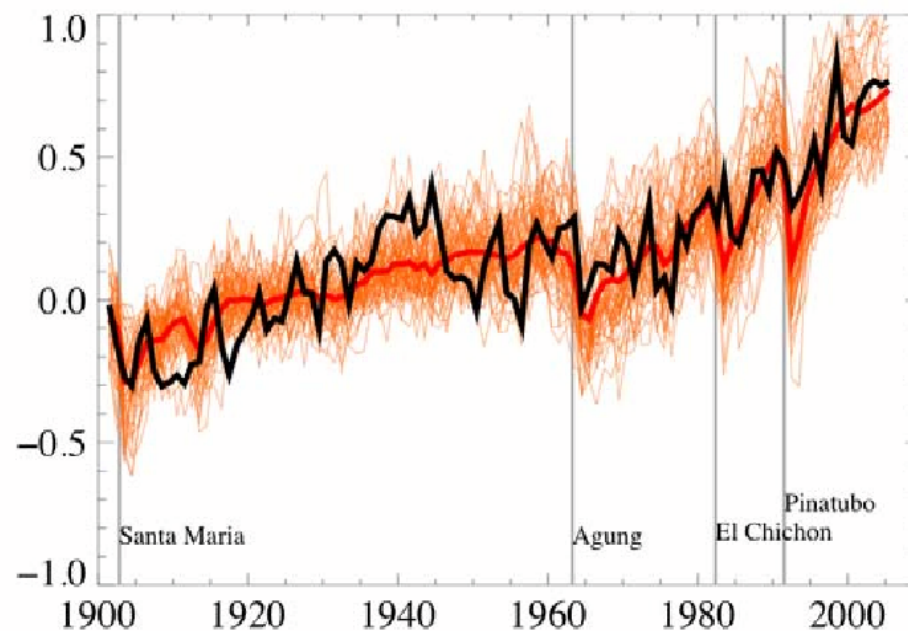
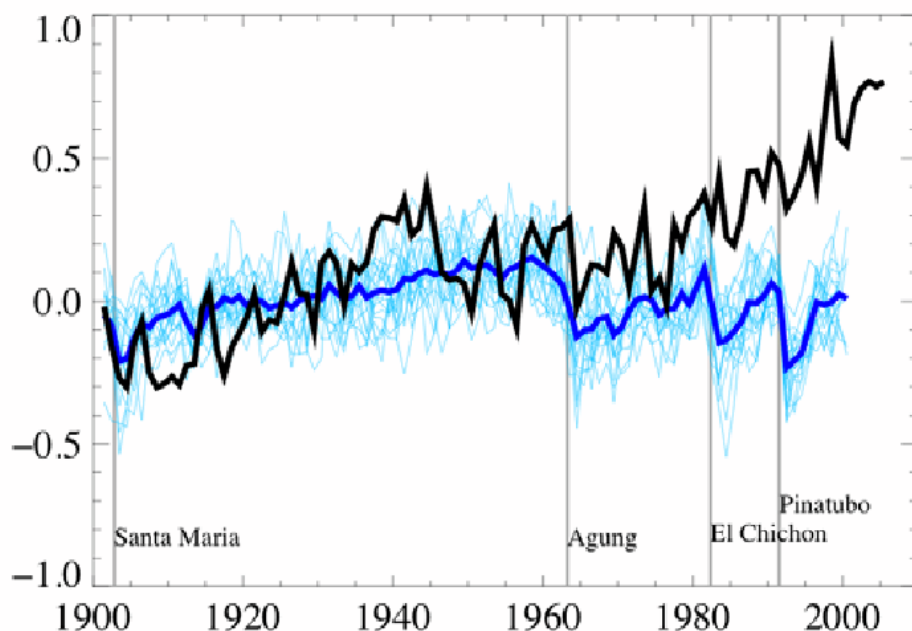
- Le groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC, IPCC en Anglais) est un organisme intergouvernemental ouvert à tous les membres de l'ONU.
- Il a été créé en novembre 1988 à la demande du G7 (G8) par deux organismes de l'ONU : l'organisation météorologique mondiale (OMM) et le Programme des Nations unies pour l'Environnement (PNUE). Fondateurs : Bert Bolin, Maurice Strong, John T. Houghton. C'est un lieu d'expertise collective et de raisonnement prospectif.
- Le GIEC est organisé en trois groupes de travail :
 - Groupe I : les principes physiques du changement climatique ;
 - Groupe II : les impacts, la vulnérabilité et l'adaptation au changement climatique ;
 - Groupe III : les moyens d'atténuer (mitigation) le changement climatique.).S'y ajoute une **équipe spéciale** pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre. Ses activités sont principalement la production des rapports (rapport d'évaluation, rapports spéciaux).
- Ces rapports sont souvent désignés sous les acronymes suivants :
 - FAR (*First Assessment Report*) pour le Premier rapport (1990)
 - SAR (*Second Assessment Report*) pour le Deuxième rapport (1995)
 - TAR (*Third Assessment Report*) pour le Troisième rapport (2001)
 - AR4 (*4th Assessment Report*) pour le Quatrième rapport (2007)
 - AR5 (*5th Assessment Report*) pour le Cinquième Rapport (**octobre 2013** **groupe I**, mars 2014 groupe II, avril 2014 groupe 3, octobre 2014 synthèse).

Variations de la température moyenne globale en surface simulées et observées au 20^e siècle (GIEC, 2007)

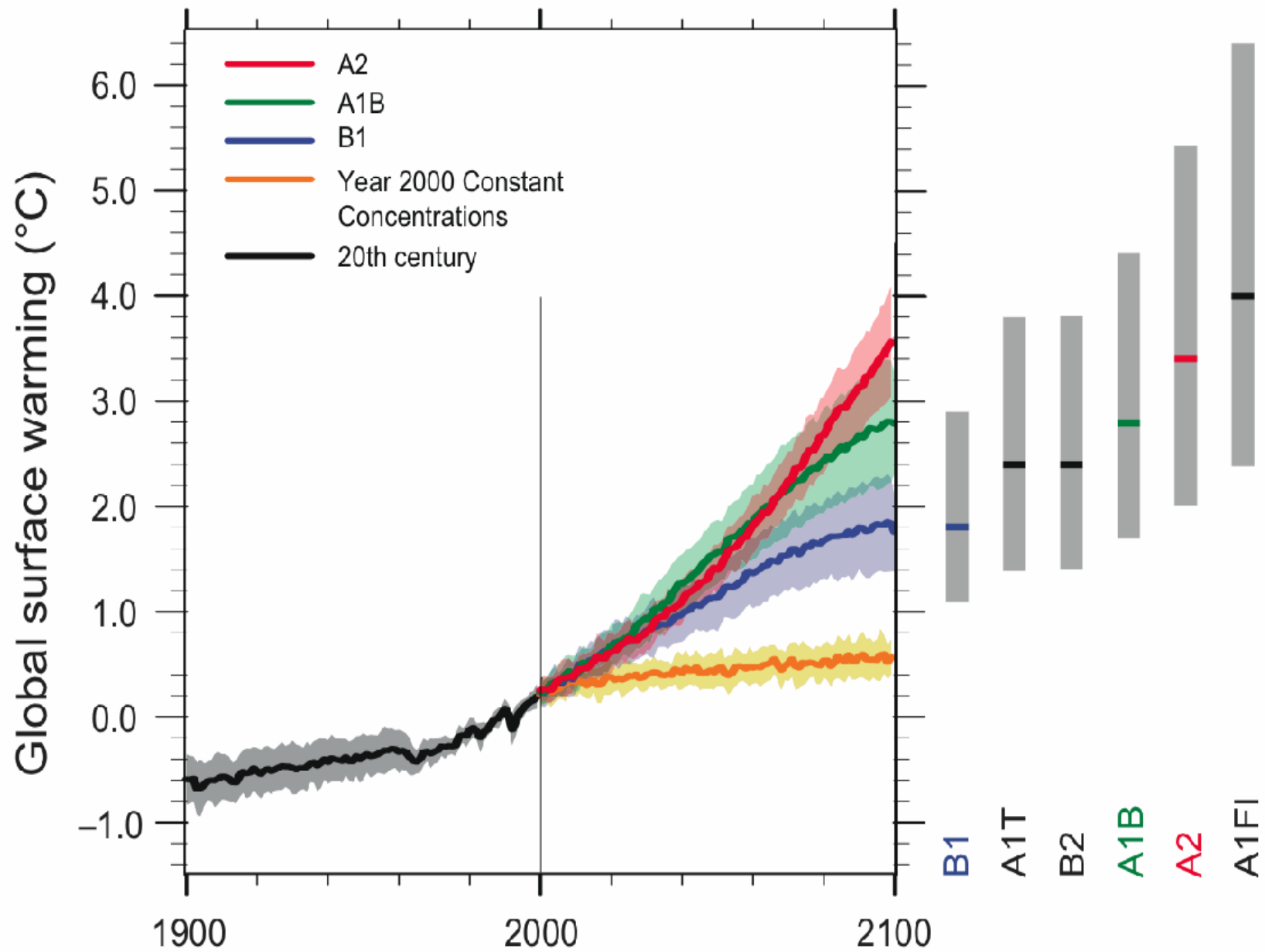
Anomalies par rapport à la moyenne 1901-1950 (°C)

Simulations avec forçages naturels
seuls

Simulations avec forçages naturels
et anthropiques (gaz à effet de serre)

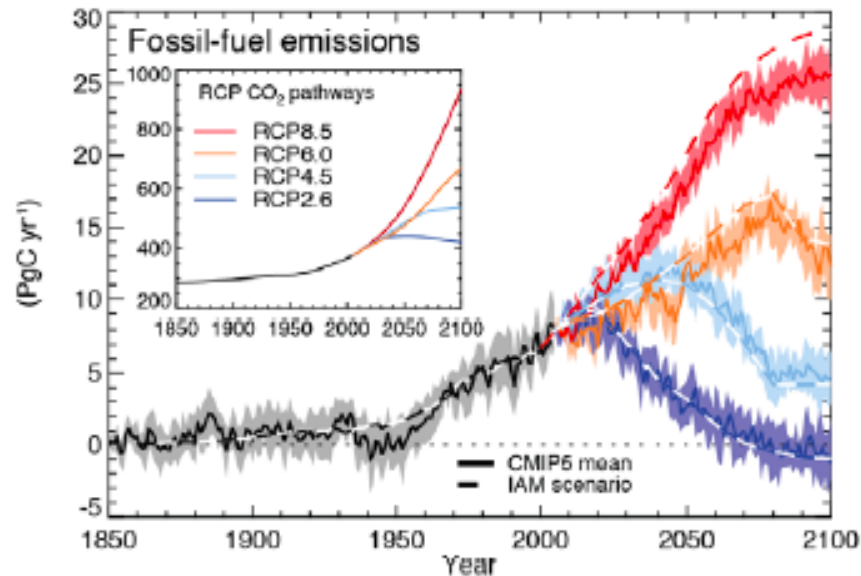


L'essentiel de l'accroissement observé sur la température moyenne globale depuis le milieu du 20^e siècle est *très probablement* dû à l'augmentation observée des concentrations de gaz à effet de serre d'origine humaine (GIEC, 2007)

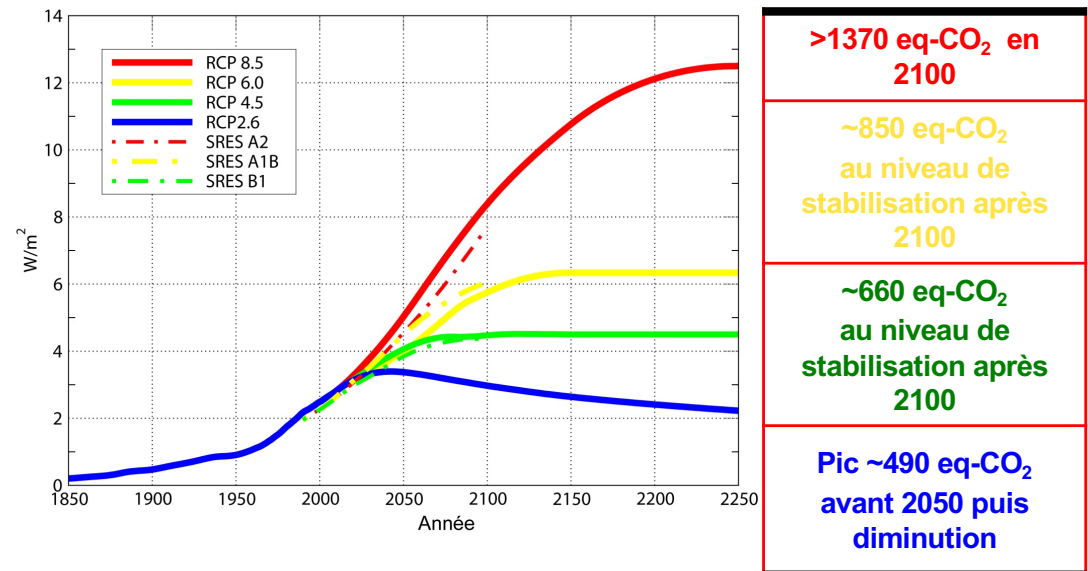


Les nouveaux scénarios du GIEC (5^{ème} rapport : oct. 2013)

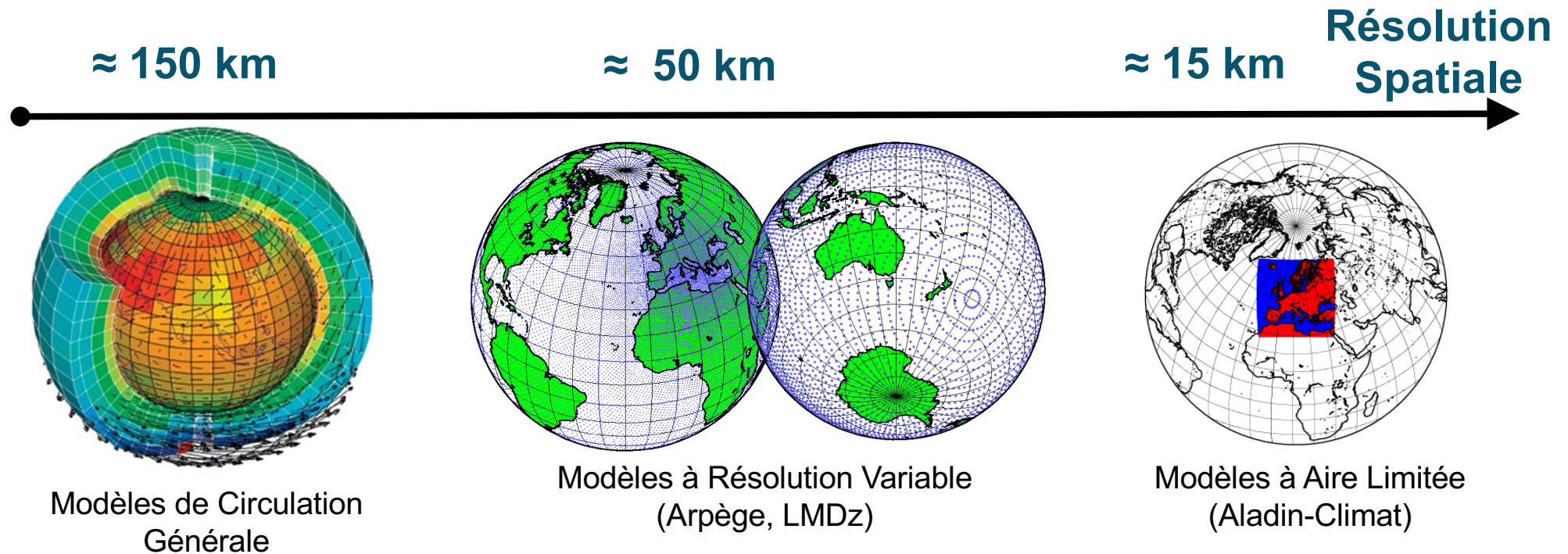
Emissions fossiles compatibles avec les RCPs



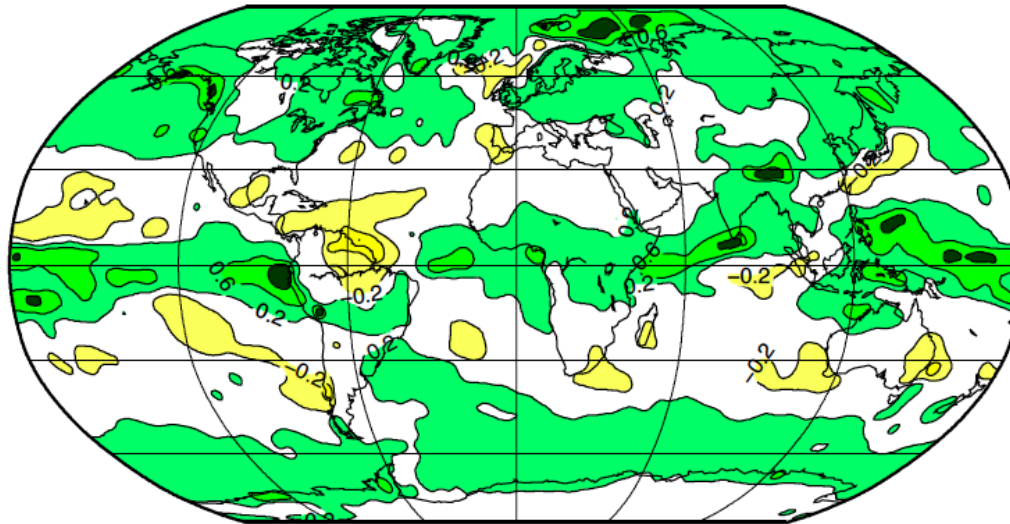
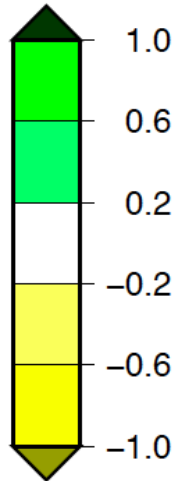
Modification du bilan d'énergie de la planète: Forçage radiatif en W/m²



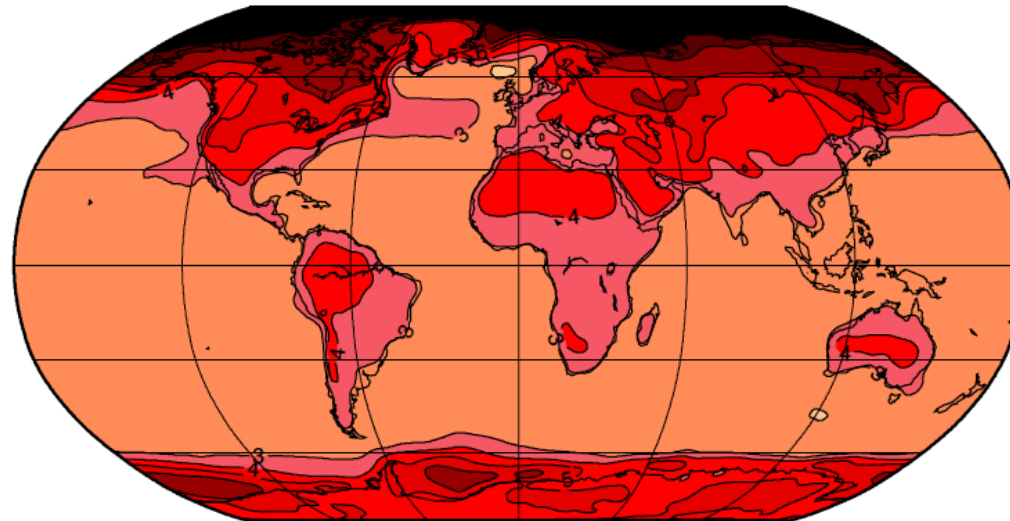
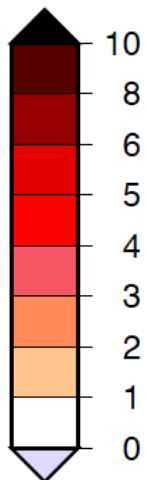
Les modèles de climat



- La modélisation climatique simule les échanges d'énergie et de matières entre des mailles de calcul, afin d'approcher la réalité de la Terre dont ils représentent les différents compartiments : océan, atmosphère, surfaces...
- Les modèles sont qualifiés par leur capacité à reconstituer les phénomènes et les évolutions du passé.

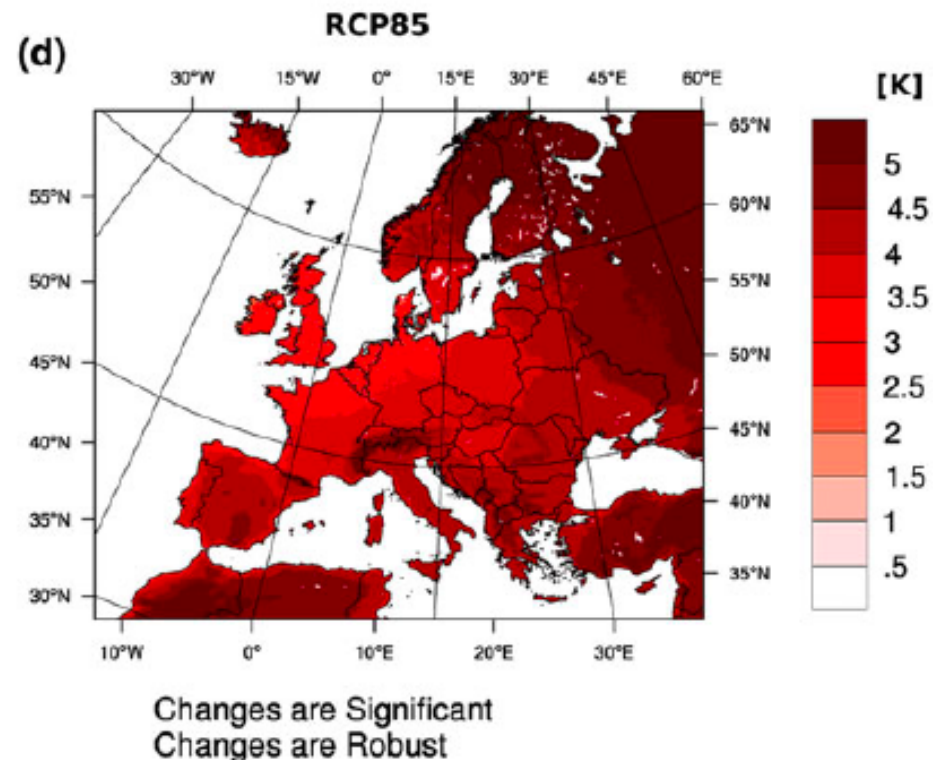
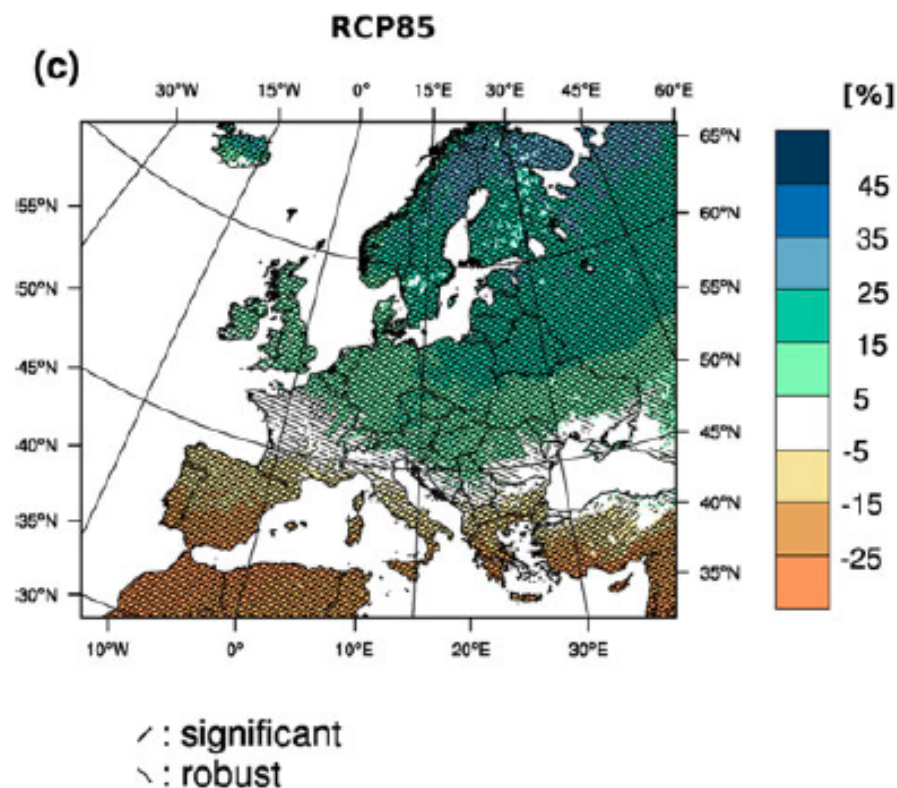


Δ Précipitations
mm par jour



Δ Températures
moyennes
°C

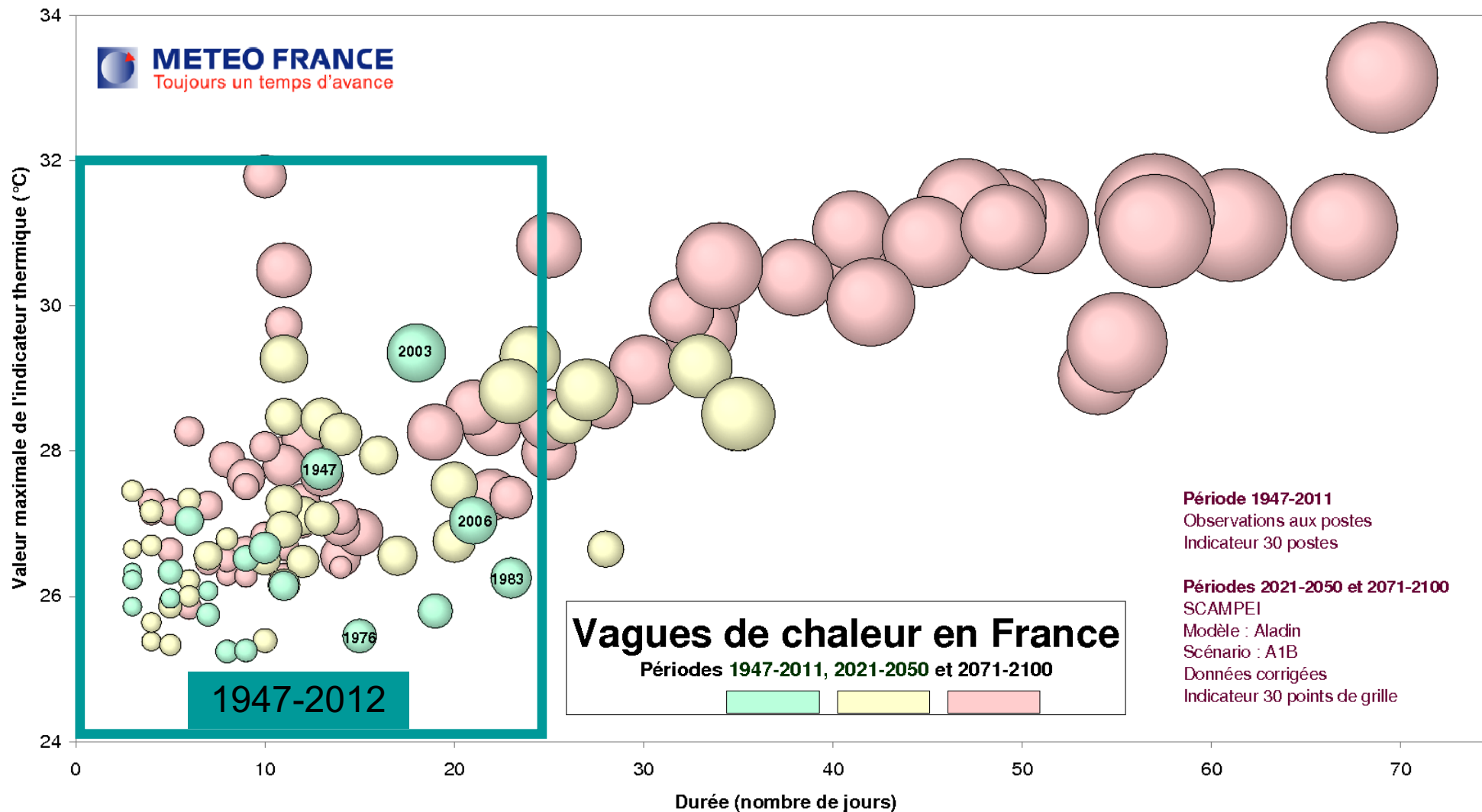
Résultats des modélisations (modèle CNRM-CM5). Moyenne annuelle des différences de précipitations (mm par jour) et de température (°C) entre 1970-2000 et 2071-2100. Scénario RCP8.5 de AR5 GIEC. Michel Déqué Météo-France



Variations prédites de précipitations annuelles (%) et de température moyenne annuelle pour 2071-2100 en comparaison avec 1971-2000. Scénario RCP8.5 du GIEC.

[Jacobs D et al. 2014 \(ou 2013 ?\). EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. Reg Environ Change](#)

Ce qui nous attend probablement

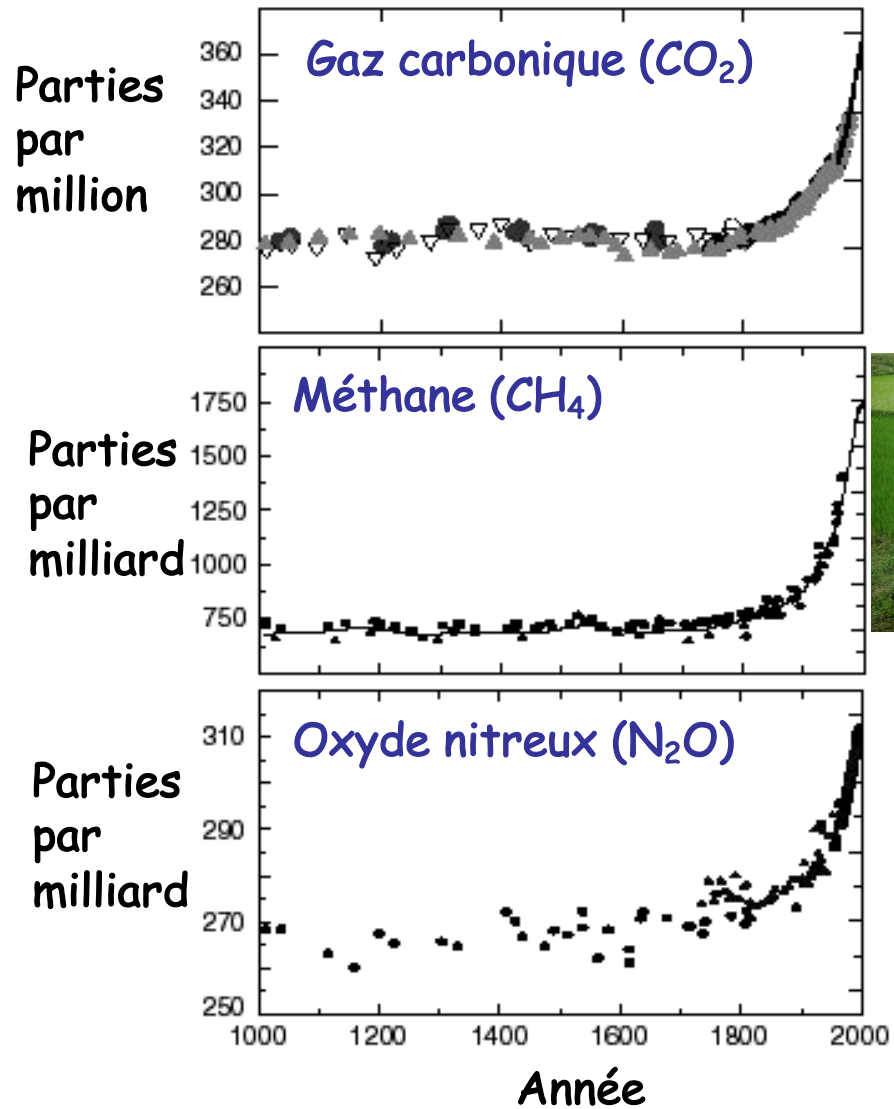


La surface des sphères symbolise l'intensité globale des vagues de chaleur, les sphères les plus grandes correspondant aux vagues de chaleur les plus sévères

- ✓ Les principaux gaz à effet de serre non-artificiels sont :
 - la vapeur d'eau (H_2O),
 - le **dioxyde de carbone ou gaz carbonique** (CO_2),
 - le **méthane** (CH_4),
 - le **protoxyde d'azote** (N_2O)
 - l'**ozone** (O_3).

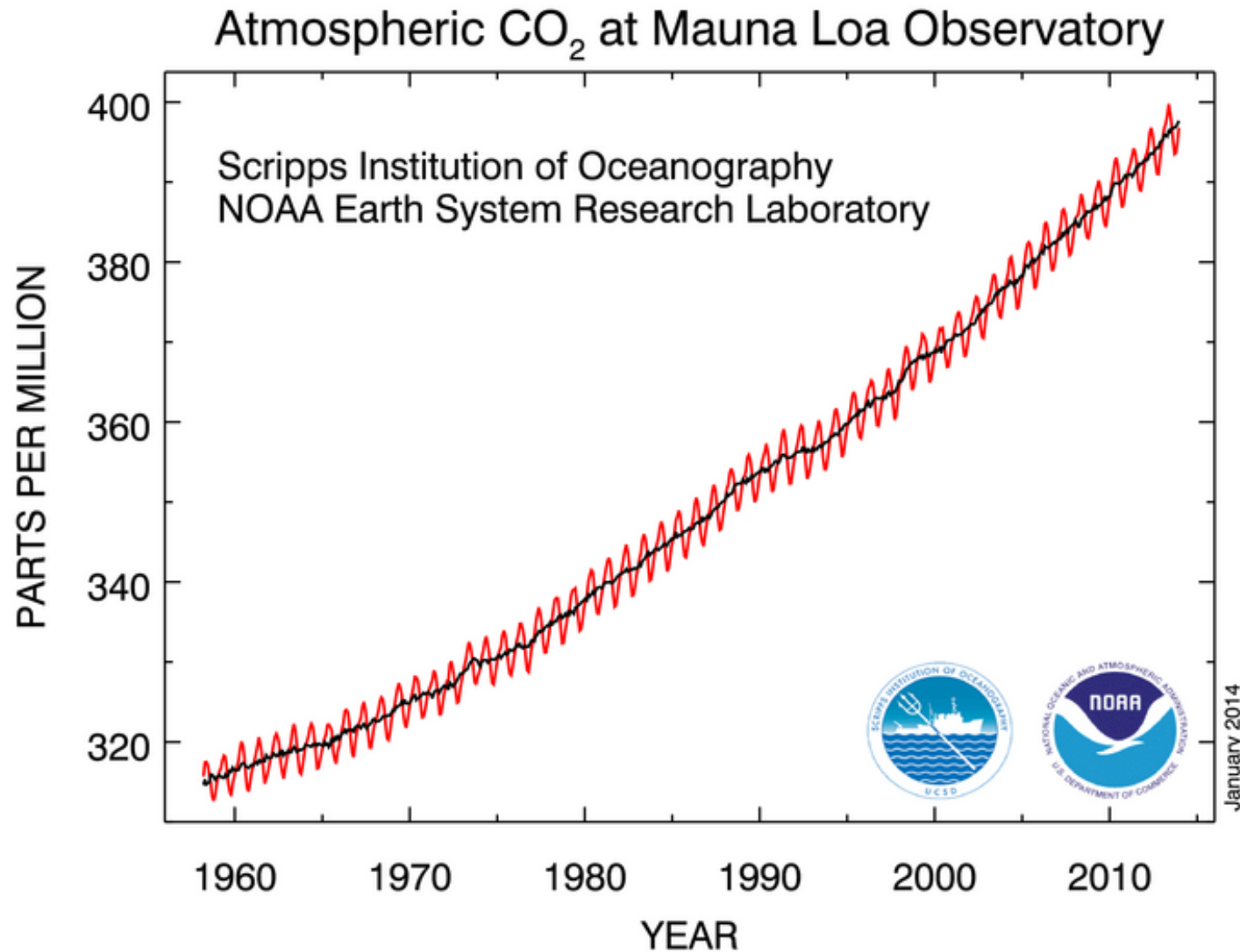
- ✓ La vapeur d'eau est à l'origine de 55% de l'effet de serre actuel.

Trois composants expliquant l'augmentation de l'effet de serre planétaire



Les enseignements de la série de mesures continues de CO₂ atmosphérique la plus longue.

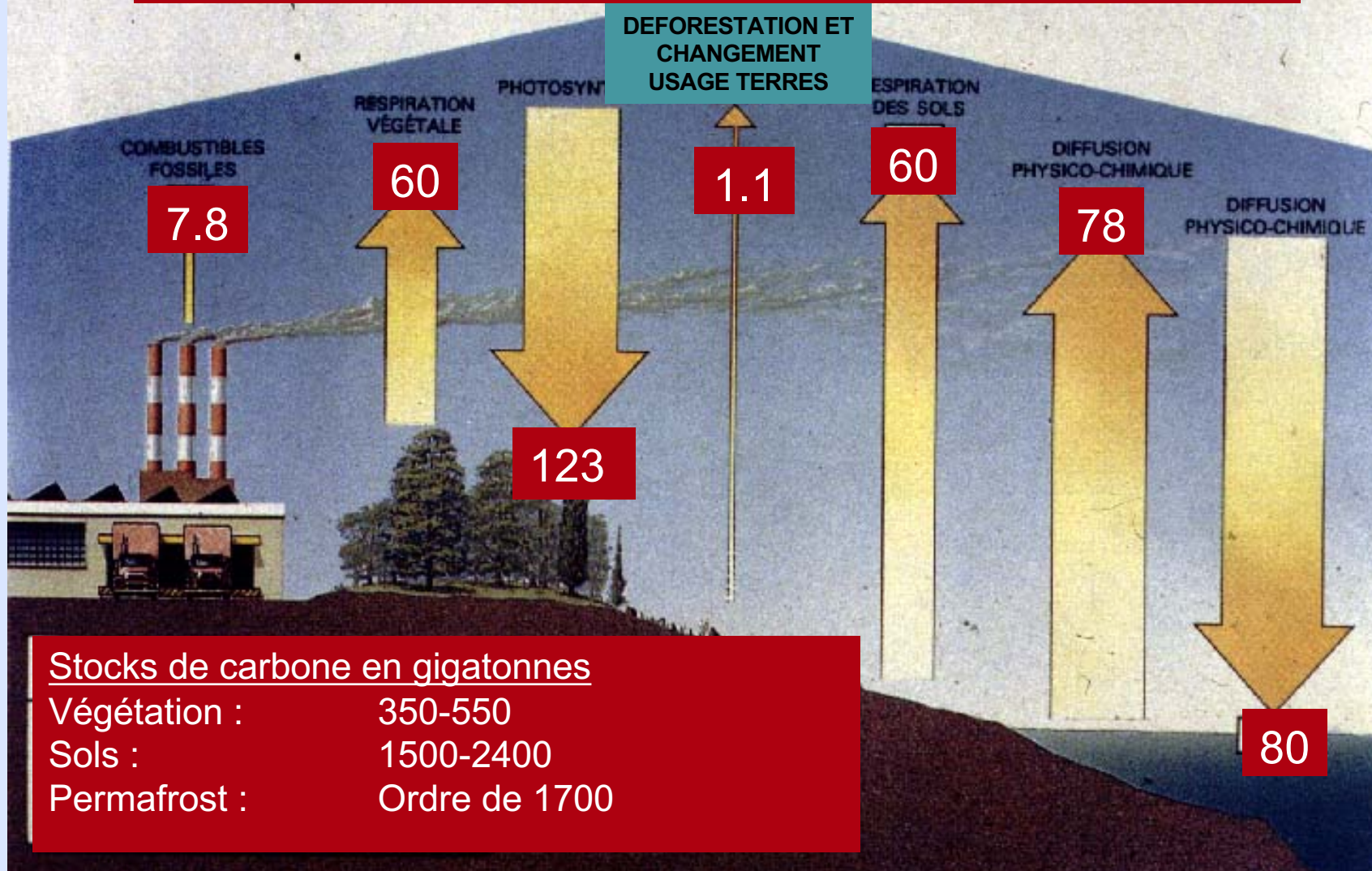
1958 année géophysique internationale. Charles Keeling, Roger Revelle (Scripps Institution)



- Les mesures sont représentatives des moyennes atmosphériques globales ('baseline') car éloignées de sources d'importantes d'émissions
- Croissance forte
- Dents de scie intra-annuels

Atmosphère.

Stock = 830 gigatonnes C,
 $\Delta = +4$ gigatonnes/an



Stocks (gigatonnes) et flux (gigatonnes/an) de carbone dans le système terres-océan-atmosphère (2000-2009). Données GIEC AR5 I.

Table 3. The global carbon budget for two time periods (Pg C year^{-1}). There are different arrangements to account for elements of the global C budget (see also table S6). Here, the accounting was based on global C sources and sinks. The terrestrial sink was the residual derived from constraints of two major anthropogenic sources and the sinks in the atmosphere and oceans. We used the C sink in global established forests as a proxy for the terrestrial sink.

Sources and sinks	1990–1999	2000–2007
<i>Sources (C emissions)</i>		
Fossil fuel and cement*	6.5 ± 0.4	7.6 ± 0.4
Land-use change†	1.5 ± 0.7	1.1 ± 0.7
Total sources	8.0 ± 0.8	8.7 ± 0.8
<i>Sinks (C uptake)</i>		
Atmosphere‡	3.2 ± 0.1	4.1 ± 0.1
Ocean‡	2.2 ± 0.4	2.3 ± 0.4
Terrestrial (established forests)§	2.5 ± 0.4	2.3 ± 0.5
Total sinks	7.9 ± 0.6	8.7 ± 0.7
Global residuals	0.1 ± 1.0	0.0 ± 1.0

*See (2). †See (4, 7, 25). The global land-use change emission is approximately equal to the tropical land-use change emission, because the net carbon balance of land-use changes in temperate and boreal regions is neutral (24, 38). ‡See (4). §Estimates of C sinks in the global established forests (that are outside the areas of tropical land-use changes) from this study. Note that the carbon sink in tropical regrowth forests is excluded because it is included in the term of land-use change emission (see above and Table 1). ||Global C residuals are close to zero when averaged over a decade. Uncertainties in the global residuals indicate either a land sink or source in the 212 Mha of forest not included here, on nonforest land, or systematic error in other source (overestimate) or sink (underestimate) terms, or both.

[Pan Y et al. 2011. A large and persistent carbon sink in the world's forests. Science 333, 988-993.](#)

Table 1. Global forest carbon budget (Pg C year⁻¹) over two time periods. Sinks are positive values; sources are negative values.

Carbon sink and source in biomes	1990–1999	2000–2007	1990–2007
Boreal forest	0.50 ± 0.08	0.50 ± 0.08	0.50 ± 0.08
Temperate forest	0.67 ± 0.08	0.78 ± 0.09	0.72 ± 0.08
Tropical intact forest*	1.33 ± 0.35	1.02 ± 0.47	1.19 ± 0.41
Total sink in global established forests†	2.50 ± 0.36	2.30 ± 0.49	2.41 ± 0.42
Tropical regrowth forest‡	1.57 ± 0.50	1.72 ± 0.54	1.64 ± 0.52
Tropical gross deforestation emission§	-3.03 ± 0.49	-2.82 ± 0.45	-2.94 ± 0.47
Tropical land-use change emission	-1.46 ± 0.70	-1.10 ± 0.70	-1.30 ± 0.70
Global gross forest sink¶	4.07 ± 0.62	4.02 ± 0.73	4.05 ± 0.67
Global net forest sink#	1.04 ± 0.79	1.20 ± 0.85	1.11 ± 0.82

Equations of global forest C fluxes

$$F_{\text{established forests}} = F_{\text{boreal forests}} + F_{\text{temperate forests}} + F_{\text{tropical intact forests}} \quad (\text{Eq. 1})$$

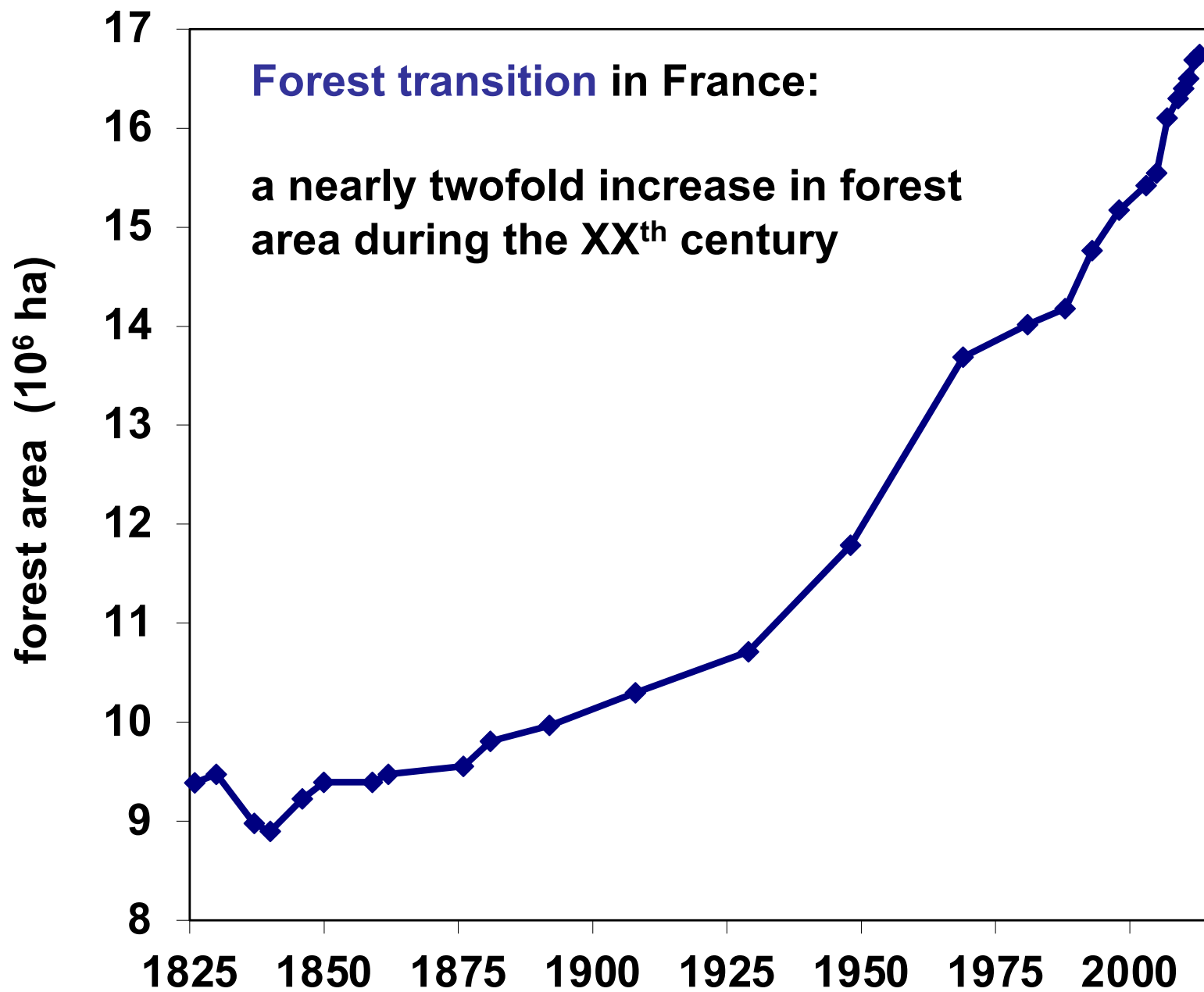
$$F_{\text{tropical land-use change}} = F_{\text{tropical gross deforestation}} + F_{\text{tropical regrowth forests}} \quad (\text{Eq. 2})$$

$$F_{\text{gross forest sink}} = F_{\text{established forests}} + F_{\text{tropical regrowth forests}} \quad (\text{Eq. 3})$$

$$F_{\text{net forest sink}} = F_{\text{established forests}} + F_{\text{tropical land-use change}} \quad (\text{Eq. 4})$$

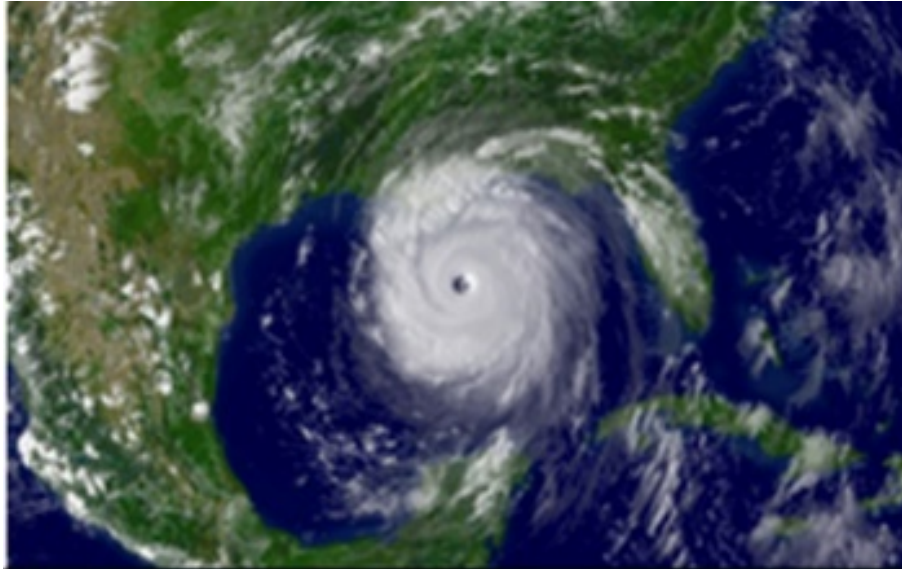
*Tropical intact forests: tropical forests that have not been substantially affected by direct human activities; flux accounts for the dynamics of natural disturbance-recovery processes. †Global established forests: the forest remaining forest over the study periods plus afforested land in boreal and temperate biomes, in addition to intact forest in the tropics (Eq. 1). ‡Tropical regrowth forests: tropical forests that are recovering from past deforestation and logging. §Tropical gross deforestation: the total C emissions from tropical deforestation and logging, not counting the uptake of C in tropical regrowth forests. ||Tropical land-use change: emissions from tropical land-use change, which is a net balance of tropical gross deforestation emissions and C uptake in regrowth forests (Eq. 2). It may be referenced as a tropical net deforestation emission in the literature. ¶Global gross forest sink: the sum of total sinks in global established forests and tropical regrowth forests (Eq. 3). #Global net forest sink: the net budget of global forest fluxes (Eq. 4). It can be calculated in two ways: (i) total sink in global established forests minus tropical land-use change emission or (ii) total global gross forest sink minus tropical gross deforestation emission.

[Pan Y et al. 2011. A large and persistent carbon sink in the world's forests. Science 333, 988-993.](#)

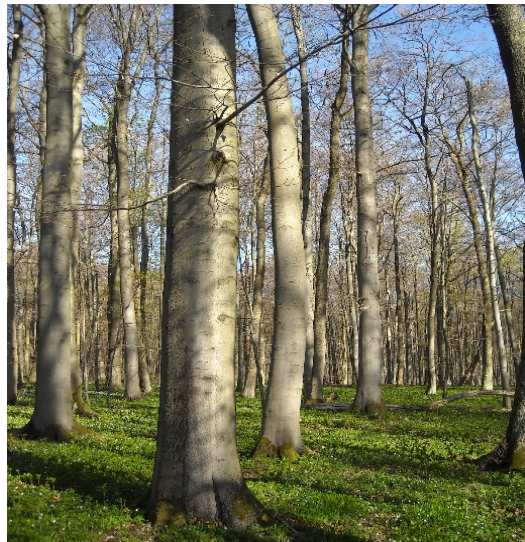


Changements climatiques

Conséquences

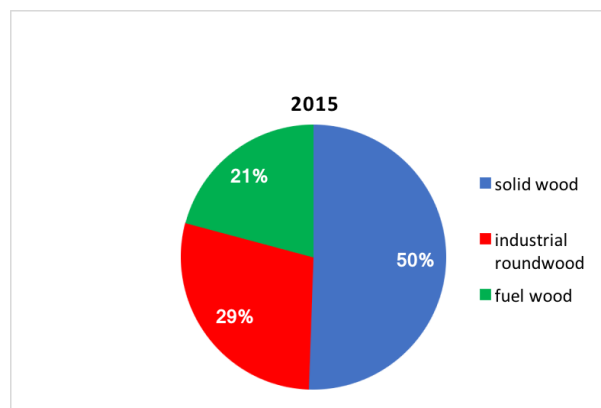
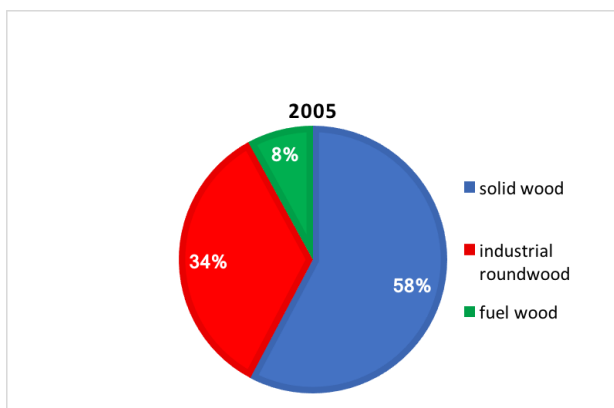


Climate change - extreme events



Contexte pour nos forêts

- **Climatic risks** : extreme drought and heat, windstorms, ozone pollution
- **Global changes** : climate, land use changes...
- The energy crisis and the **renewed interest in woody biomass**.
- Renewed interests for woody biomass, challenges of the energy and ecological transitions



Harvested (volume)
source Agreste

Main expectation

- Strong societal expectations for forest production and different ecosystem services (adaptation, climate change mitigation, biodiversity, ...)
- **Forests for future** : which species? Understanding mechanisms of responses and adaptation
- **Role of forests in the mitigation of climate change:** CO₂, CH₄ and energy fluxes and balance.

Changements climatiques

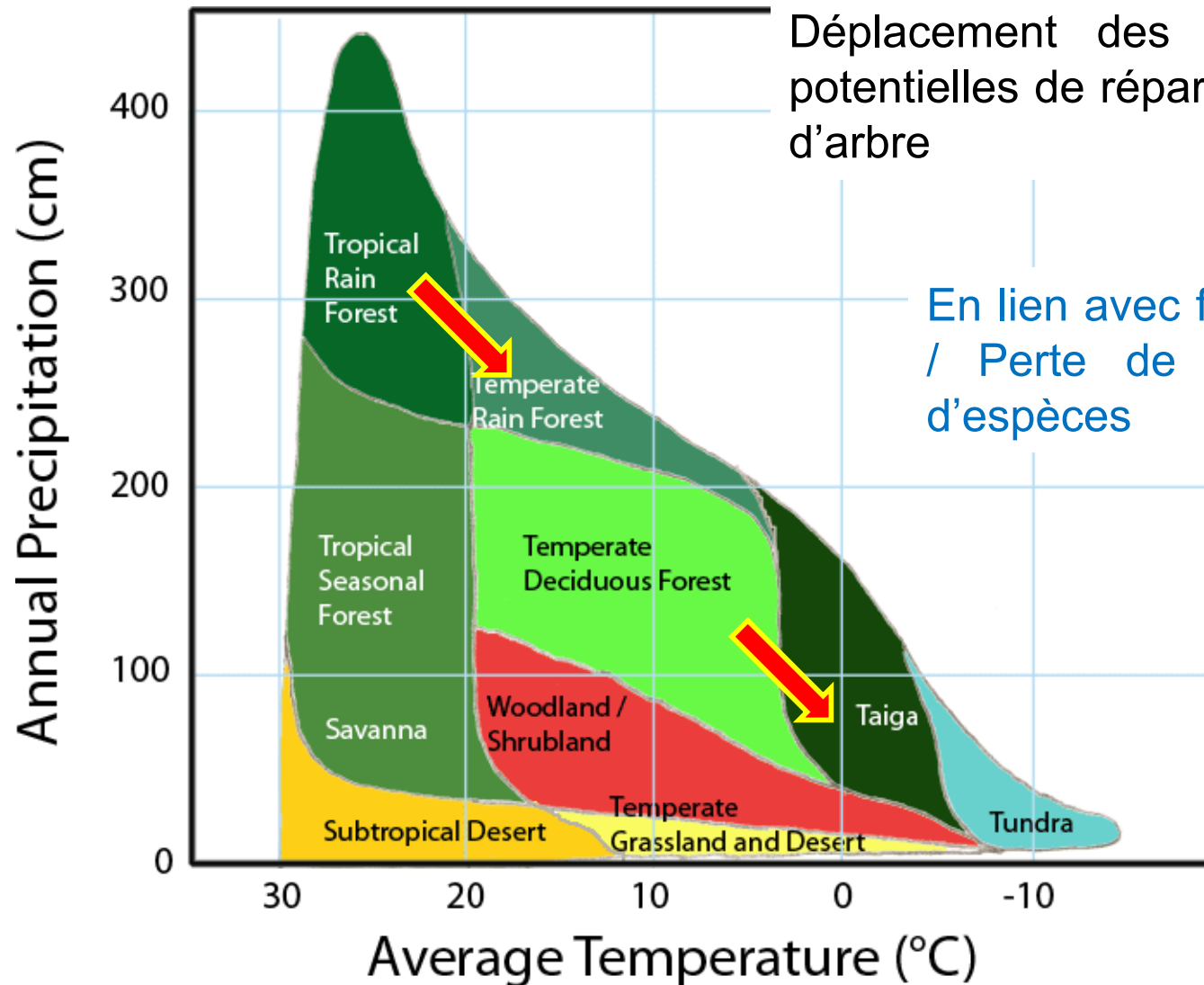
Conséquences

Possible impacts of climate change due to projected changes in extreme weather and climate events (IPCC, 2007)

Phenomenon ^a and direction of trend	Likelihood of future trends based on projections for 21 st century using SRES scenarios	Examples of major projected impacts by sector			
		Agriculture, forestry and ecosystems (WGII 4.4, 5.4)	Water resources (WGII 3.4)	Human health (WGII 8.2, 8.4)	Industry, settlement and society (WGII 7.4)
Over most land areas, warmer and fewer cold days and nights, warmer and more frequent hot days and nights	<i>Virtually certain^b</i>	Increased yields in colder environments; decreased yields in warmer environments; increased insect outbreaks	Effects on water resources relying on snowmelt; effects on some water supplies	Reduced human mortality from decreased cold exposure	Reduced energy demand for heating; increased demand for cooling; declining air quality in cities; reduced disruption to transport due to snow, ice; effects on winter tourism
Warm spells/heat waves. Frequency increased over most land areas	<i>Very likely</i>	Reduced yields in warmer regions due to heat stress; increased danger of wildfire	Increased water demand; water quality problems, e.g. algal blooms	Increased risk of heat-related mortality, especially for the elderly, chronically sick, very young and socially isolated	Reduction in quality of life for people in warm areas without appropriate housing; impacts on the elderly, very young and poor
Heavy precipitation events. Frequency increases over most areas	<i>Very likely</i>	Damage to crops; soil erosion, inability to cultivate land due to waterlogging of soils	Adverse effects on quality of surface and groundwater; contamination of water supply; water scarcity may be relieved	Increased risk of deaths, injuries and infectious, respiratory and skin diseases	Disruption of settlements, commerce, transport and societies due to flooding; pressures on urban and rural infrastructures; loss of property
Area affected by drought increases	<i>Likely</i>	Land degradation; lower yields/crop damage and failure; increased livestock deaths; increased risk of wildfire	More widespread water stress	Increased risk of food and water shortage; increased risk of malnutrition; increased risk of water- and food-borne diseases	Water shortage for settlements, industry and societies; reduced hydropower generation potentials; potential for population migration
Intense tropical cyclone activity increases	<i>Likely</i>	Damage to crops; windthrow (uprooting) of trees; damage to coral reefs	Power outages causing disruption of public water supply	Increased risk of deaths, injuries, water- and food-borne diseases; post-traumatic stress disorders	Disruption by flood and high winds; withdrawal of risk coverage in vulnerable areas by private insurers; potential for population migrations, loss of property
Increased incidence of extreme high sea level (excludes tsunamis) ^c	<i>Likely^d</i>	Salinisation of irrigation water, estuaries and freshwater systems	Decreased freshwater availability due to saltwater intrusion	Increased risk of deaths and injuries by drowning in floods; migration-related health effects	Costs of coastal protection versus costs of land-use relocation; potential for movement of populations and infrastructure; also see tropical cyclones above

Changements climatiques

Conséquences



Déplacement des aires climatiques potentielles de répartition des espèces d'arbre

En lien avec fragmentation des habitats / Perte de Biodiversité / Extinction d'espèces

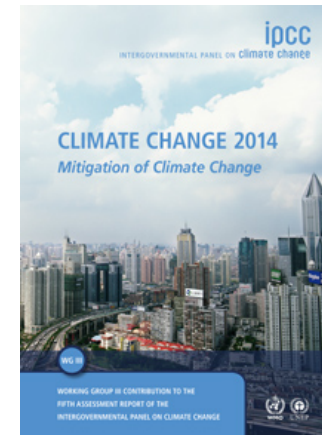
L'adaptation comme 'nouveau' paradigme

Constats :

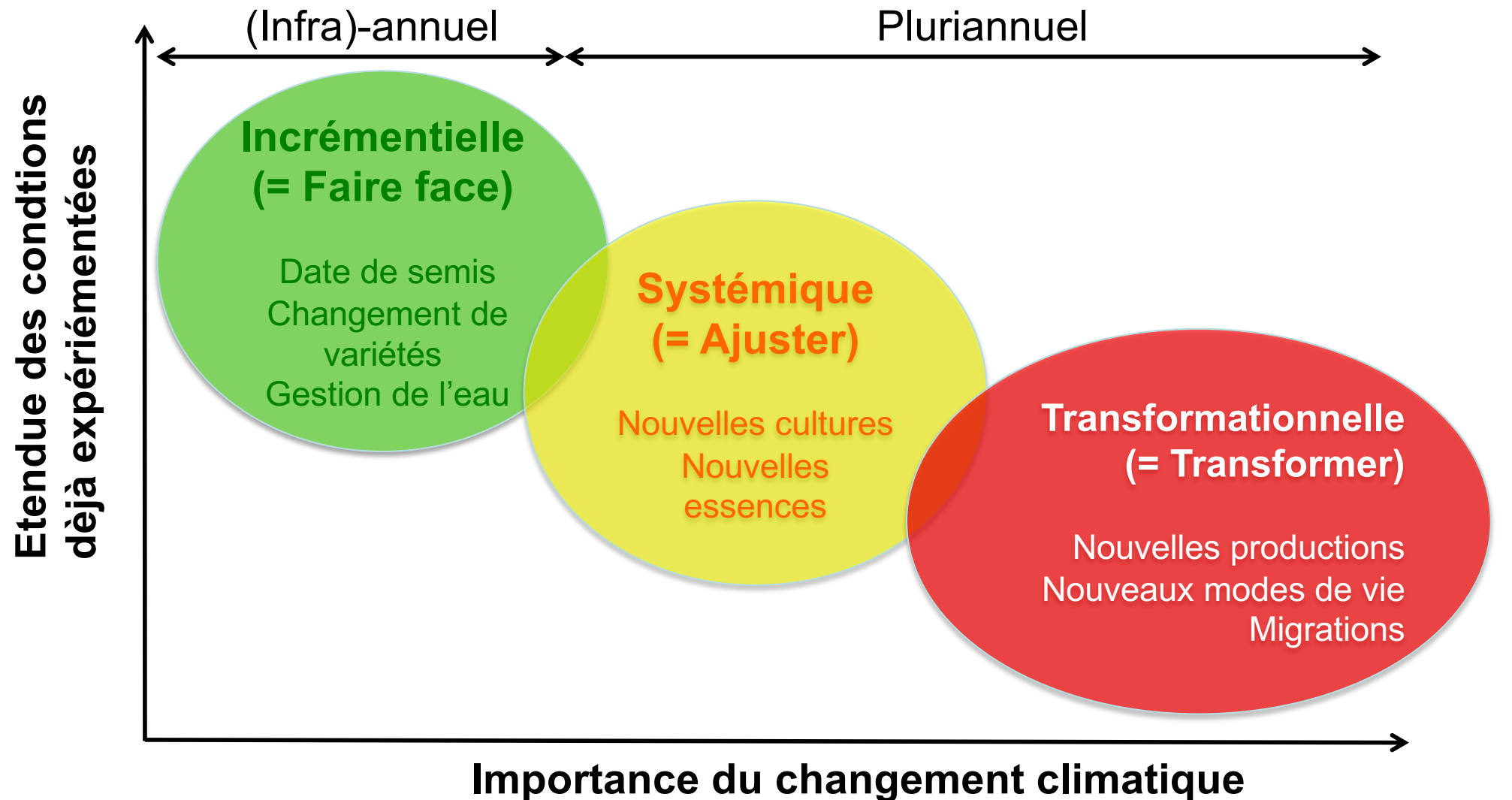
- Impacts avérés du CC
- Prévisions inquiétantes
- L'atténuation seule ne suffira pas
- L'adaptation est essentielle

Des besoins multiples :

- Recherche
- Transfert & Innovation
- Changements organisationnels et institutionnels
- Formation – Développement capital social et humain



Nature et formes de l'adaptation



(d'après Thornton, 2014)

Au niveau recherche forestière

✧ Mutualisation des moyens (phytotrons, serres), dispositifs de terrain, sites hautement instrumentés, et des compétences techniques

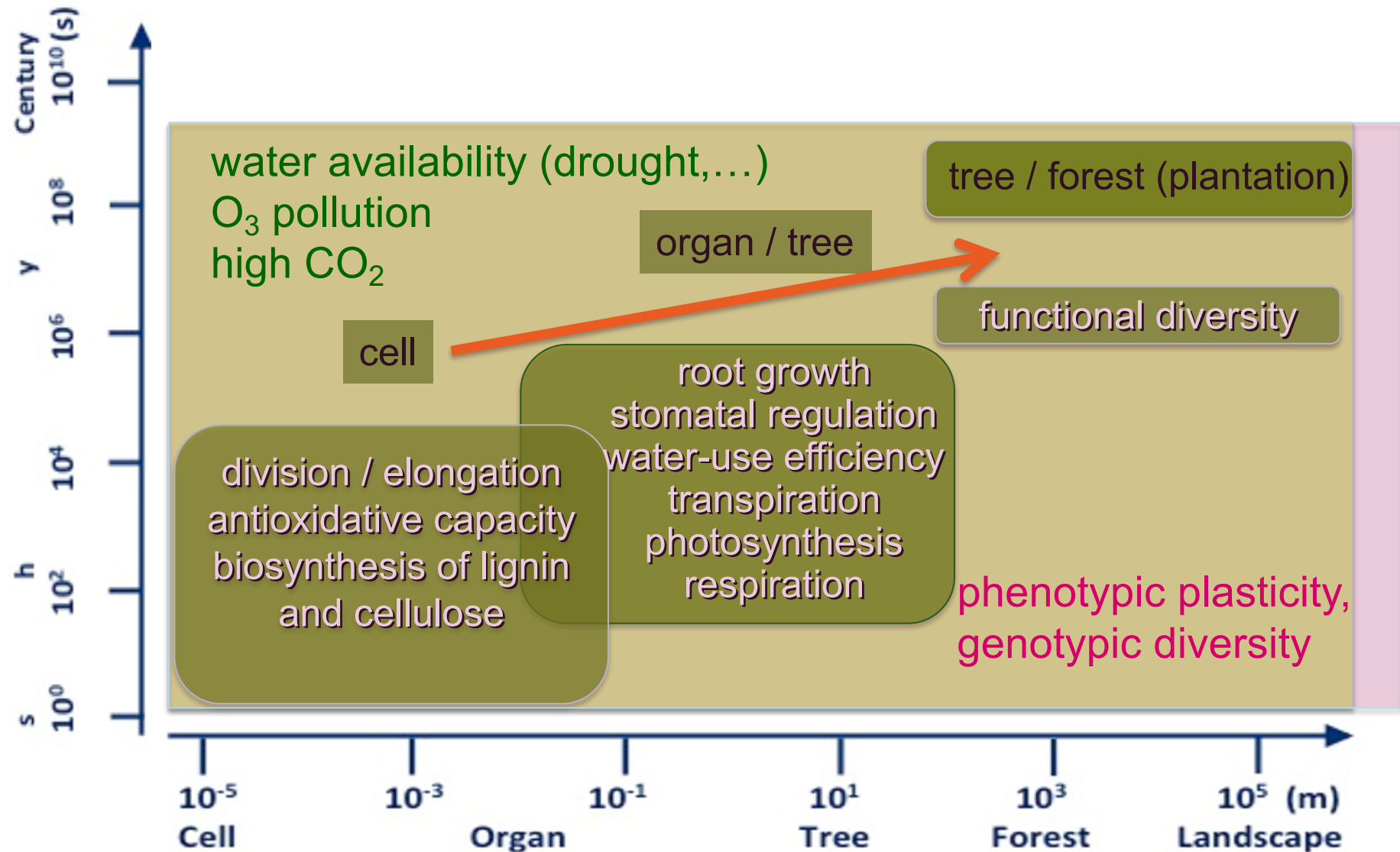
-> développer une plus grande capacité à conduire des expériences en milieu contrôlé mais aussi en forêt



Quelques exemples...

Quels processus sont impliqués dans la tolérance aux contraintes?

- Décrire et comprendre les mécanismes, physiques, physiologiques, moléculaires et génétiques
- **Approches intégratives – Dynamique – Changement d'échelle**
- Analyse de la diversité inter et intra spécifiques (rôle adaptatif)

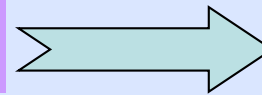


Fonctions physiologiques d'intérêt

Economie de l'eau (absorption, transferts, régulation)

Rôle des stomates !!!!!

Economie du carbone (assimilation, métabolisme, allocation)



Croissance (racinaire et foliaire)

Efficience d'utilisation de l'eau

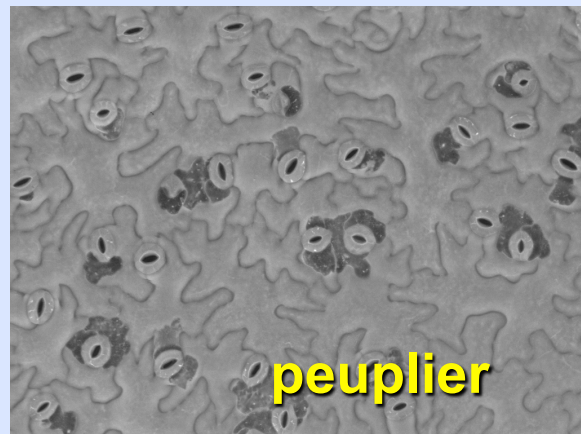
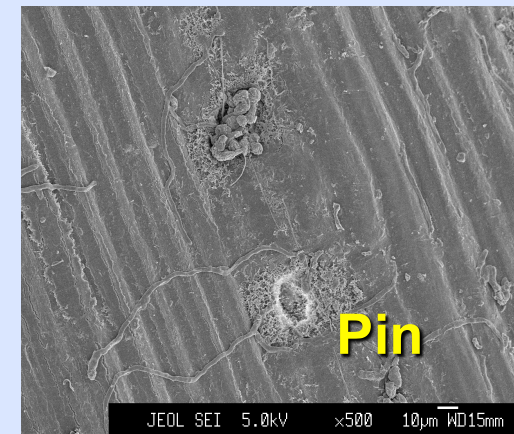
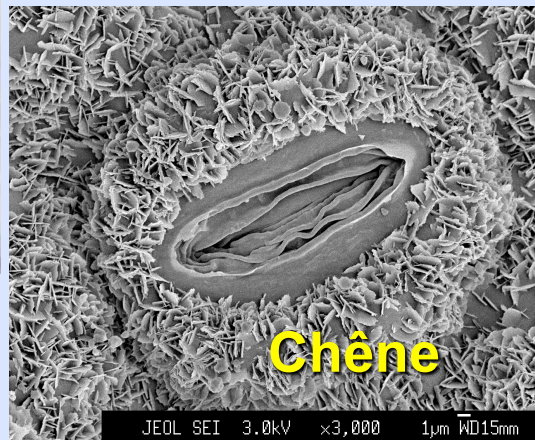
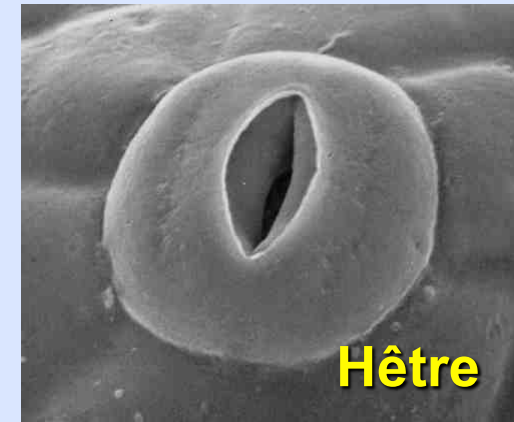
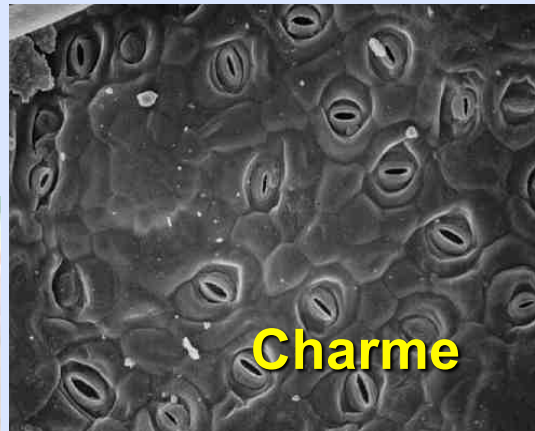
Transpiration foliaire et régulation

Construction des parois cellulaires

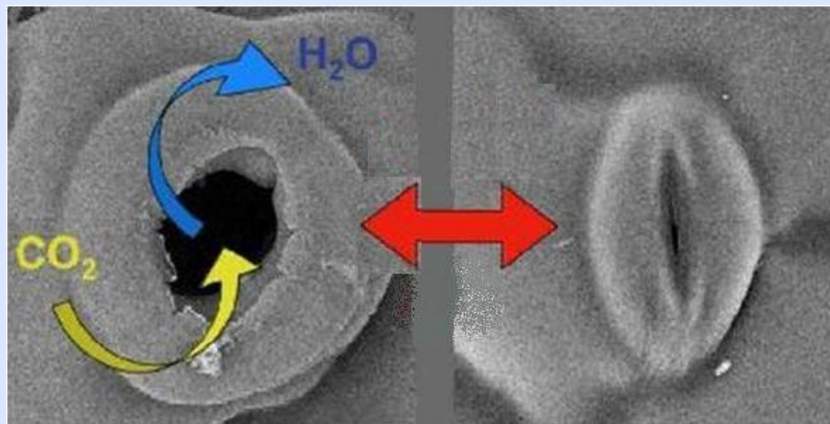
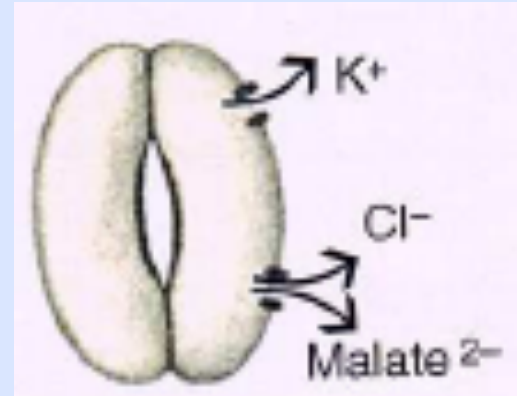
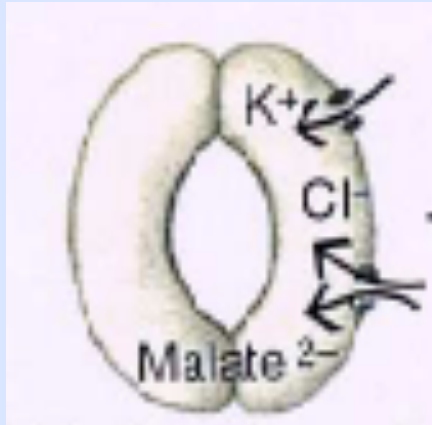
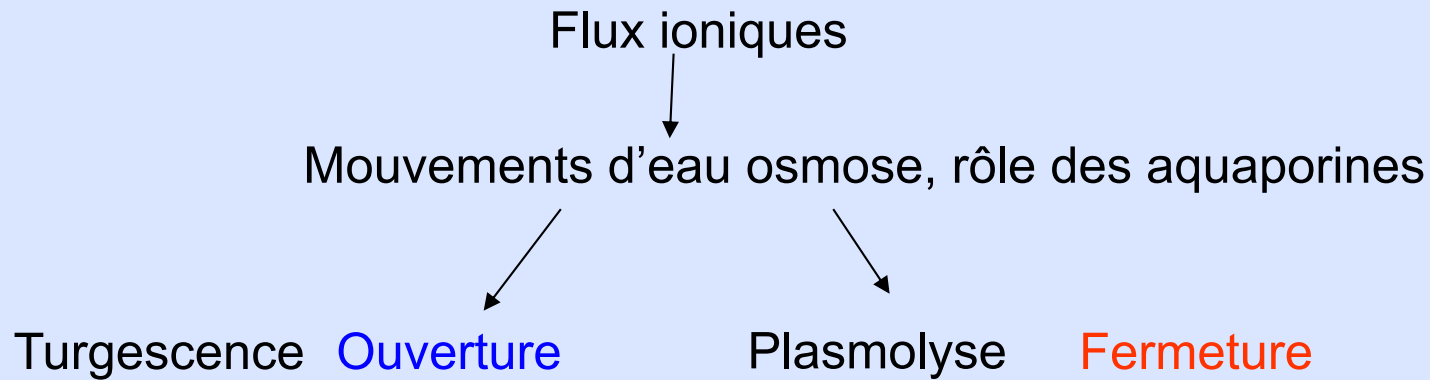
Détoxication

Stress

Qu'est-ce qu'un stomate ?



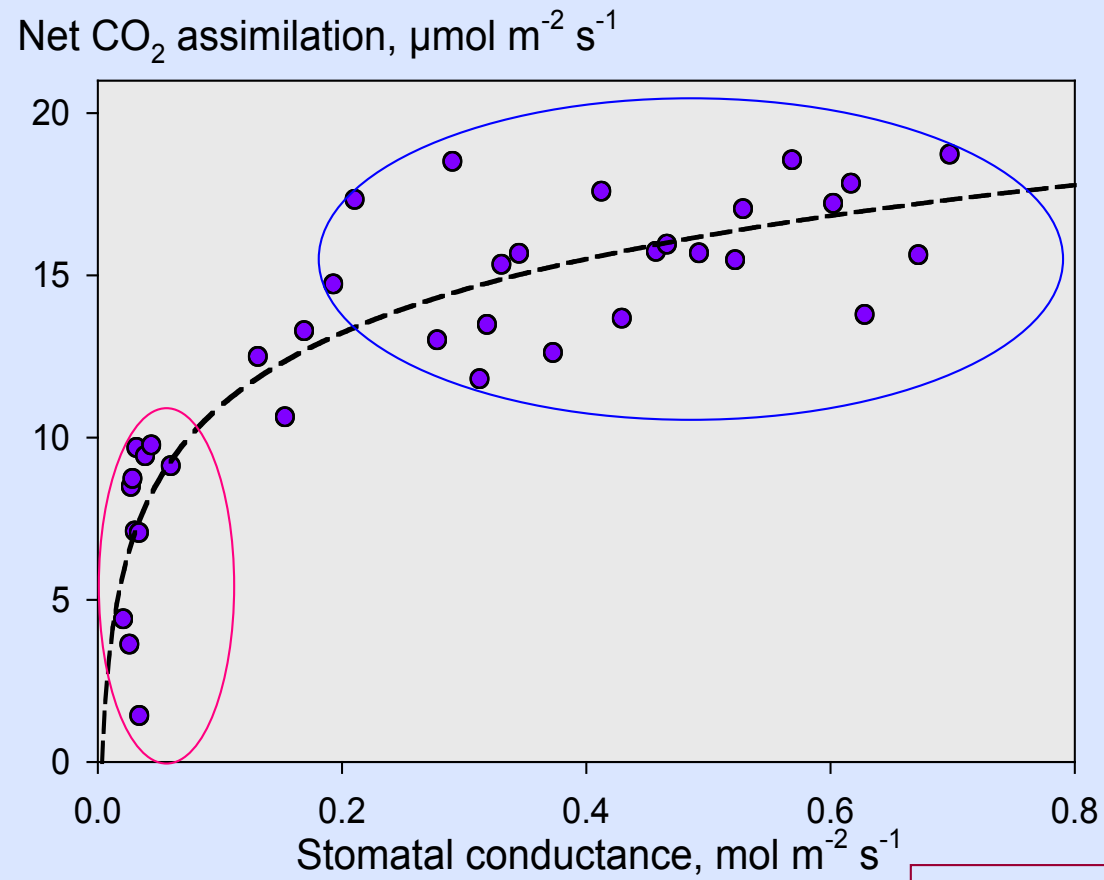
Pourquoi étudier les stomates ?



Régulation des échanges gazeux : CO_2 , eau, ozone

Régulation stomatique

✓ dans un environnement non limitant en eau, la conductance est forte et assimilation de CO₂ saturée

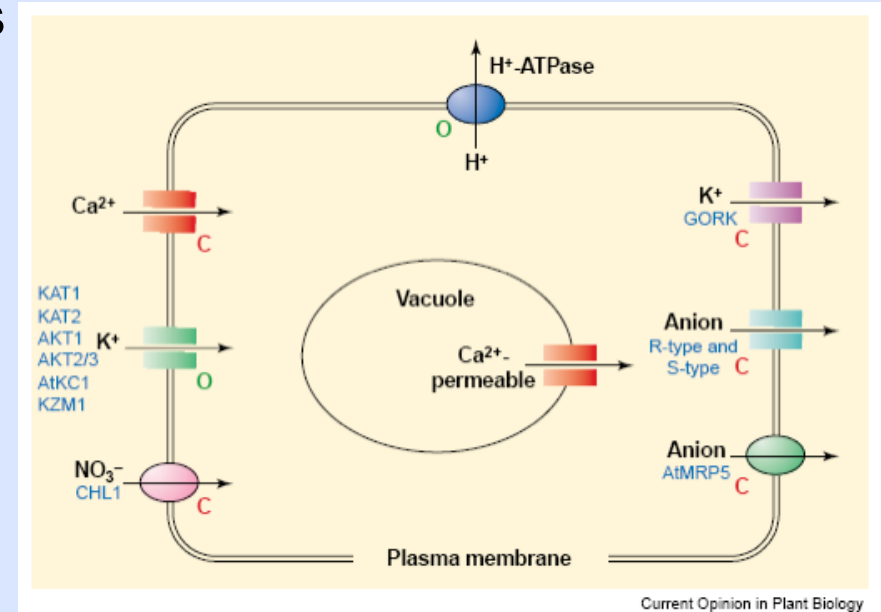


✓ dans un environnement sec la fermeture stomatique limite sévèrement l'assimilation de CO₂

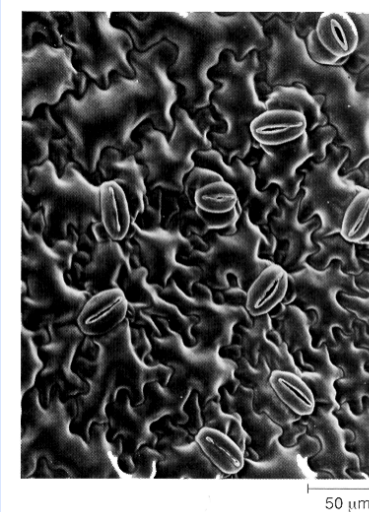
Régulation stomatique

g est modulée par des processus d'osmorégulation

dépendants de structures biochimiques (enzymes..) et anatomiques (canaux...)



La conductance stomatique maximale varie avec les espèces et les génotypes et dépend de structures anatomiques (taille et nombre de stomates).



Comprendre comment sont modifiés les processus de régulation de la conductance au cours d'une sécheresse : quels sont les gènes impliqués?

Projet ANR-Génoplante Popsec, bases de l'acclimatation au déficit hydrique
2007-2010

- ➔ Etude intégrée de la réponse à la sécheresse du peuplier
 - ➡ Combiner différentes approches : écophysiologie, transcriptomique et protéomique
 - ➡ Etudier différents tissus de l'arbre (dont les **cellules de garde**)
- ➔ Identifier des gènes, des réseaux de gènes co-régulés, des facteurs de transcription impliqués dans la réponse et la tolérance à la sécheresse



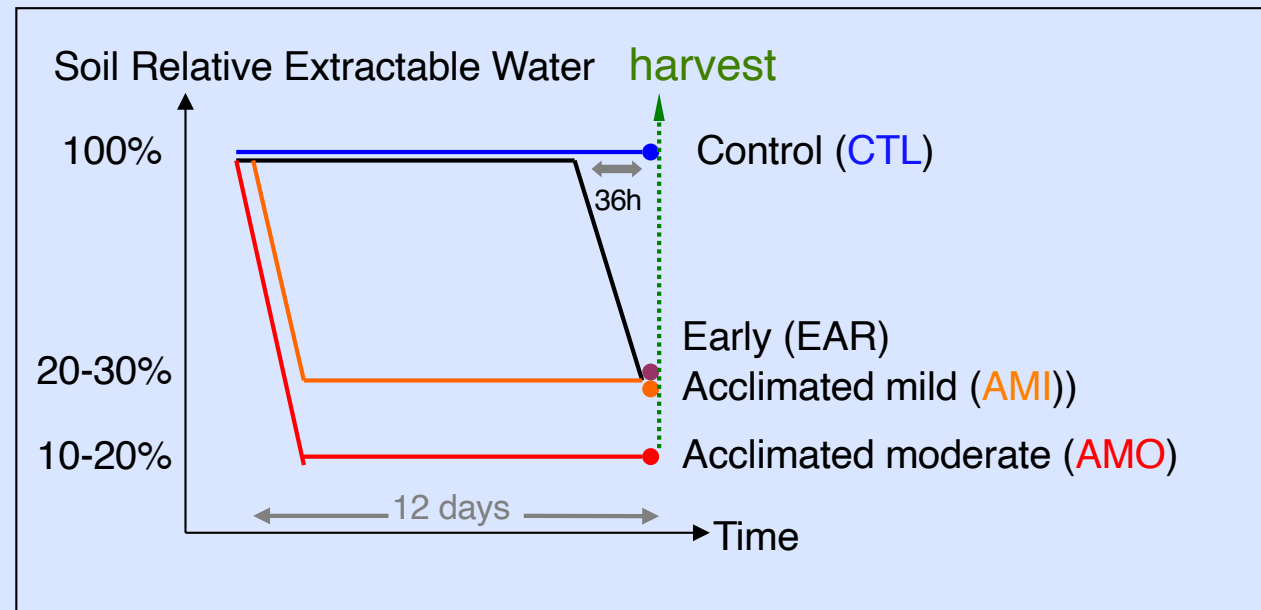
Populus deltoides x nigra

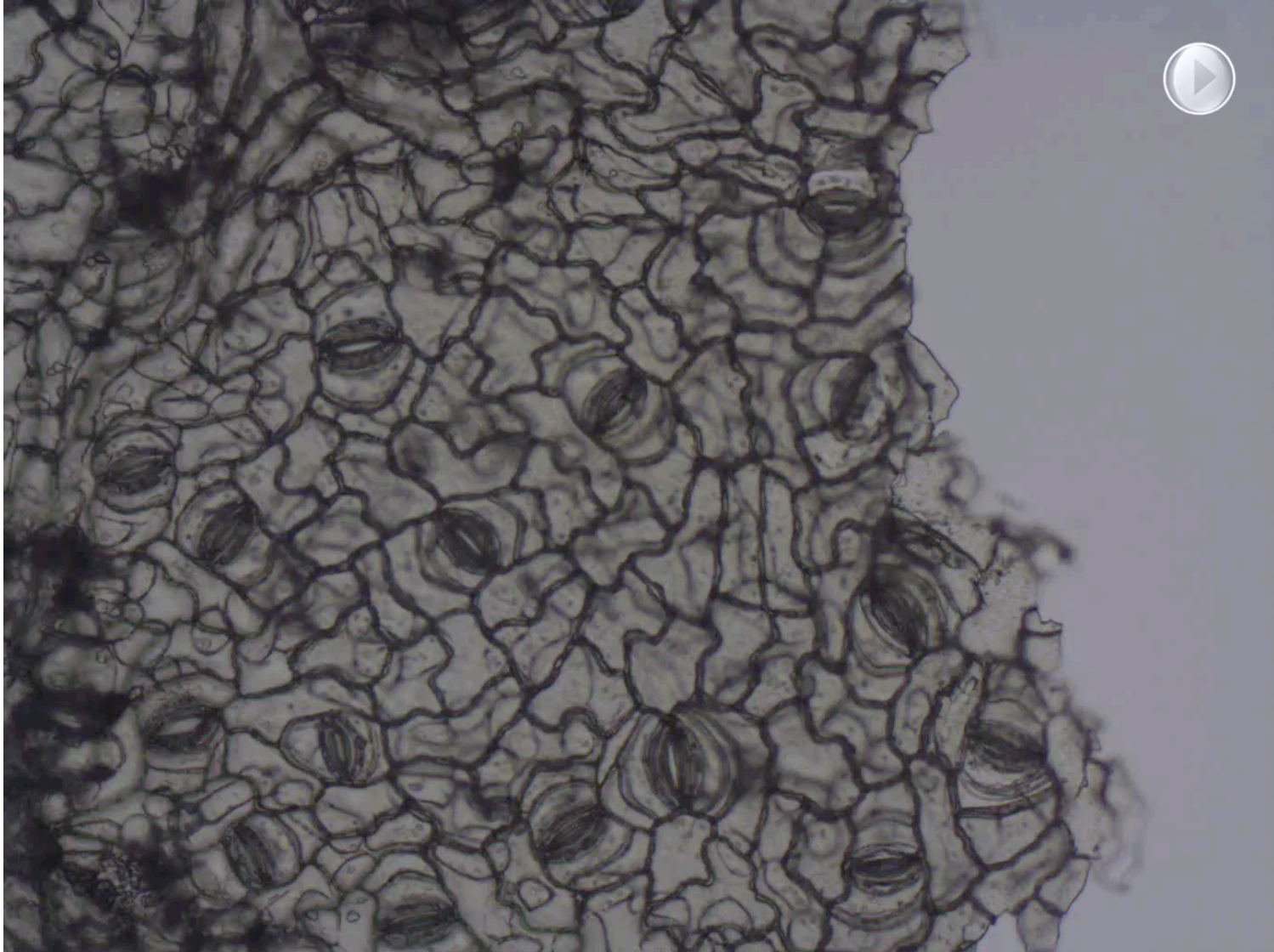
Popsec

- 2 géotypes *P. deltoïdes x nigra* : **Carpaccio** et **Soligo**



- 3 traitements par contrôle de la teneur en eau du sol

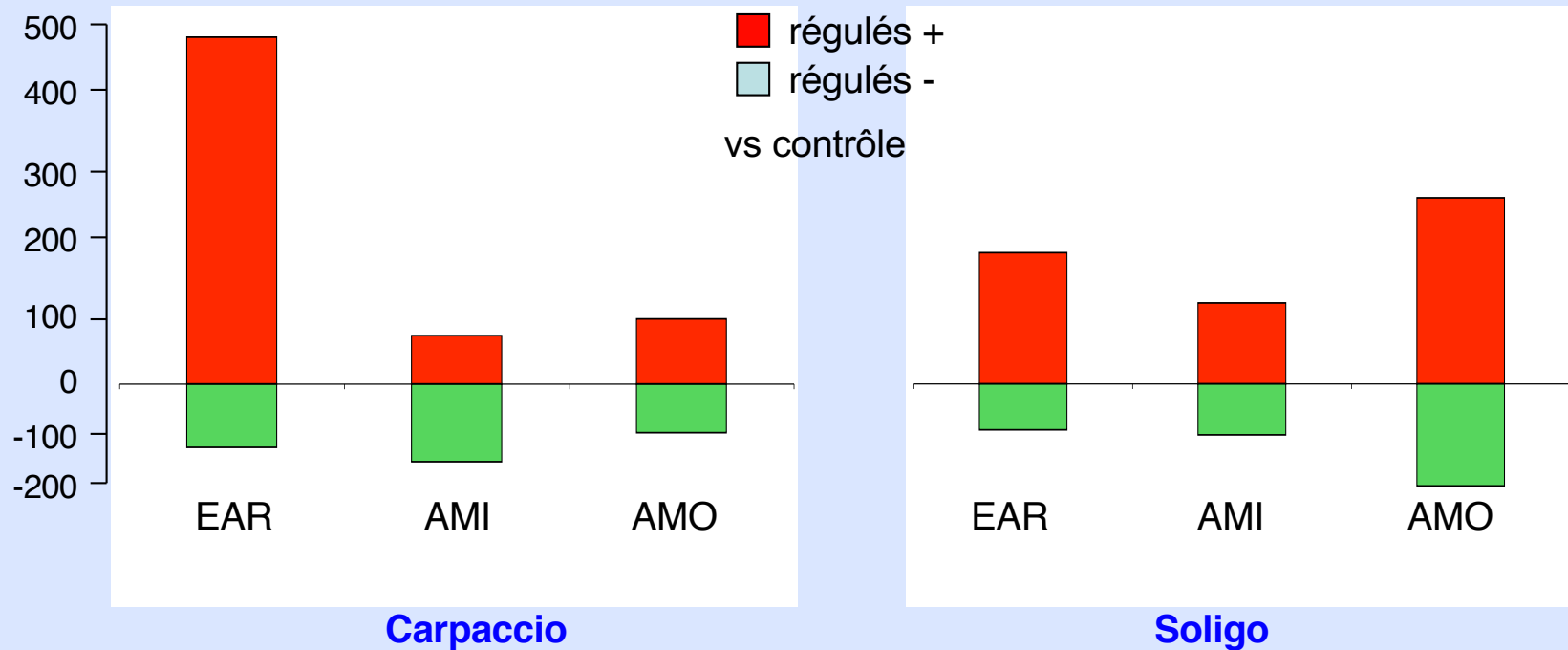
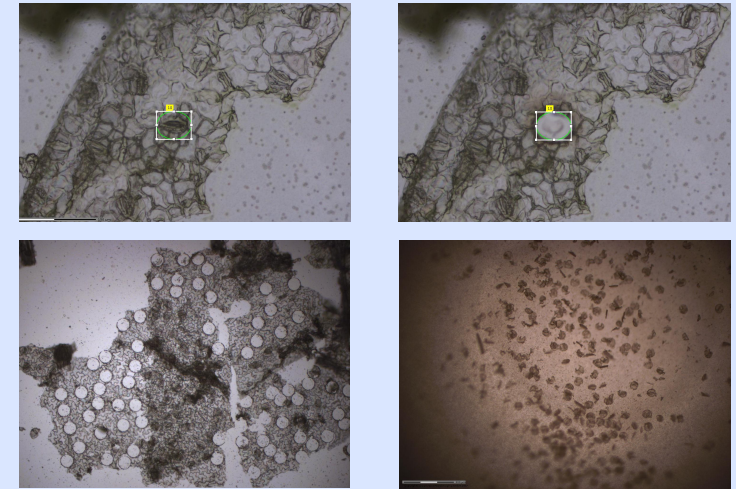




Popsec

Coll. D. Cohen, I. Hummel

Transcriptome des stomates



➔ Forte et rapide induction d'une réponse chez Carpaccio (clone tolérant, et baisse de la conductance plus rapide)

Popsec

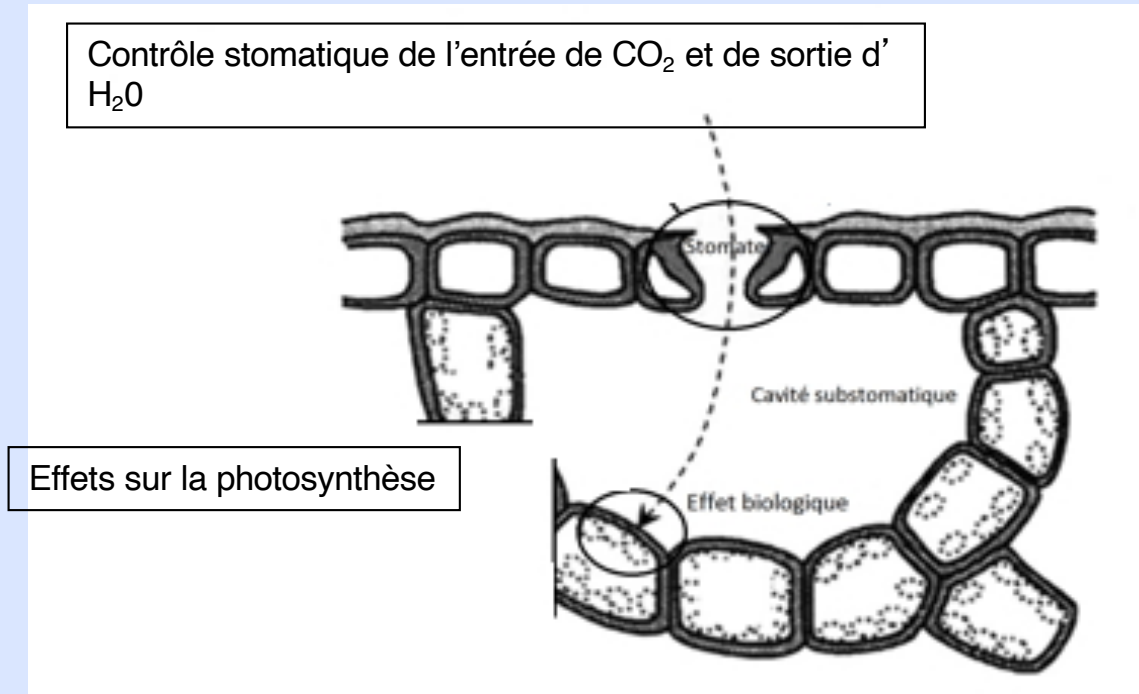
gènes en lien avec la signalisation par l'ABA

Régulations significatives à $p < 0.001$

- régulés +
- régulés -

Annotation PopGenie	Carpaccio			Soligo		
	EAR	AMI	AMO	EAR	AMI	AMO
	CEARSvsCCTLS	CAMISvsCCTLS	CAMOSvsCCTLS	SEARSvsSCTLs	SAMISvsSCTLs	SAMOSvsSCTLs
NCED3 (NINE-CIS-EPOXYCAROTENOID DIOXYGENASE3)				1,49		
NCED3 (NINE-CIS-EPOXYCAROTENOID DIOXYGENASE3)				1,31		
NCED3 (NINE-CIS-EPOXYCAROTENOID DIOXYGENASE3)	1,62			1,72		
BETA-OHASE 1 (BETA-HYDROXYLASE 1); beta-carotene hydroxylase				1,37		
PSY (PHYTOENE SYNTHASE); geranylgeranyl-diphosphate geranylgeranyl	1,92					
PDS1 (PHYTOENE DESATURATION 1)	1,92					
AAO3 (ABSCISIC ALDEHYDE OXIDASE 3)	1,91	-0,08				
protein phosphatase 2C, putative / PP2C, putative	1,93					
ABF2 (ABSCISIC ACID RESPONSIVE ELEMENTS-BINDING FACTOR 2)	1,74	0,82		1,24		1,94
ABF2 (ABSCISIC ACID RESPONSIVE ELEMENTS-BINDING FACTOR 2)	2,07	0,24		1,32		1,94
XERIC0; protein binding / zinc ion binding	2,01					
XERIC0; protein binding / zinc ion binding	2,26		1,83	1,60		1,57
XERIC0; protein binding / zinc ion binding	2,37		1,90	1,11		1,43
XERIC0; protein binding / zinc ion binding	2,77		1,87	1,48		1,71
AHG3/ATPP2CA (ARABIDOPSIS THALIANA PROTEIN PHOSPHATASE 2CA);	1,40			1,17		1,25
AHG3/ATPP2CA (ARABIDOPSIS THALIANA PROTEIN PHOSPHATASE 2CA);	1,77			1,26	1,24	1,46
AHG3/ATPP2CA (ARABIDOPSIS THALIANA PROTEIN PHOSPHATASE 2CA);	2,29	2,07		1,73		1,95
AHG3/ATPP2CA (ARABIDOPSIS THALIANA PROTEIN PHOSPHATASE 2CA);	2,39	2,46	1,72	1,71		1,63
AHG3/ATPP2CA (ARABIDOPSIS THALIANA PROTEIN PHOSPHATASE 2CA);	2,98	2,44	1,69	2,90	2,02	2,53
AHG3/ATPP2CA (ARABIDOPSIS THALIANA PROTEIN PHOSPHATASE 2CA);	3,36		2,36	1,37	1,31	1,93
protein phosphatase 2C, putative / PP2C, putative	2,18		1,74	2,20	2,03	1,94
PYL4 (PYR-like 4)		-2,30	-2,67	-0,68	-2,89	-2,48
PYL4 (PYR-like 4)		-2,09	-1,79	-1,03	-1,33	-1,89
ABF3/DPBF5 (ABSCISIC ACID RESPONSIVE ELEMENTS-BINDING FACTOR	1,65					
ABF3/DPBF5 (ABSCISIC ACID RESPONSIVE ELEMENTS-BINDING FACTOR	1,72			1,59		1,43
ABF3/DPBF5 (ABSCISIC ACID RESPONSIVE ELEMENTS-BINDING FACTOR	2,55	2,11				
abscisic acid-responsive HVA22 family protein						-1,31
WRKY40 (WRKY DNA-binding protein 40); transcription factor	1,51		-2,33	1,69		
WRKY40 (WRKY DNA-binding protein 40); transcription factor	1,60					
WRKY40 (WRKY DNA-binding protein 40); transcription factor	2,10					
WRKY40 (WRKY DNA-binding protein 40); transcription factor	2,13			2,37		
WRKY25 (WRKY DNA-binding protein 25); transcription factor	2,51			2,33		
ATAF1 (Arabidopsis NAC domain containing protein 2); transcription factor	1,74			1,44		
ASK1 (ARABIDOPSIS SERINE/THREONINE KINASE 1); kinase				-1,16		-1,62
ASK1 (ARABIDOPSIS SERINE/THREONINE KINASE 1); kinase						-1,86
ASK1 (ARABIDOPSIS SERINE/THREONINE KINASE 1); kinase	1,90		0,33			
HT1 (HIGH LEAF TEMPERATURE 1); kinase/ protein serine/threonine/tyrosi				1,56		1,29
ATMYB44/ATMYBR1/MYBR1 (MYB DOMAIN PROTEIN 44); DNA binding / tran	2,06					
ACA2 (CALCIUM ATPASE 2); calmodulin binding				1,76		
ACA2 (CALCIUM ATPASE 2); calmodulin binding	1,72			1,83		

Quelle est l'importance des stomates dans le contrôle de l'efficacité d'utilisation de l'eau?

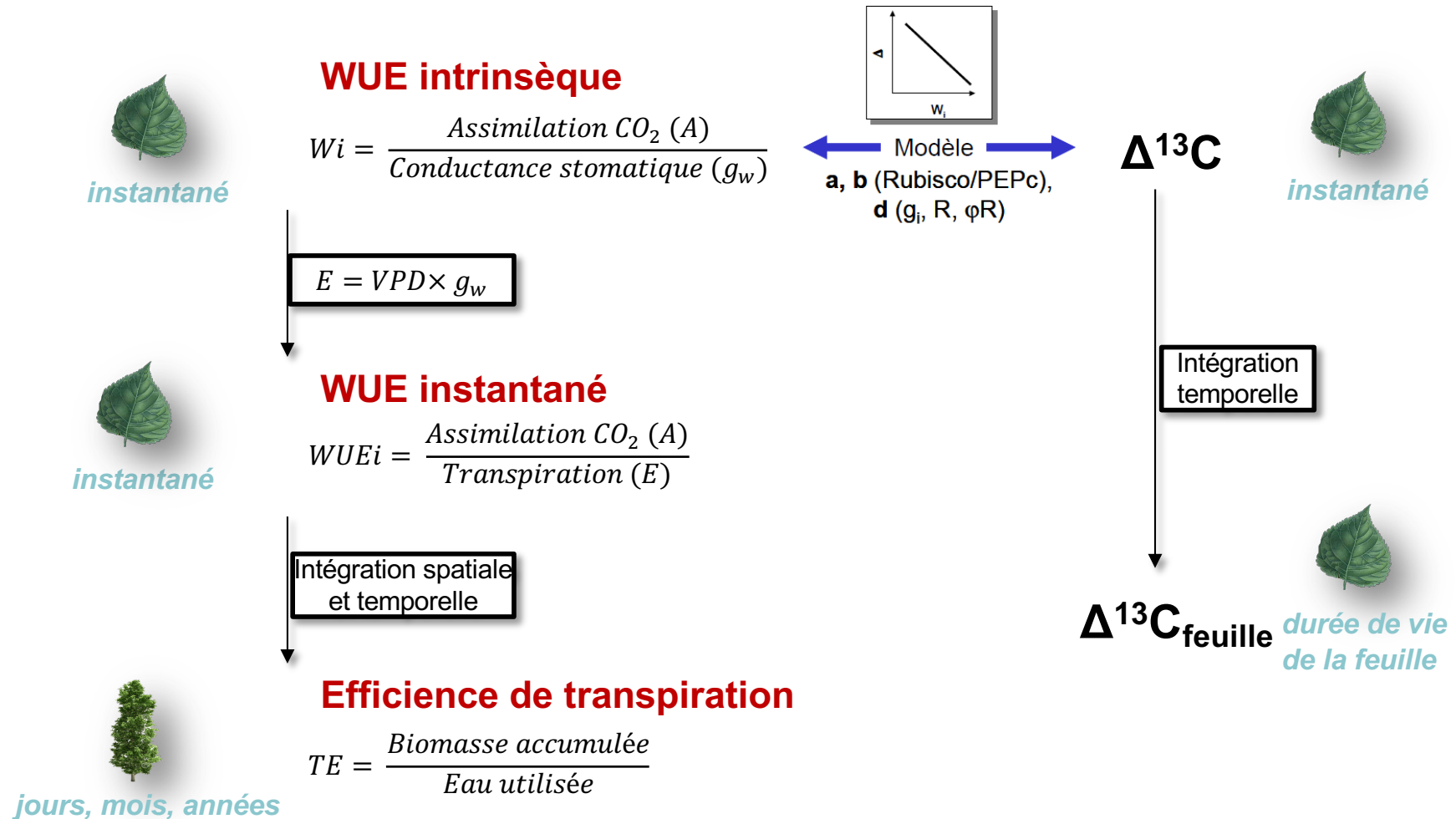


Le degré d'ouverture des stomates contrôle les quantités de CO₂ et d'H₂O et influence l'efficacité d'utilisation de l'eau intrinsèque ($W_i = A/g$)

Est-ce que l'anatomie foliaire a un rôle prépondérant dans la diversité des réponses?

Définitions de l'efficacité d'utilisation de l'eau (WUE)

Trait complexe se définissant à plusieurs échelles



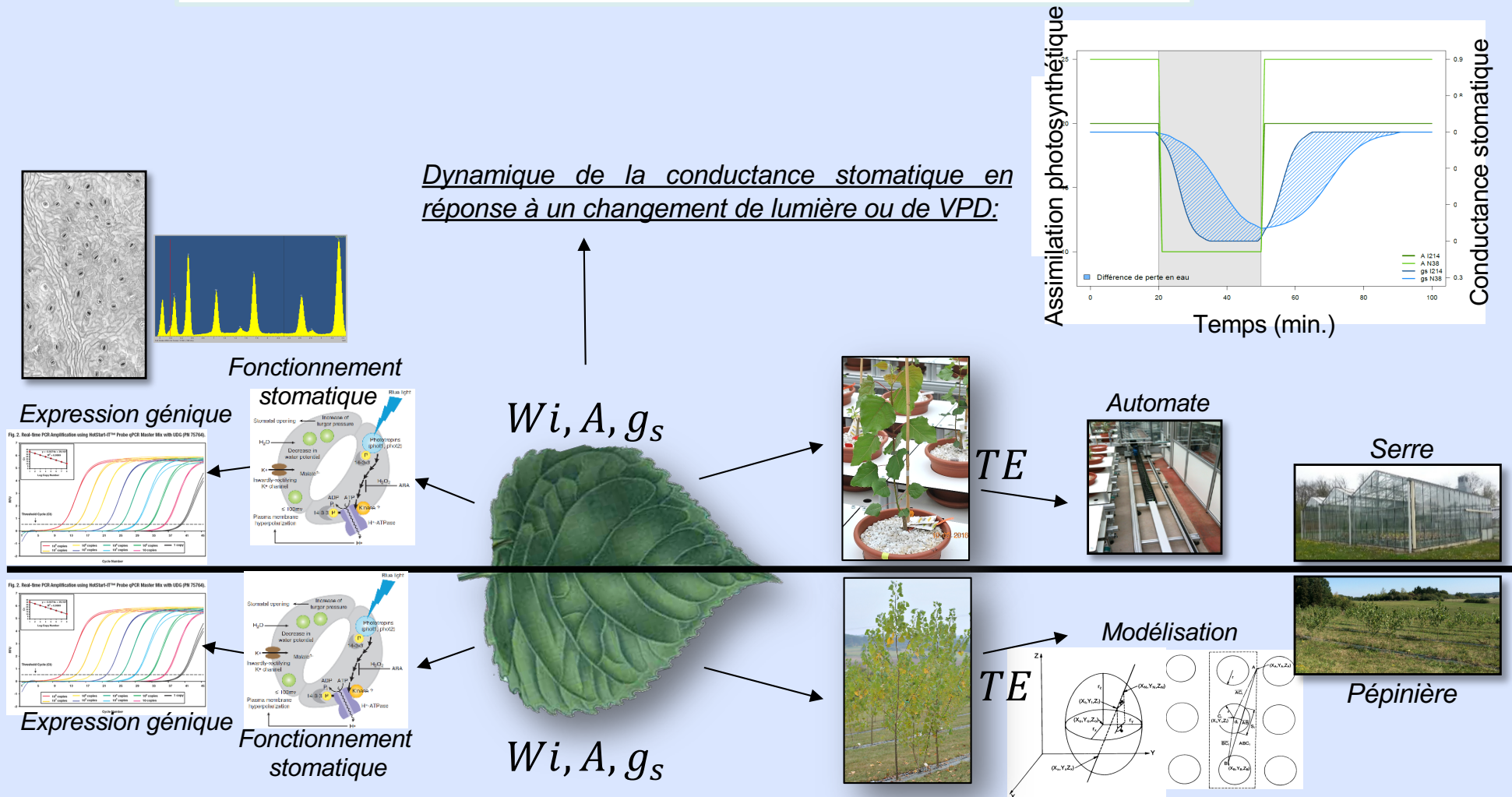
Quelle est l'importance des stomates dans le contrôle de l'efficacité d'utilisation de l'eau?

Est-ce que l'anatomie foliaire a un rôle prépondérant dans la diversité des réponses?

Intégration des connaissances à différentes échelles

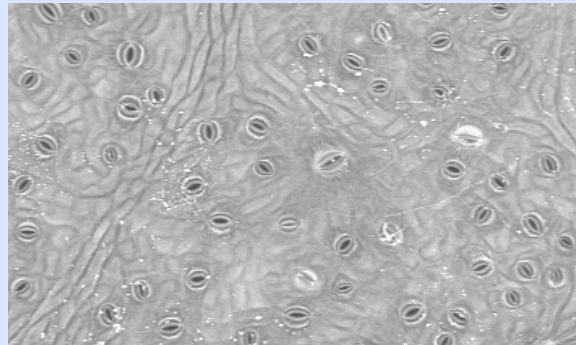
L'étude de ces processus à différentes échelles nécessite d'intégrer ces résultats pour unifier et/ou réviser notre compréhension du système dans sa globalité.

Comment les connaissances développées à une échelle plus fine s'intègrent dans le système dans son ensemble ?

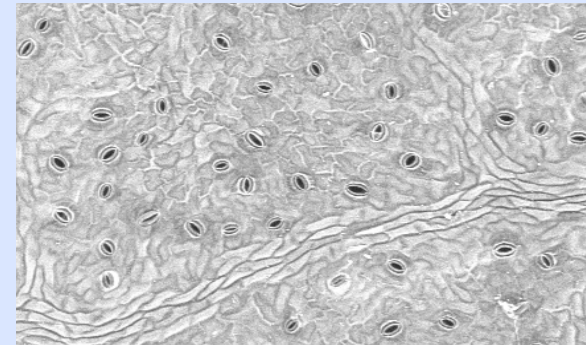


Chez le peuplier : est-ce que la sécheresse modifie l'ontogénie des stomates?

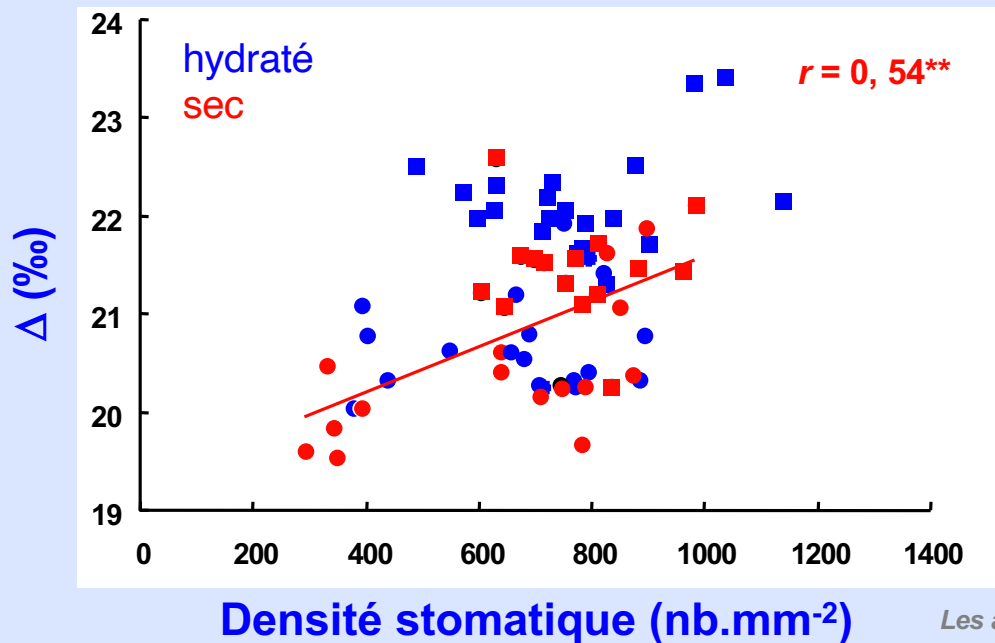
Quelles sont les relations avec l'efficacité d'utilisation de l'eau?



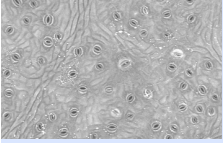
I45-51 (abaxiale)



Agathe-F (abaxiale)

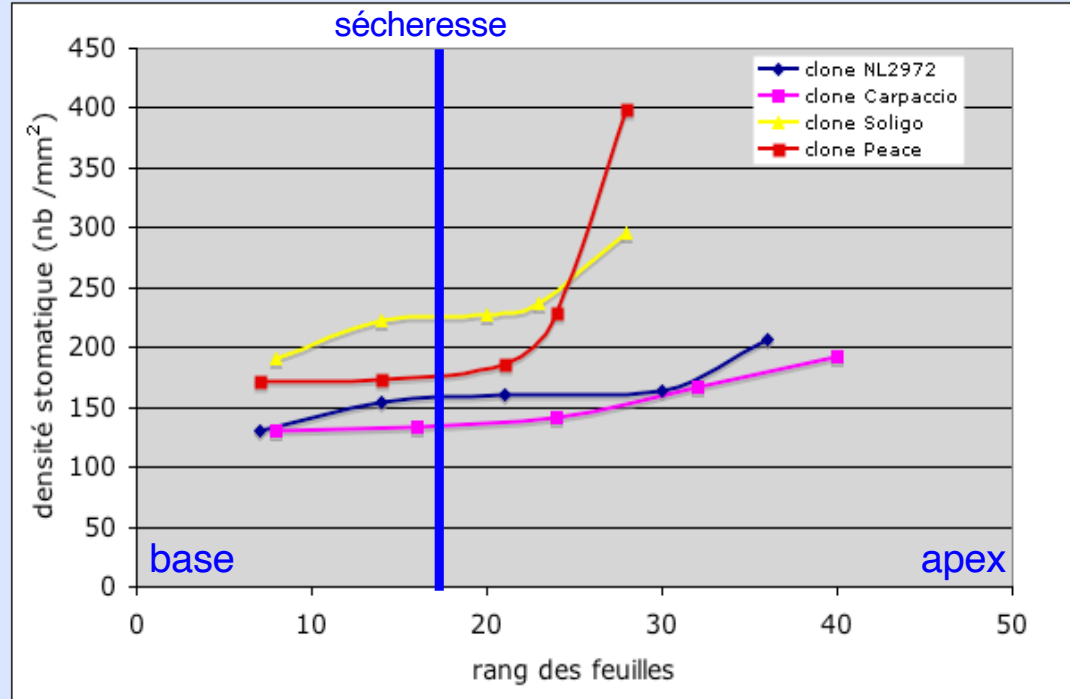


Thèse : R. Monclus

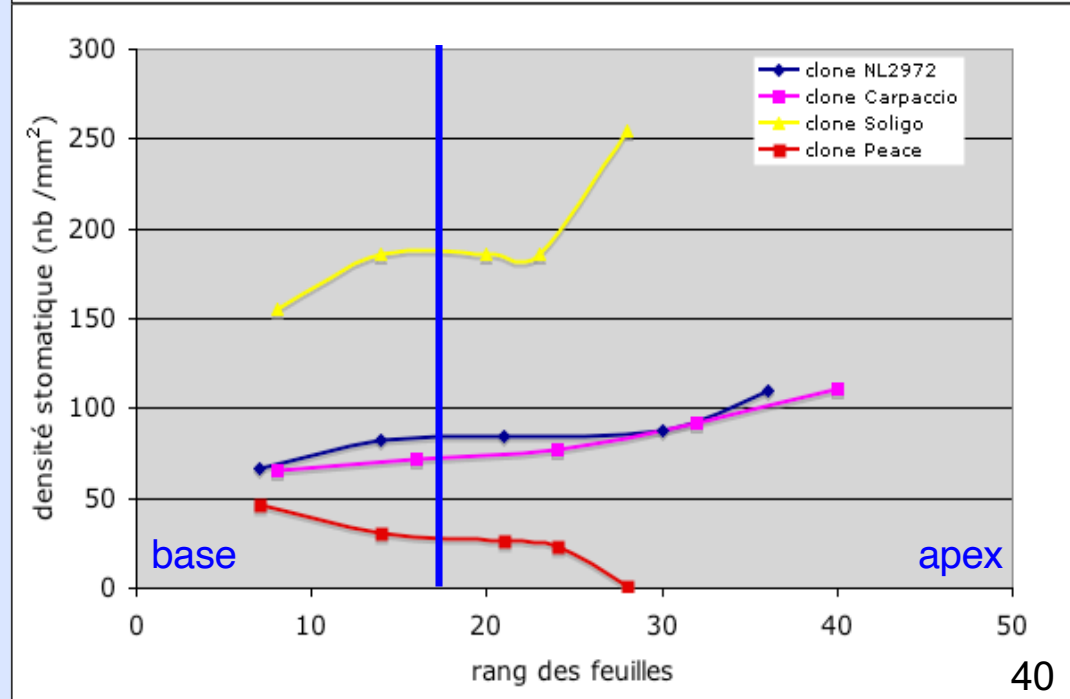


Diversité clonale de la réponse à la sécheresse

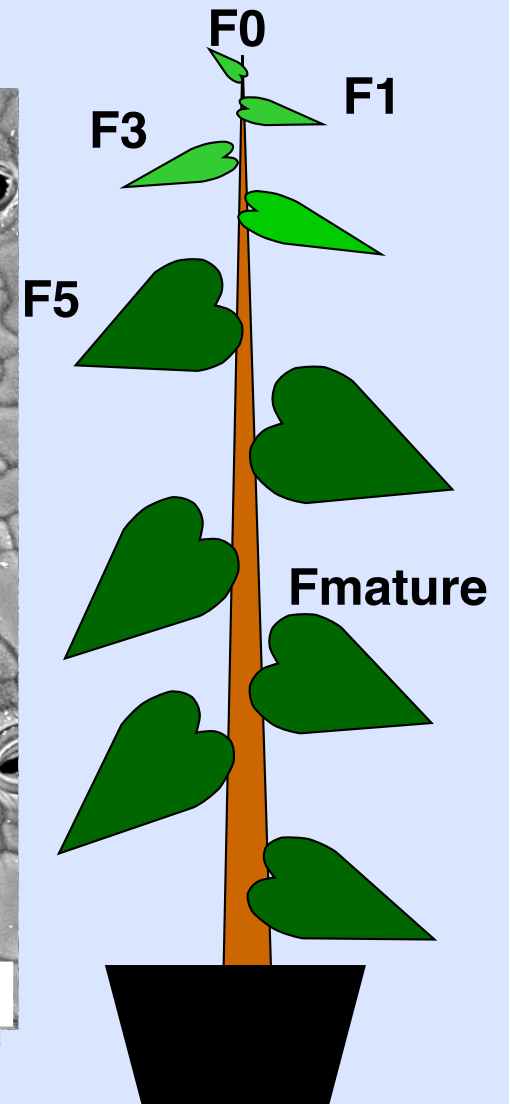
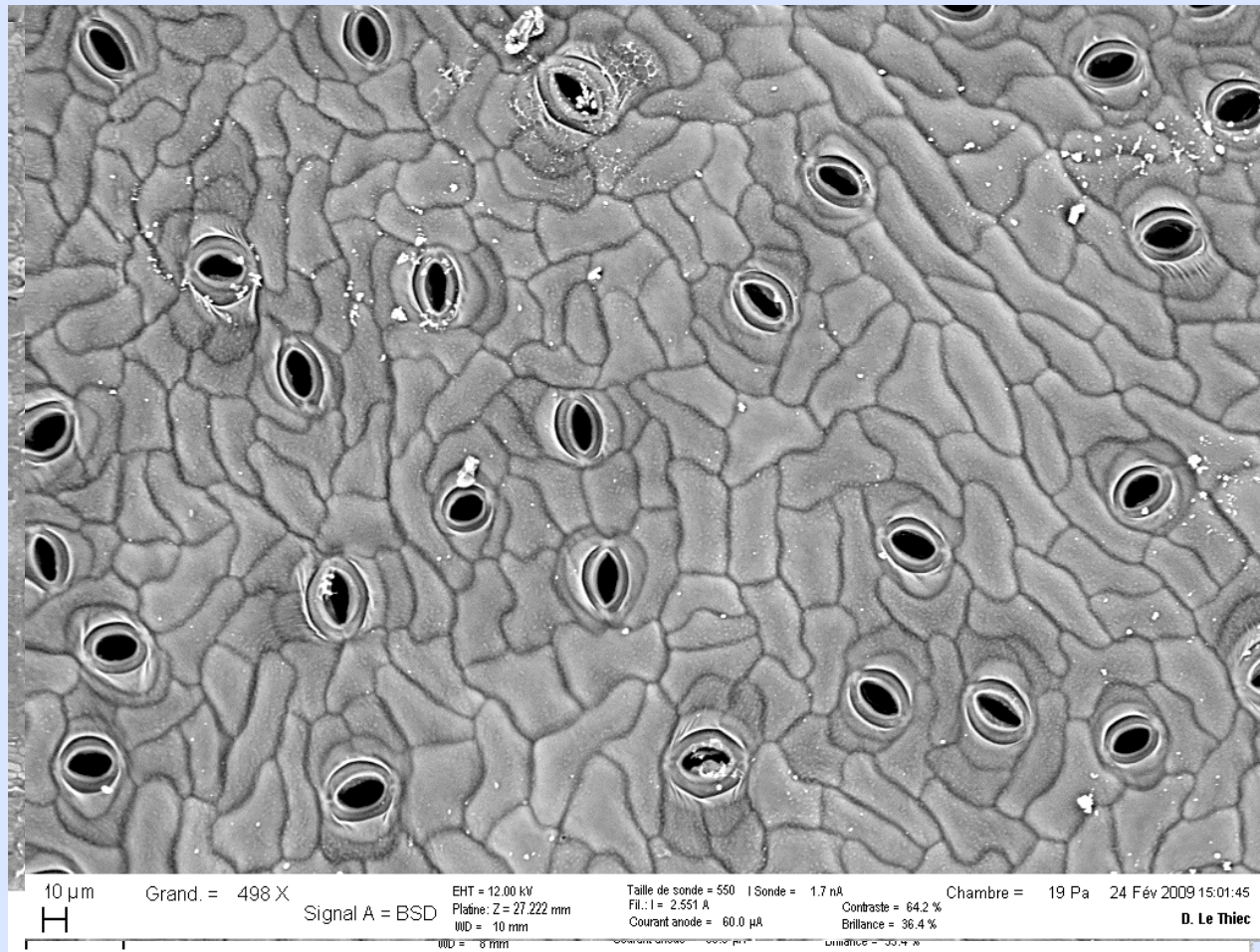
Face abaxiale

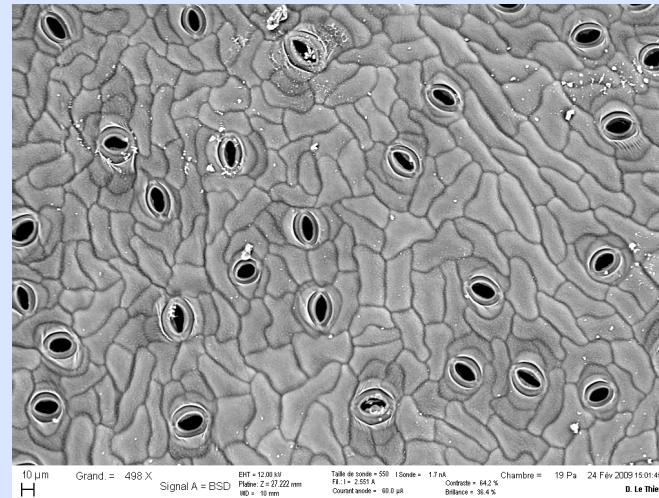
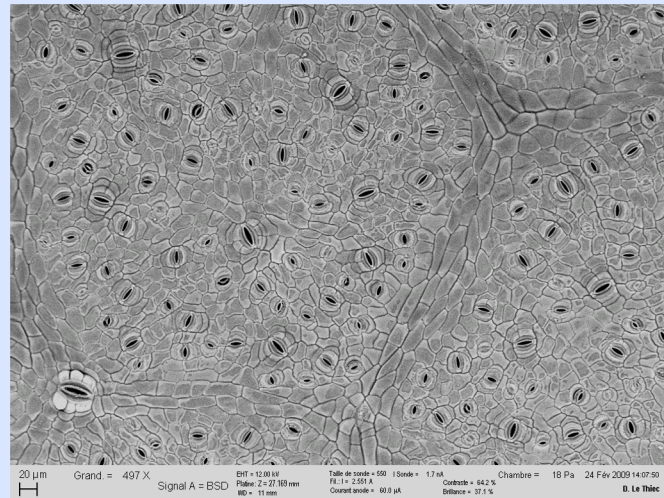


Face adaxiale

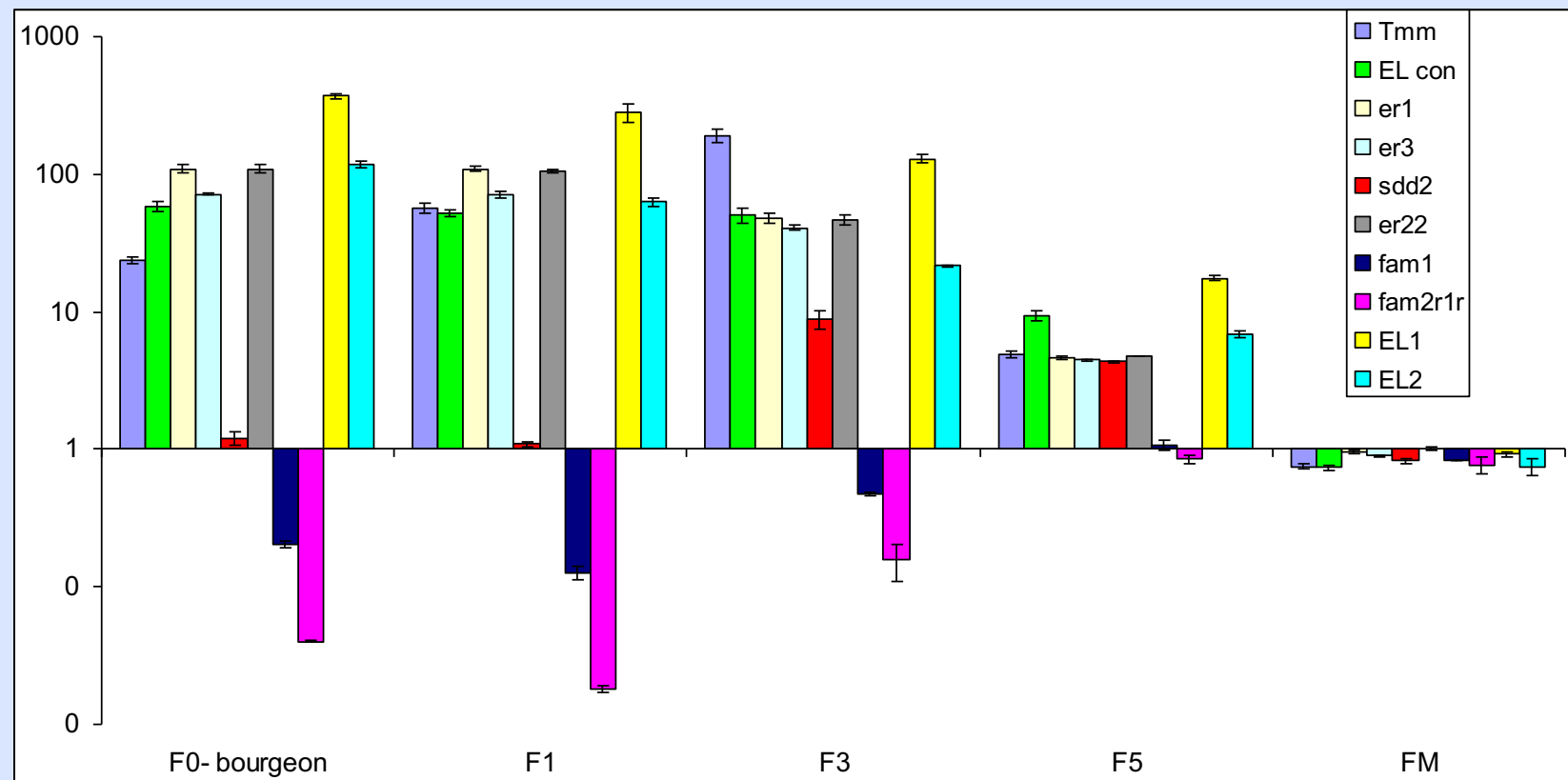


Peuplier et chêne pédonculé : comment sont régulés les gènes au cours de la mise en place des cellules de garde?





Gradient d'expression différentielle des gènes selon l'âge des feuilles



Merci pour votre
attention

