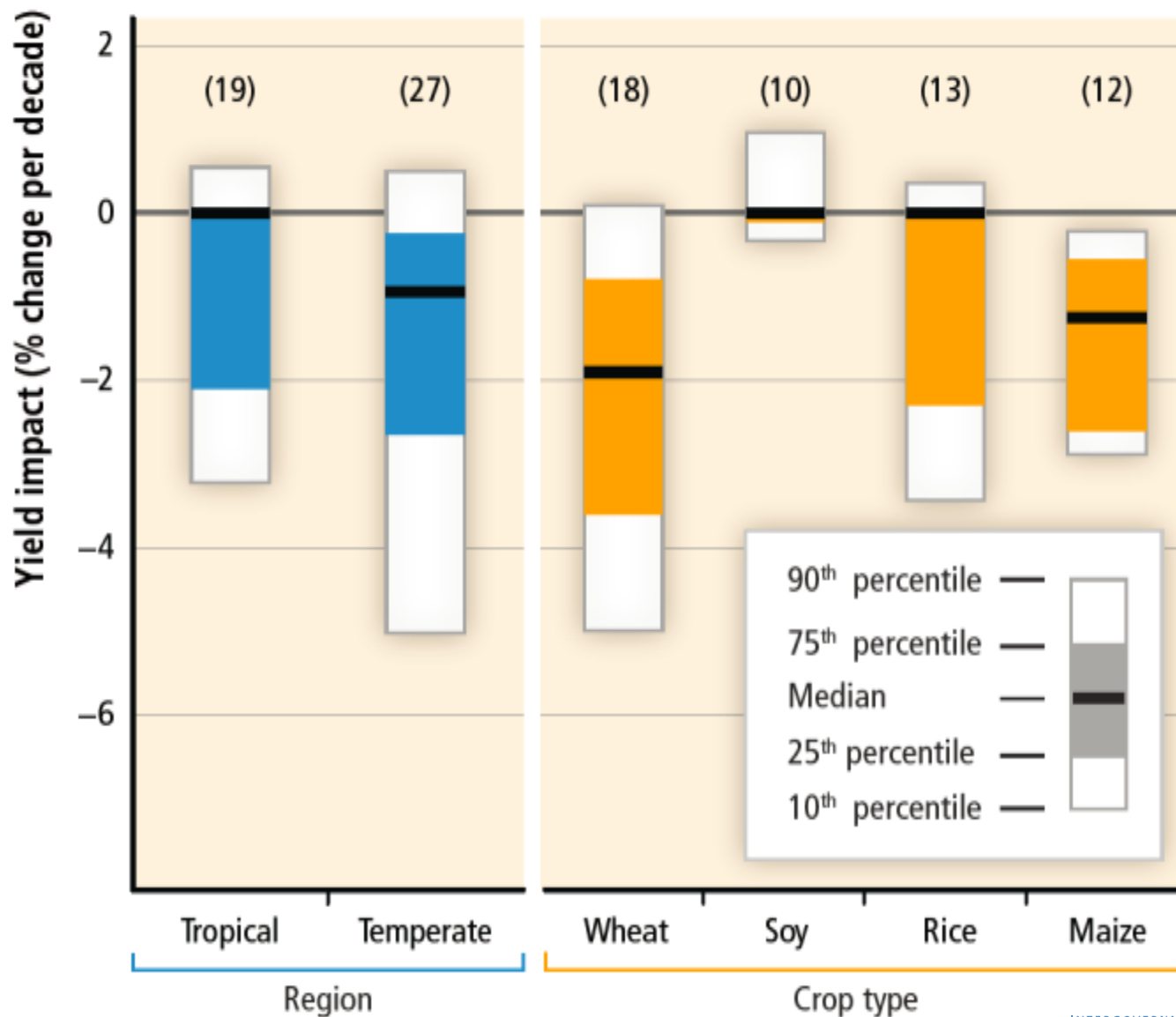


Changement climatique et agriculture : impacts, adaptation et résilience

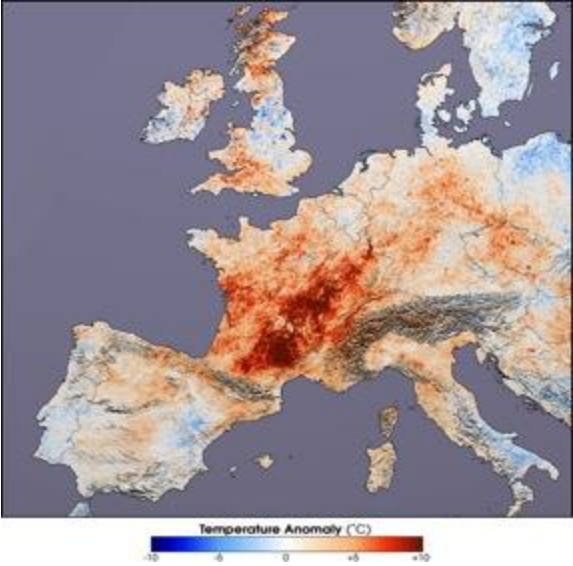
Jean-François Soussana
INRA, Paris

Impacts observés du changement climatique sur les rendements de grandes cultures (% par décennie)

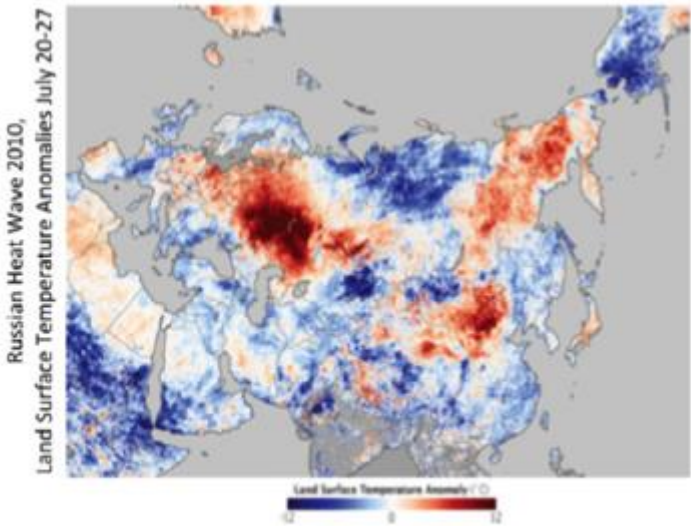


Exemples d'événements climatiques extrêmes depuis 2000: canicules et sécheresses

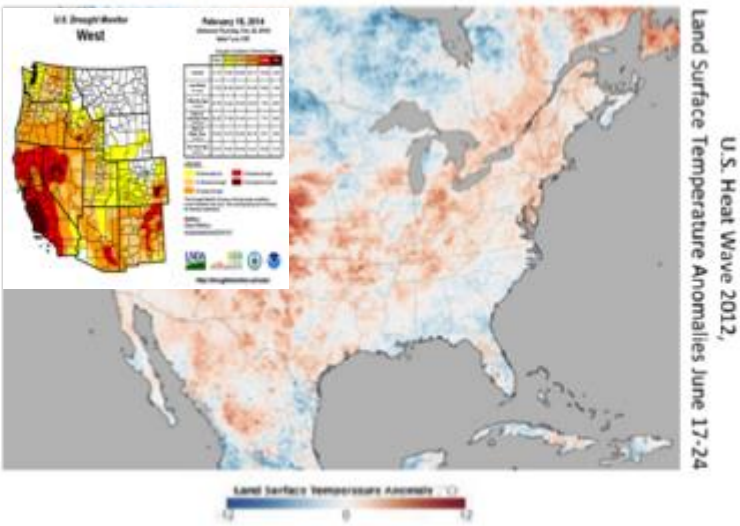
Summer 2003 Europe
(no equivalent since 16th century)



Summer 2010 Russia
(no equivalent since 16th century)

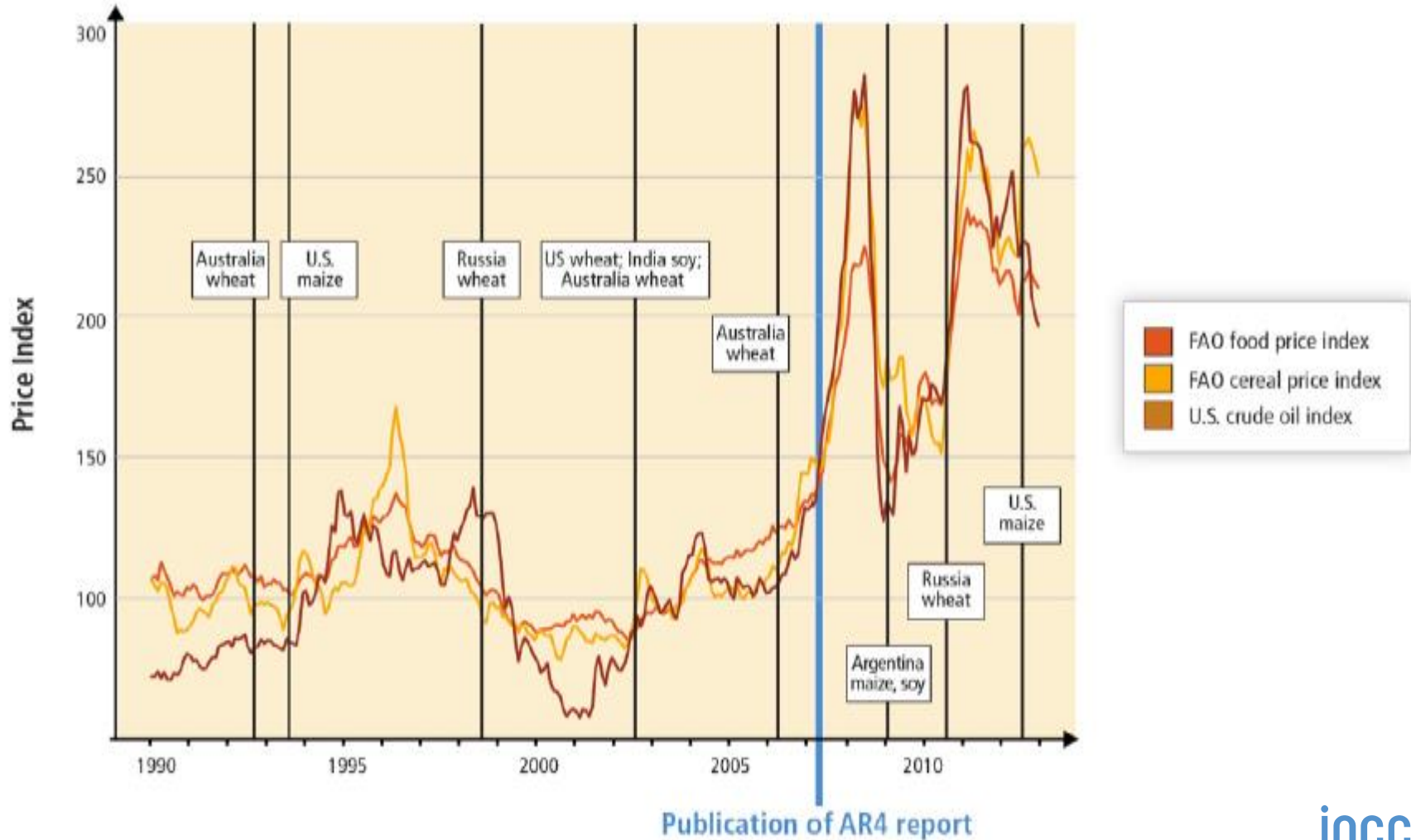


Summer 2012 USA



Source: NASA Earth Observatory 2012.

Evénements climatiques extrêmes et prix agricoles



Impacts de la canicule et de la sécheresse estivale en 2003 en France

- **Eté le plus chaud depuis le 16^{ème} S. (au moins)**

- **Pour l'agriculture Française :**

- Cultures d'été (maïs) : -30 %
- Cultures d'hiver (ex. blé) : -21 %
- Arbres fruitiers : -25 %
- Fourrages : -30 %

- **Pour les écosystèmes Européens :**

- Productivité : -25 %
- Stocks de carbone : -0,5 Gt de carbone,

(Ciais et al., Nature 2005)

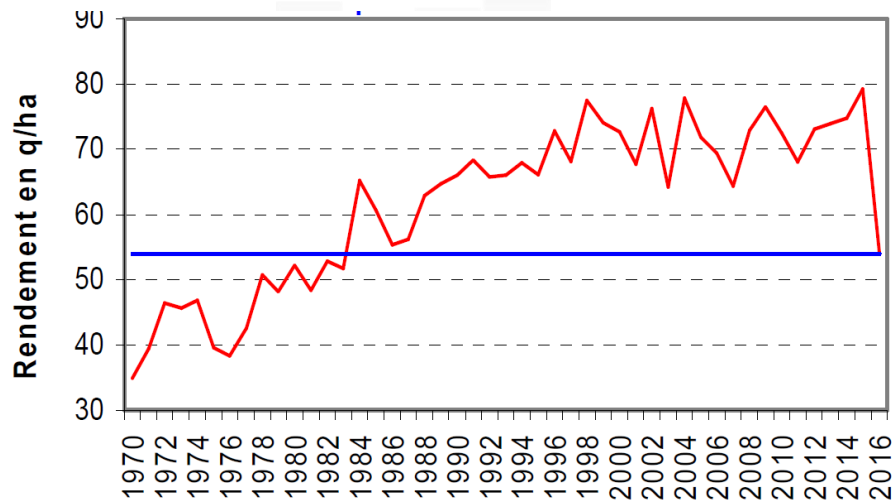
Dommmages liés à la sécheresse 2011

- ❑ Estimation FNSEA des dommages pour l'ensemble du secteur agricole :
700-800 M€
(sur 23,1 milliards de résultat courant y compris aides en 2011)
- ❑ Baisse de 23% du revenu agricole en grandes cultures
- ❑ Pertes liées à la sécheresse pour les prairies : 242 M€ (CNGRA)
- ❑ 220 M€ d'aides versées par le CNGRA
- ❑ 1/3 seulement des exploitants assurés
- ❑ 111 M€ d'indemnités versées par Groupama (>90% des contrats)
- ❑ Groupama :
 - 88.300 contrats multirisques climatiques (60 000 en grande culture)
 - 28.000 déclarations de sinistres
 - 20.000 contrats indemnisés

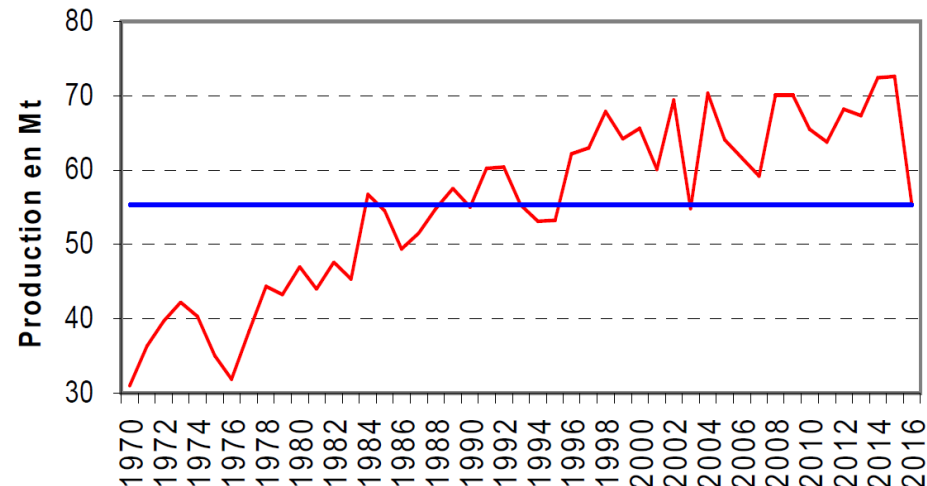
Source : Agreste 2011.

Récolte de céréales 2016 en France

Baisse de 30% du rendement du blé et de 20% de la production de céréales



Source : Agreste



Source : Agreste

Une année qui préfigure un climat modifié ?

Hiver chaud, cultures en avance

Vague de froid au moment de la floraison particulièrement précoce (méiose)

Fortes précipitations : hypoxie racinaire et engorgement des sols au printemps

Forte pression fongique

Faible rayonnement solaire au printemps (remplissage grains)

Chaleur et sécheresse en Juillet-Aout, affectant les cultures d'été

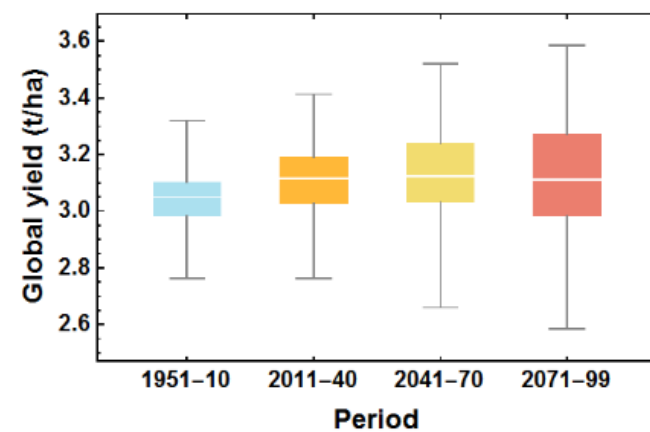
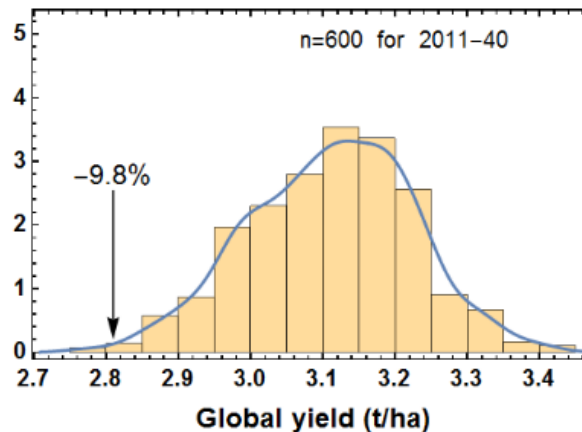
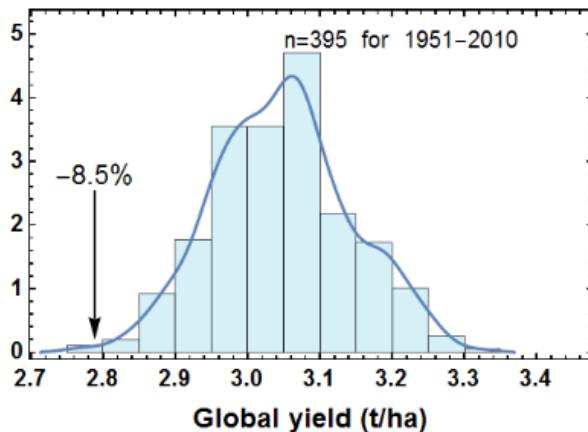
La fréquence de ce type d'extrême augmente dans les projections climatiques

(Ben Ari et al., 2018, Nature Com.)

Augmentation des risques pour les rendements d'ici à 2050



- Compare past & future distributions from ensembles of global crops models (AgMIP/ISI-MIP)
 - Extreme (-) percentiles, variance & skewness of distributions generally getting worse
 - Global 1-in-100 year historical event occurs almost 1-in-30 years within only several decades



Reproduced from **Extreme weather and resilience of the global food system**
UK-US Taskforce on Extreme Weather and Global Food System Resilience

Elevage

- Les animaux très productifs sont plus sensibles à la chaleur
 - Effets négatifs au dessus de 18°C (vaches laitières, Pays-Bas) et 21°C (porcs engraissement)
- Production des prairies :
 - Augmente en hiver, début printemps,
 - Risques accrus de perte de production en été (sécheresses)
 - Changement de flore, expérimentalement réduction de production après plusieurs années
- Maladies émergentes
 - Fièvre catharale ovine (vecteur Culicoides)
 - Tiques (maladie de Lyme, encéphalites)
 - Renforcer l'épidémiosurveillance, le suivi des réservoirs

Quel impact d'un extrême canicule et sécheresse ?

C, control

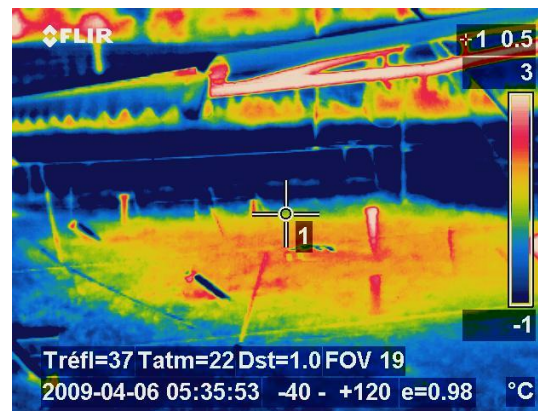
CX, Control and extreme
(`summer 2003' heat wave)

T, average year in the 2050's

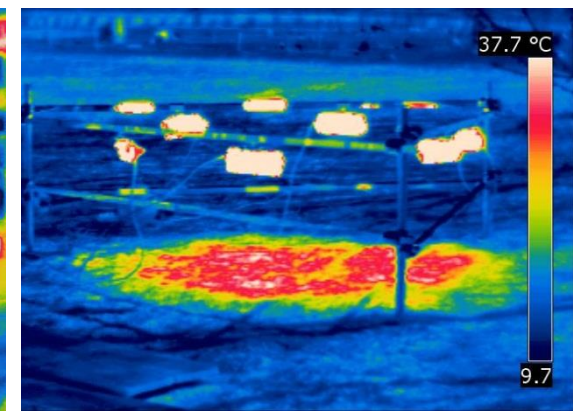
TX, extreme year in the 2050's



Automated rain shelters



Passive IR



Active regulated IR

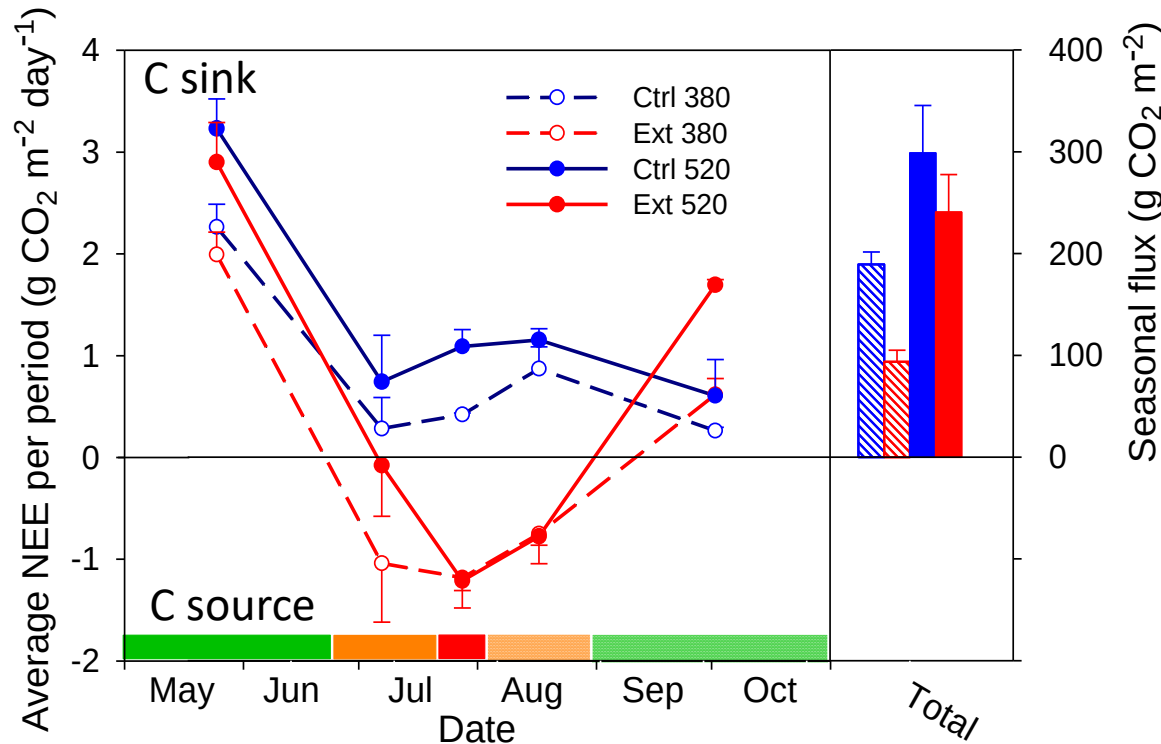
L'augmentation du CO₂ atmosphérique modère les impacts d'une canicule et sécheresse extrêmes sur la productivité et le bilan de carbone des prairies



CNRS ECOTRON

2050 A2 scenario: warming and precipitation change.

With/without summer heat and drought **extreme**; With/without **elevated CO₂** (520 ppm)

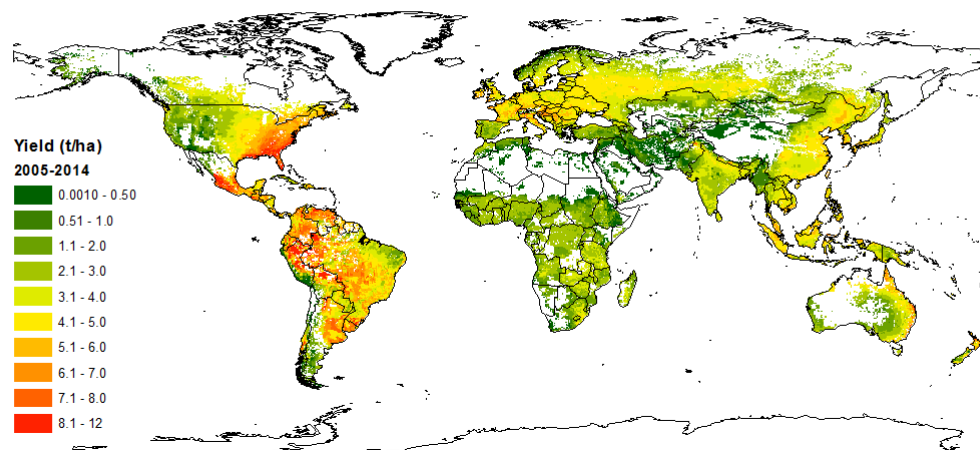


Testing interactions across drivers

(Roy, Cochard, Soussana, PNAS, 2016)

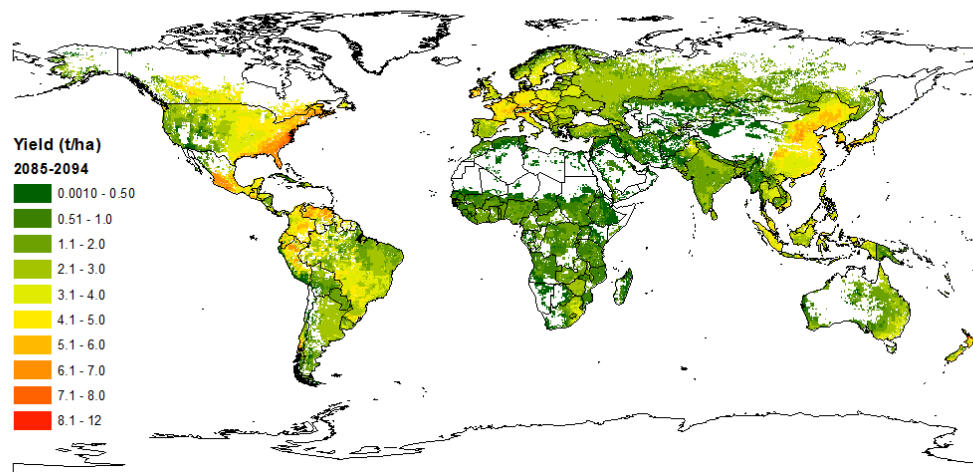
Les rendements des cultures sont affectés à la fois par la dégradation des terres et par le changement climatique

Maize Yields, Conventional Tillage, 2005 - 2014



Maize Yields, Conventional Tillage, 2085 - 2094

RCP2.6

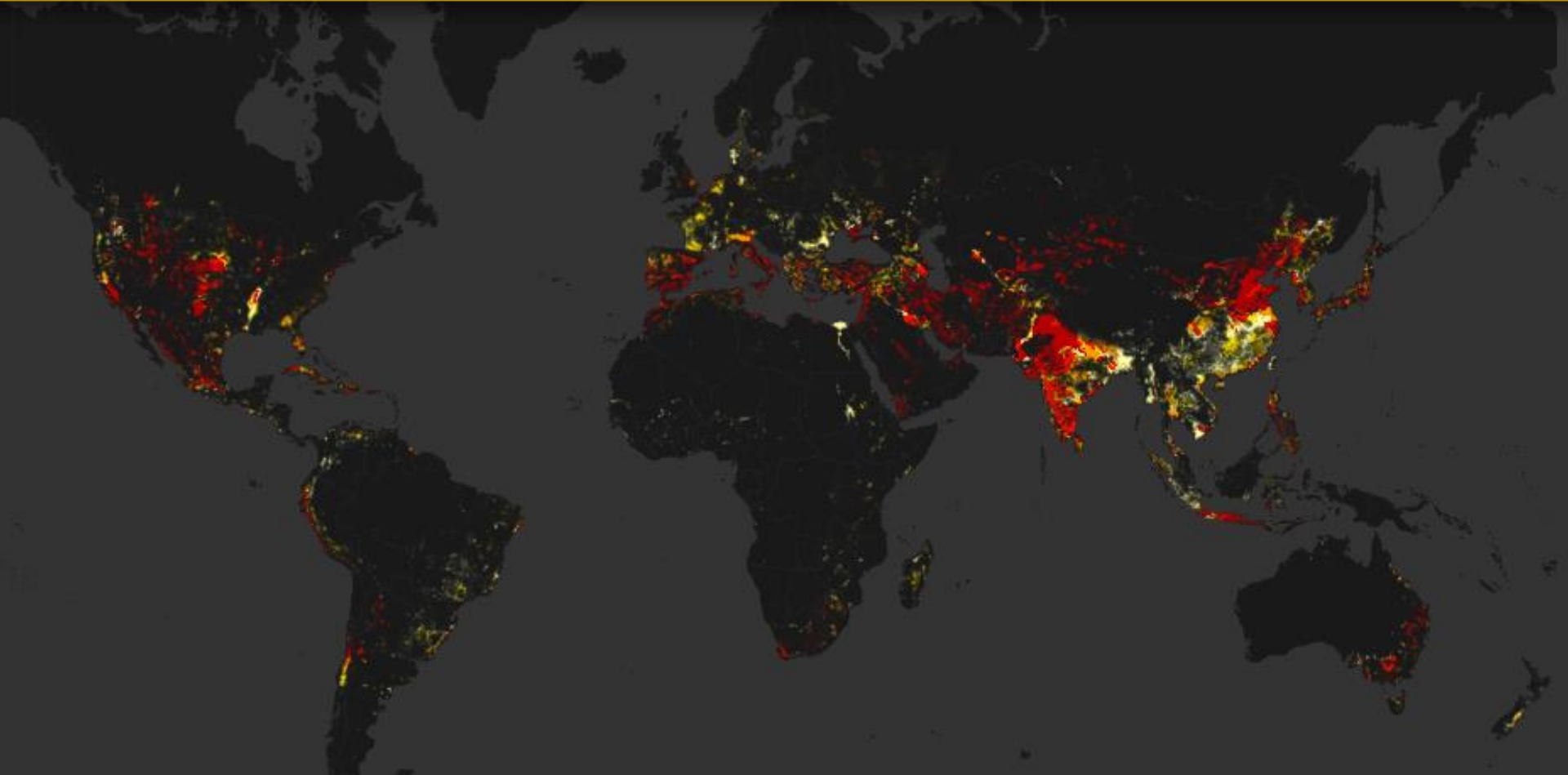


Selon le rapport du panel ITPS-FAO (2016)
-10% des rendements en 2050
du fait de la dégradation des terres

Des risques accrus par le changement
climatique

(Balkovic J, Havlik P, Soussana J-F
EPIC model, dynamic soil,
RCP 2.6, IIASA, Unpublished)

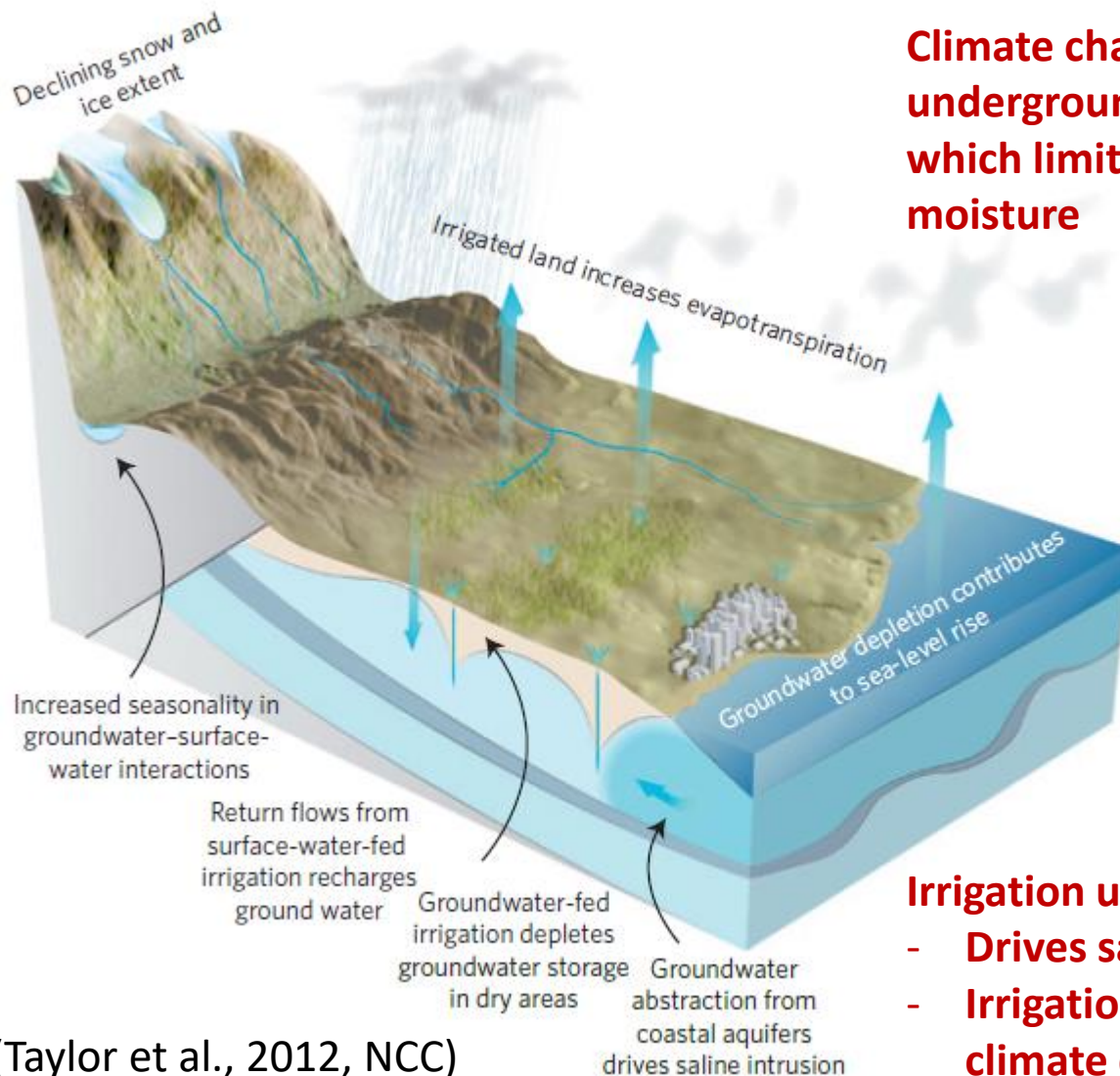
Surexploitation actuelle des aquifères par l'irrigation



Source: World Resources Institute

<http://www.wri.org/applications/maps/agriculturemap/#x=-162.42&y=17.61&l=2&v=home&d=gmia>

Montée du niveau des mers, agriculture, irrigation et salinisation



Climate change and abstraction, can cause underground drought (e.g. in California) which limits irrigation potential and soil moisture

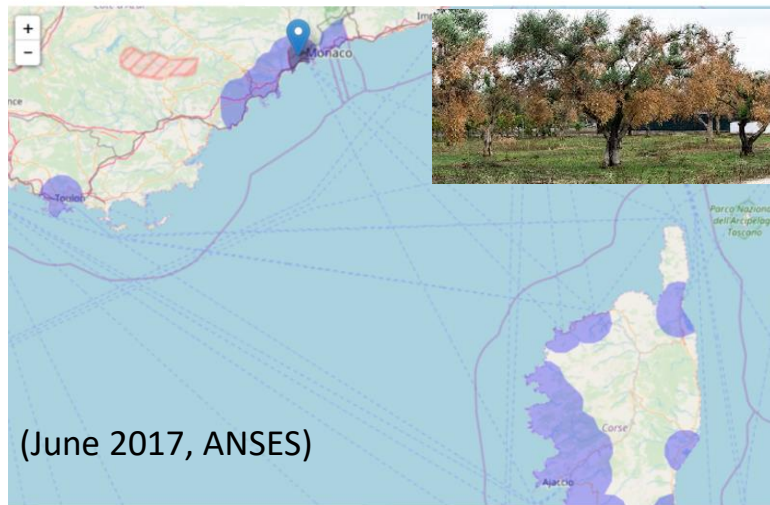
Irrigation under climate change:

- **Drives saline intrusion in coastal aquifers,**
- **Irrigation demand usually increases with climate change**

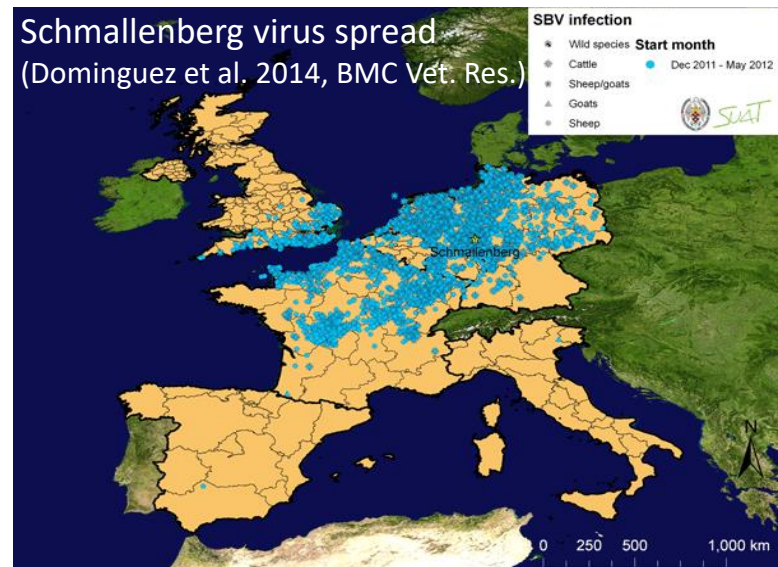
Maladies émergentes et ré-émergentes des végétaux et animaux en partie liées au changement climatique

Adaptation to climate change needs to account for increased sanitary risks also caused by international trade
Surveillance systems should be linked to environmental and trade factors

Xylella fastidiosa - Delimited zones



Schmallenberg virus spread
(Dominguez et al. 2014, BMC Vet. Res.)



Comment augmenter la résilience de l'agriculture ?

□ Precision agriculture and modern breeding

- Remote sensing and near real time crop monitoring
- Anticipating risks and adapting practices (e.g. sowing dates),
- Breeding for tolerance to water stress and to high temperatures, for tolerance to flooding (without reducing production potential?)
- Precision irrigation (saving water?)

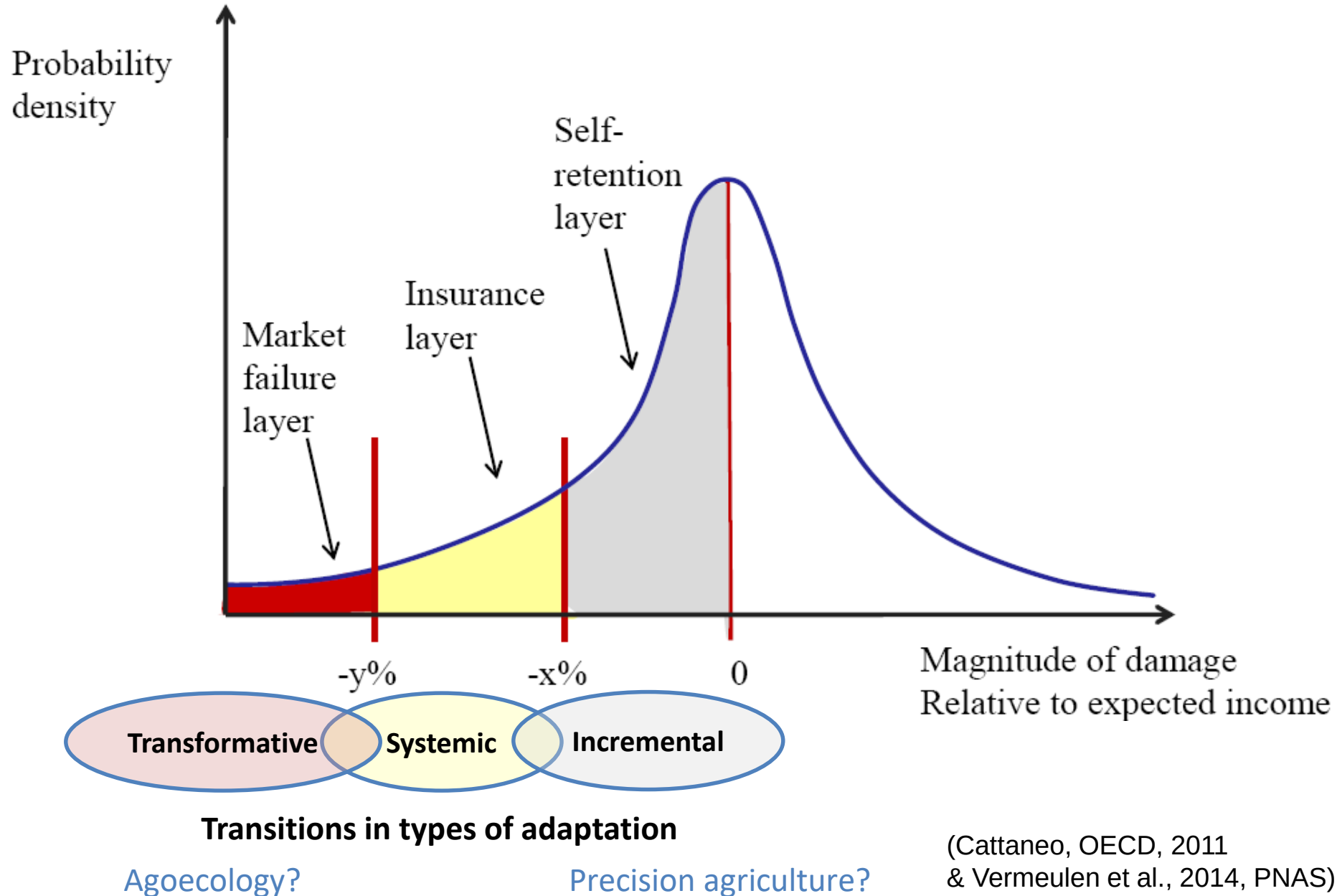
□ Water and soil conservation

- Integrated water management at catchment scale,
- Conservation agriculture (no-till, cover-crops, mulch, green manure, etc.),
- Crop-livestock integration, agroforestry (improved microclimate)

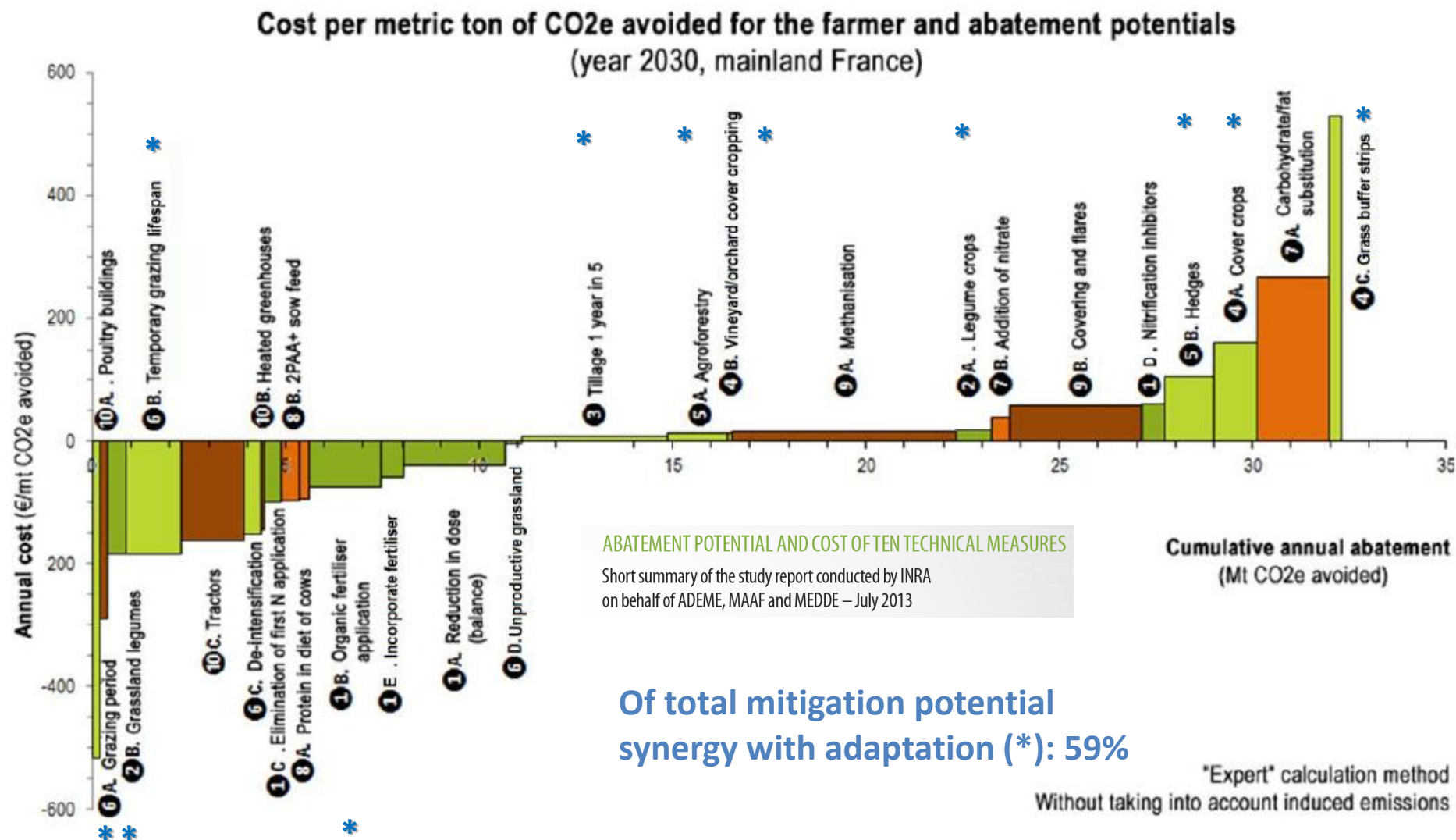
□ Diversification: increased resilience at farm scale

- Crop rotation, grass leys, permanent grasslands, specialized crops,
- Mixed cultivars, grass-legume mixtures, etc.
- Diversified landscapes (reduced pest and disease pressure)

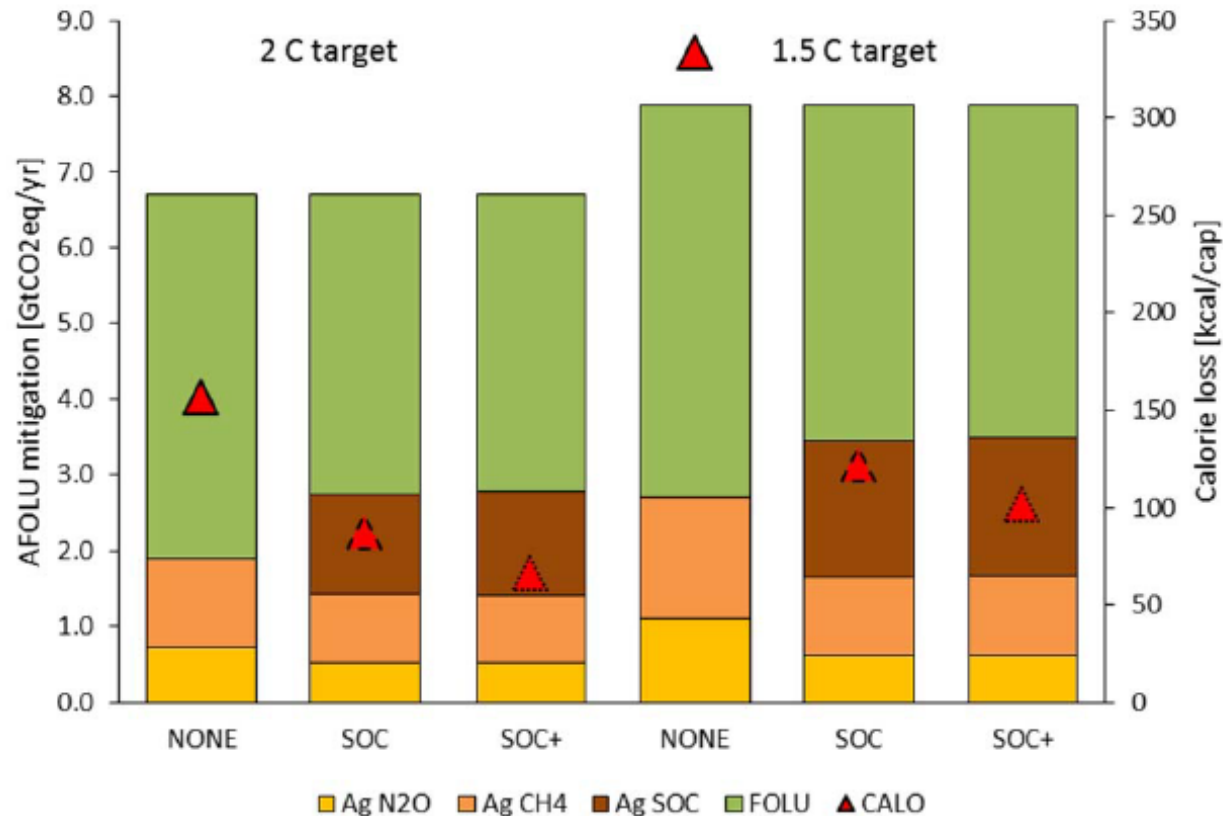
Risques de la variabilité climatique et transition dans les stratégies d'adaptation



L'adaptation de l'agriculture est en grande partie compatible avec des options d'atténuation des émissions et de stockage de carbone dans le sol (étude INRA, 2013)



La séquestration de carbone dans les sols contribue à l'adaptation, l'atténuation et la sécurité alimentaire



SOC, soil organic C sequestration; SOC+, including its benefits for yields

Exemple de recherches : Adaptation variétale des grandes cultures

Des projets collaboratifs public-privés
pour une offre variétale adaptée au
changement climatique

+

Des infrastructures pour le
phénotypage haut-débit

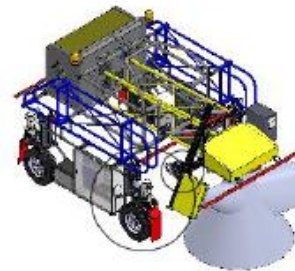
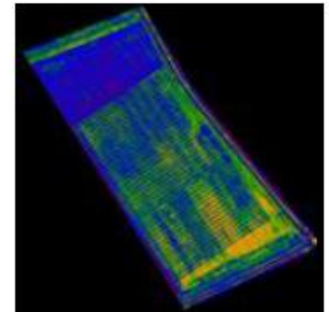


SUNRISE
UNE CULTURE POUR LE FUTUR

AGENCE NATIONALE DE LA RECHERCHE
ANR



PHENOME
Réseau Français
Phénomique végétale
F P P N



Exemple de recherches : Adaptation de la qualité des grains et des fruits

13 équipes INRA : génétique, écophysiologie, biochimie

Plateformes de phénotypage et de métabolomique : C, N, sucres, amidon, lipides, acides gras, protéines de stockage et de stress



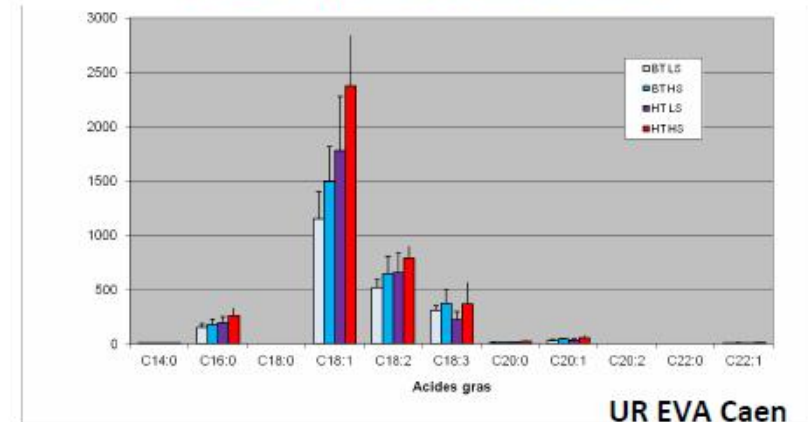
Grandes cultures : pois, blé, colza



Fruits : tomate, pêche, citrus



Réponse de la composition en acide gras du colza aux pics de température



Exemple de recherches : Vigne et vin

Voies d'adaptation : Combiner des innovations de la parcelle à la cave...

LACCAVE

De nouvelles techniques de vinification

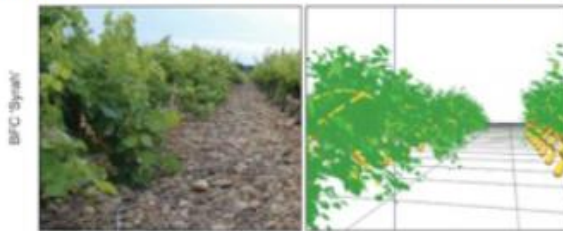


Des variétés plus tardives, résistantes à la sécheresse, produisant moins de sucre, plus d'acidité

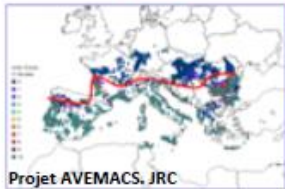


Une irrigation raisonnée selon les besoins de la vigne

Tester de nouveaux modes de conduite



Cabernet Sauvignon



Conclusions

- **Des impacts majeurs sur l'agriculture française au cours des prochaines décennies :**
 - directs (température, précipitations)
 - indirects (tensions sur l'eau, dégradation des sols, spectre des bio-agresseurs, marchés et prix agricoles),
- **Une adaptation incrémentale (génétique x itinéraires techniques...) a déjà débuté**
 - ✓ insuffisante au-delà d'un réchauffement global de 1,5°C
- **Pour renforcer la capacité d'adaptation :**
 - ✓ Conserver et valoriser les ressources naturelles (**eau, sols, ressources génétiques**);
 - ✓ Accroître la résilience aux aléas climatiques via la **diversification** des systèmes agricoles;
- Le projet de Stratégie Nationale Bas Carbone (SNBC2) prévoit une **réduction des émissions de GES de l'agriculture de 20 et 46% en 2030 et 2050** par rapport à 2015
- **Développer des options combinant adaptation et atténuation**, par exemple :
 - ✓ Carbone du sol (cf. colloque de l'étude nationale 4 pour 1000 le 13 Juin),
 - ✓ Agroforesterie, prairies temporaires
 - ✓ Légumineuses (rotations et associations), limitant le recours à des engrais minéraux
- **Renforcer les co-bénéfices entre adaptation, atténuation, biodiversité et régimes alimentaires sains**
 - => **Rapport du GIEC sur le changement climatique et le secteur des terres (SR CCL, Août 2019)**