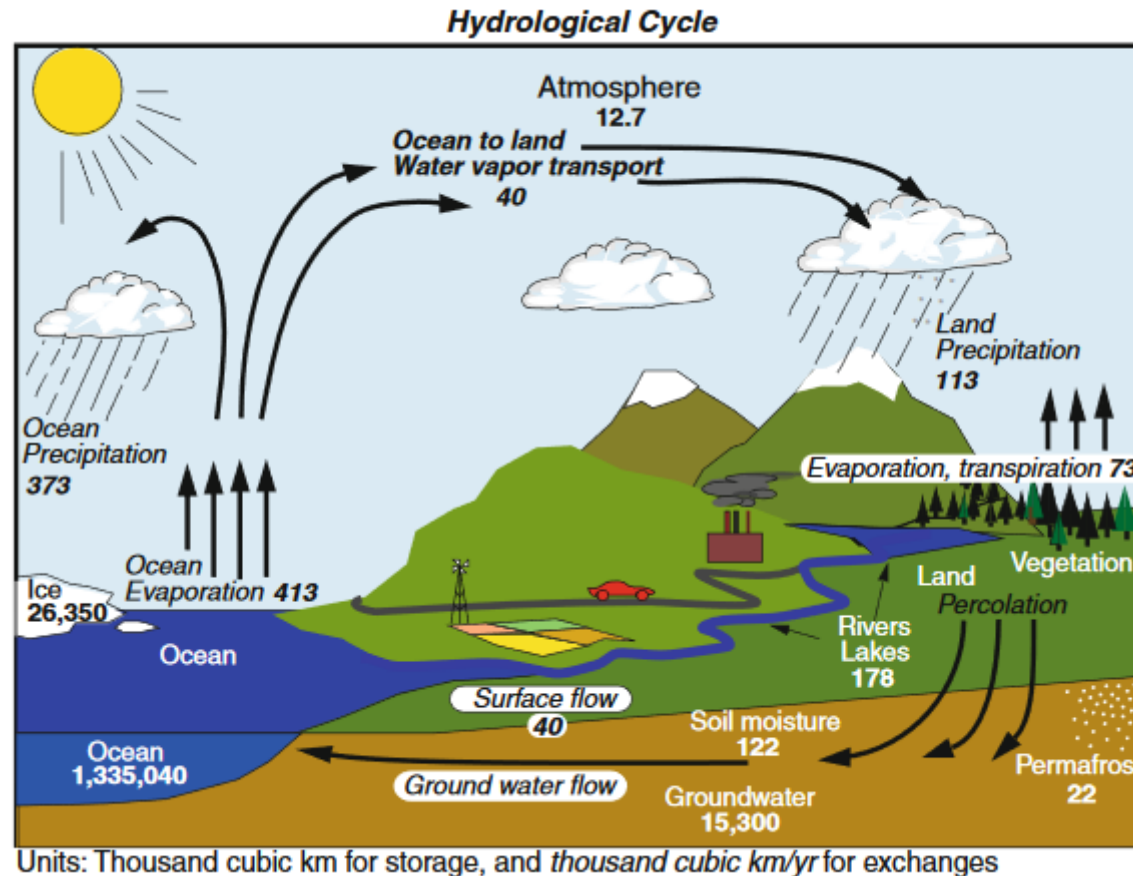


Définition, périmètre et bases de l'aridoculture

par Bernard Saugier

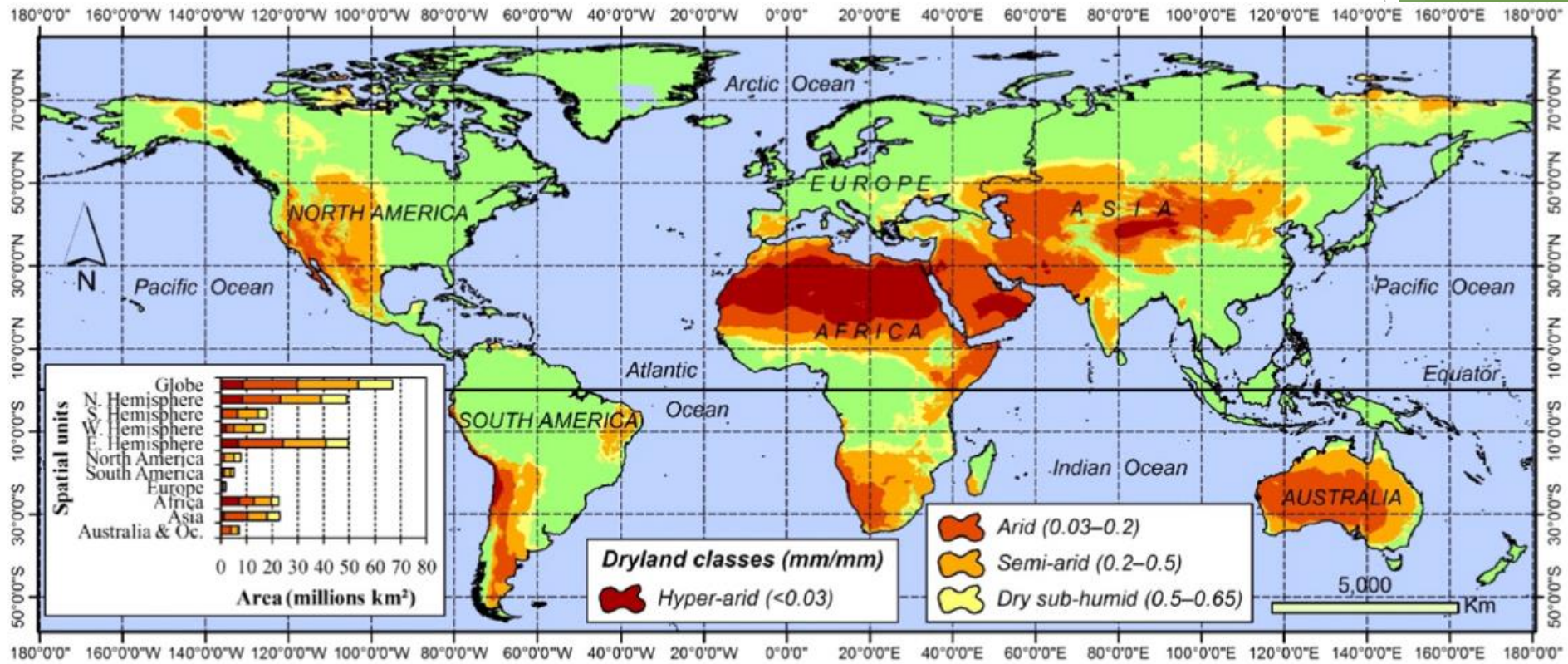
- ▶ Bilan hydrique global des continents
- ▶ Indice d'aridité, répartition des zones arides, population et sols
- ▶ Aridité et changement climatique
- ▶ Surfaces irriguées, vers un plateau
- ▶ Adaptations physiologiques et morphologiques des plantes au manque d'eau, exemple de la brousse tigrée
- ▶ Vers des modes de culture inspirées de la nature: zaïs, diguettes, plantation d'arbres



Cycle de l'eau, stocks en 10^3 km^3 , flux en $10^3 \text{ km}^3/\text{an}$
 Précipitations moyennes continentales 758 mm/an
 ETR moyenne continentale 490 mm/an (max ~1300 mm/an)
 La différence est fournie par la vapeur d'eau provenant des océans
 Source: Trenberth K E et Asrar G R. *Surv Geophys* (2014) 35:515-532

Indice d'aridité

- ▶ Défini en comparant les précipitations P à l'évapotranspiration potentielle ETP
- ▶ P varie de 0 à 2500 mm/an (localement plus)
- ▶ ETP varie de 50 à 2700 mm/an, calculé par la formule de Penman-Monteith (FAO)
- ▶ $i = P/ETP$ = bon indice mais ne prend pas en compte la saisonnalité
- ▶ Autre indice: la sécheresse de l'air, importante pour les plantes, varie selon la saison et l'heure



Carte des zones arides du globe. Source: Pravalie R, 2016, Drylands extent and environmental issues. A global approach Earth-Science Reviews 161, 259-278

Surfaces des zones continentales sèches

	$i = P/ETP$	Mkm ²	% terres émergées
Hyper-aride	<0,03	8,6	5,86
Aride	0,03-0,2	20,8	14,16
Semi-aride	0,2-0,5	24,1	16,38
Sub-humide sec	0,5-0,65	13,2	8,97
Total		66,7	45,37

Les terres arides représentent en 2010 45 % des terres émergées, plus que les 41 % habituellement estimés. Ce chiffre est de 36 % si on s'en tient à $i < 0.5$.

L'aridoculture se situe dans les 30 % de zones arides et semi-arides ($0,03 < i < 0,2$)

Source: Pravalie R, 2016, Drylands extent and environmental issues. A global approach. *Earth-Science Reviews* 161, 259-278



Hyper-aride selon Hergé:
chaud et sec
(Le crabe aux pinces d'or)



Les Zones Sèches



Définition : Les zones sèches sont caractérisées par la rareté et la forte variabilité des précipitations, déficit pluviométrique permanent, insolation forte, températures élevées, faible humidité de l'air, évaporation forte.

- *> 40% des terres émergées du globe*
- *Plus de 2 milliards d'individus vivent dans les zones arides*

Répartition par continent (%)

Afrique	37%
Asie	33%
Australie	14%
Amérique et Europe méridionale	16%

Répartition par type d'usages (millions d'ha)

Pâturages	4 556	88 %
Cultures pluviales	457	9 %
Cultures irriguées	145	3 %
Total	5 208	100 %

Diapo de 2011 empruntée à Antoine CORNET (DR IRD)
Comité Scientifique Français de la désertification

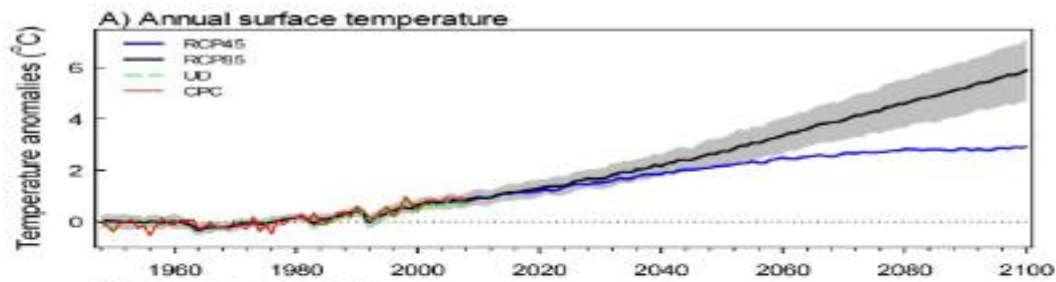
Les Sols des Zones sèches

Les sols des zones sèches sont conditionnés par les conditions climatiques qui ont prévalu lors de leur formation et par les roches sous-jacentes.

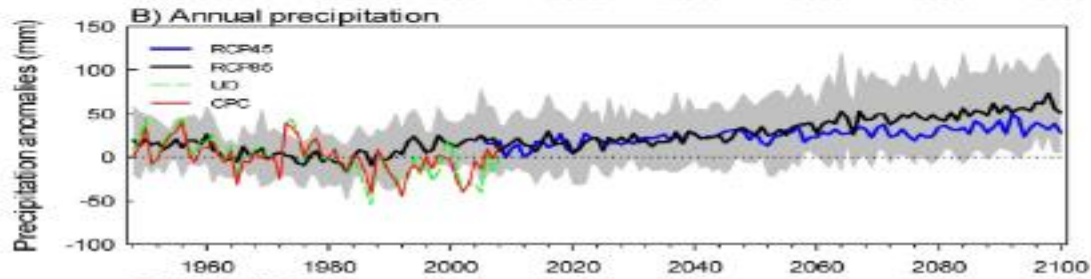
- Sols souvent peu évolués, parfois peu profonds
- Sols pauvres en matière organique
- Sols pauvres en éléments minéraux
- Sols souvent salés
- Les états de surface des sols jouent un rôle déterminant dans leur fonctionnement hydrique



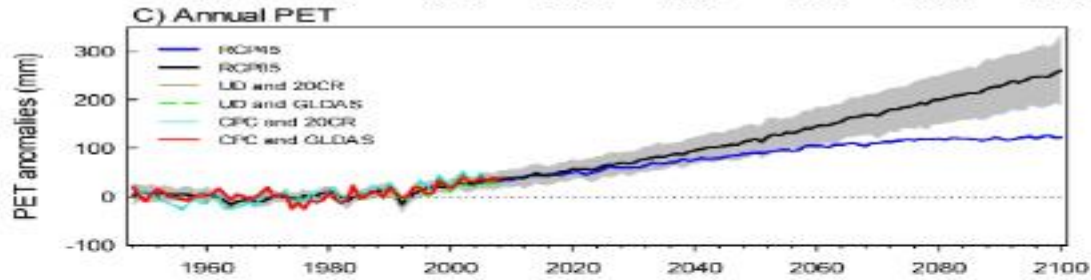
2^{ème} Diapo de 2011 empruntée à Antoine CORNET (DR IRD)
Comité Scientifique Français de la désertification



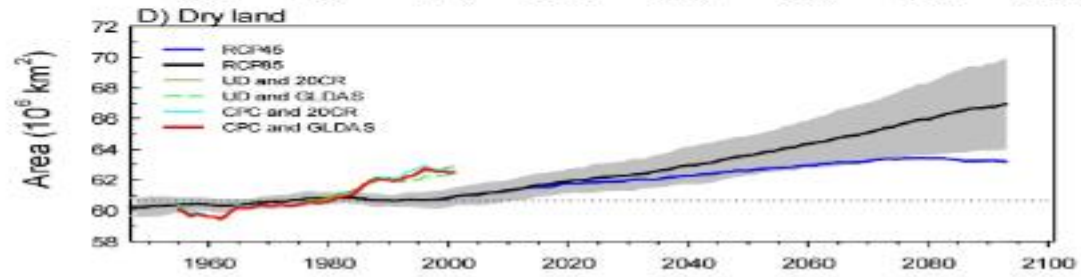
Température



Précipitations annuelles

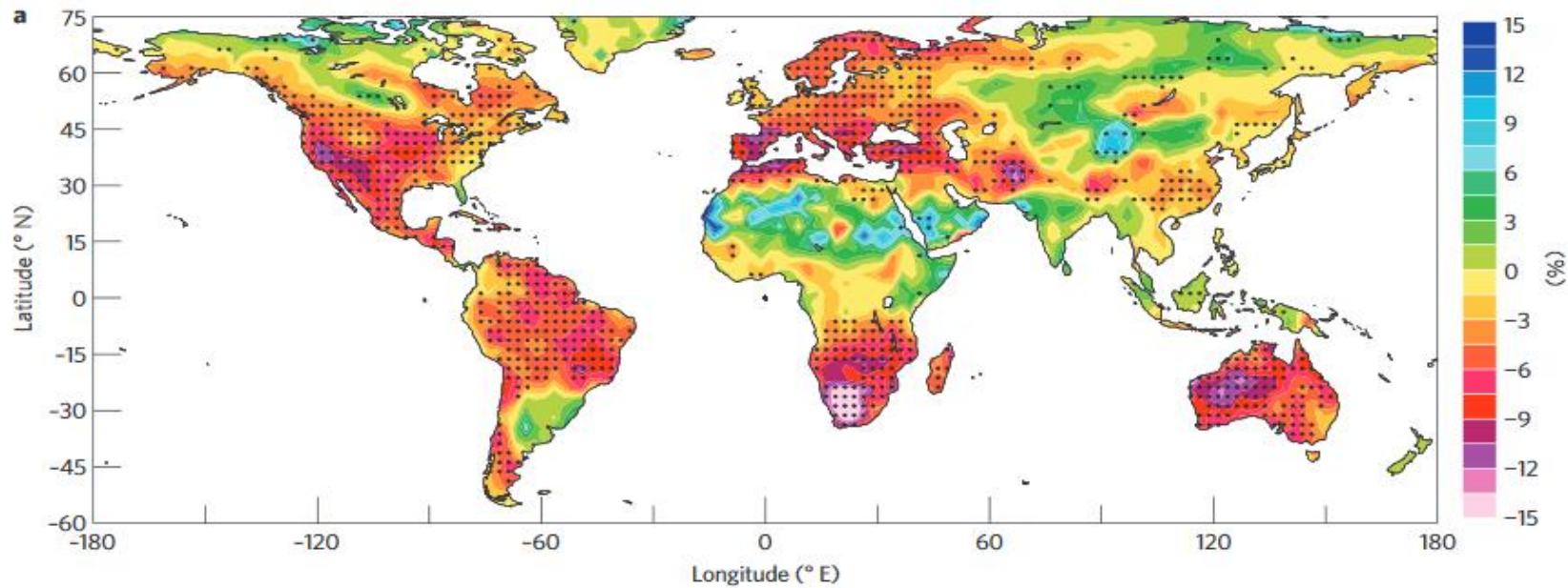


ETP



Surface de zones sèches

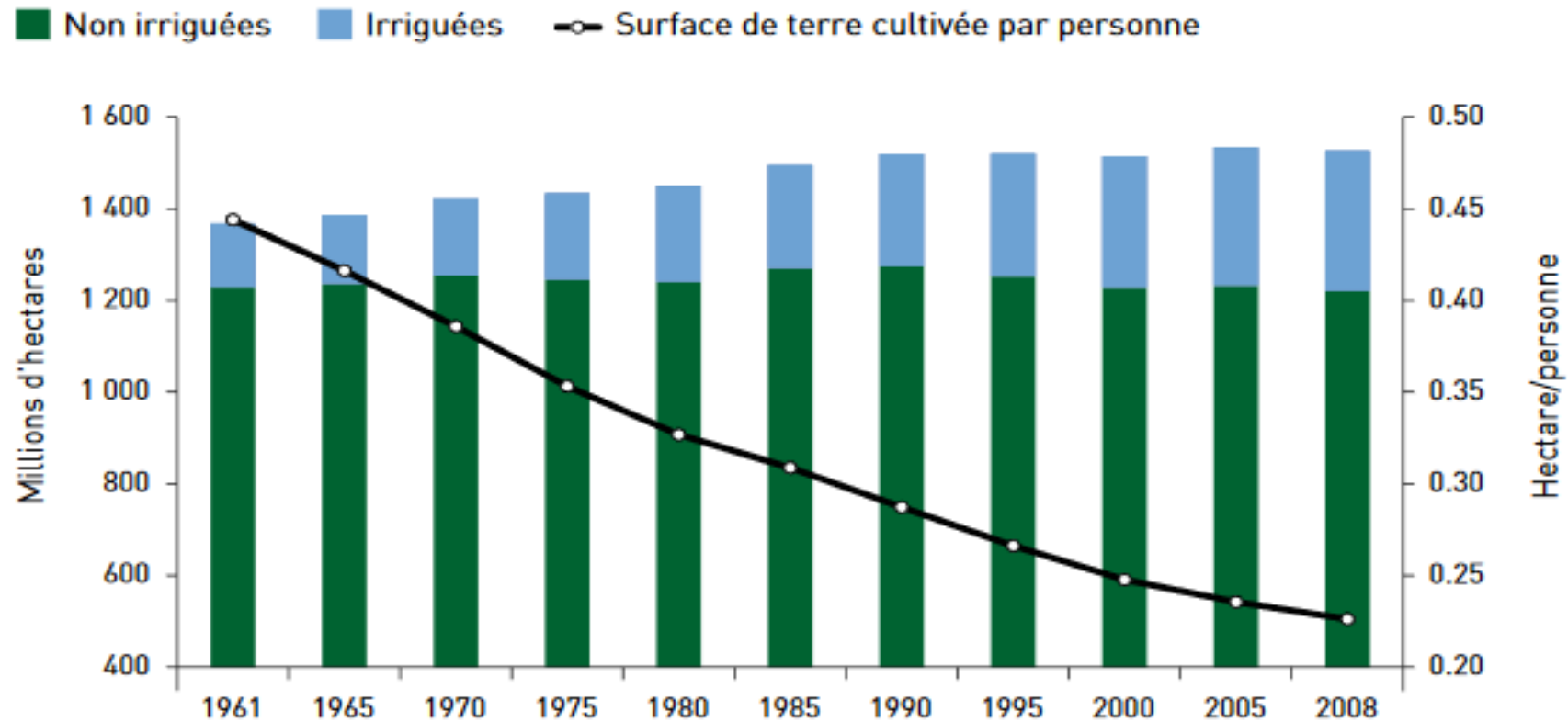
Evolutions respectives simulées des moyennes continentales de température, précipitations et ETP, et de la surface de zones sèches, pour 2 scénarios de climat (bleu RCP 4.5 et noir 8.5 W m⁻²). ETP croît plus vite que P, d'où une augmentation des zones sèches



Variation simulée d'humidité du sol de 1980-1999 à 2080-2099
Moyenne de 11 modèles scénario RCP 4.5 (Dai A, 2012 *Nature Climate Change*)

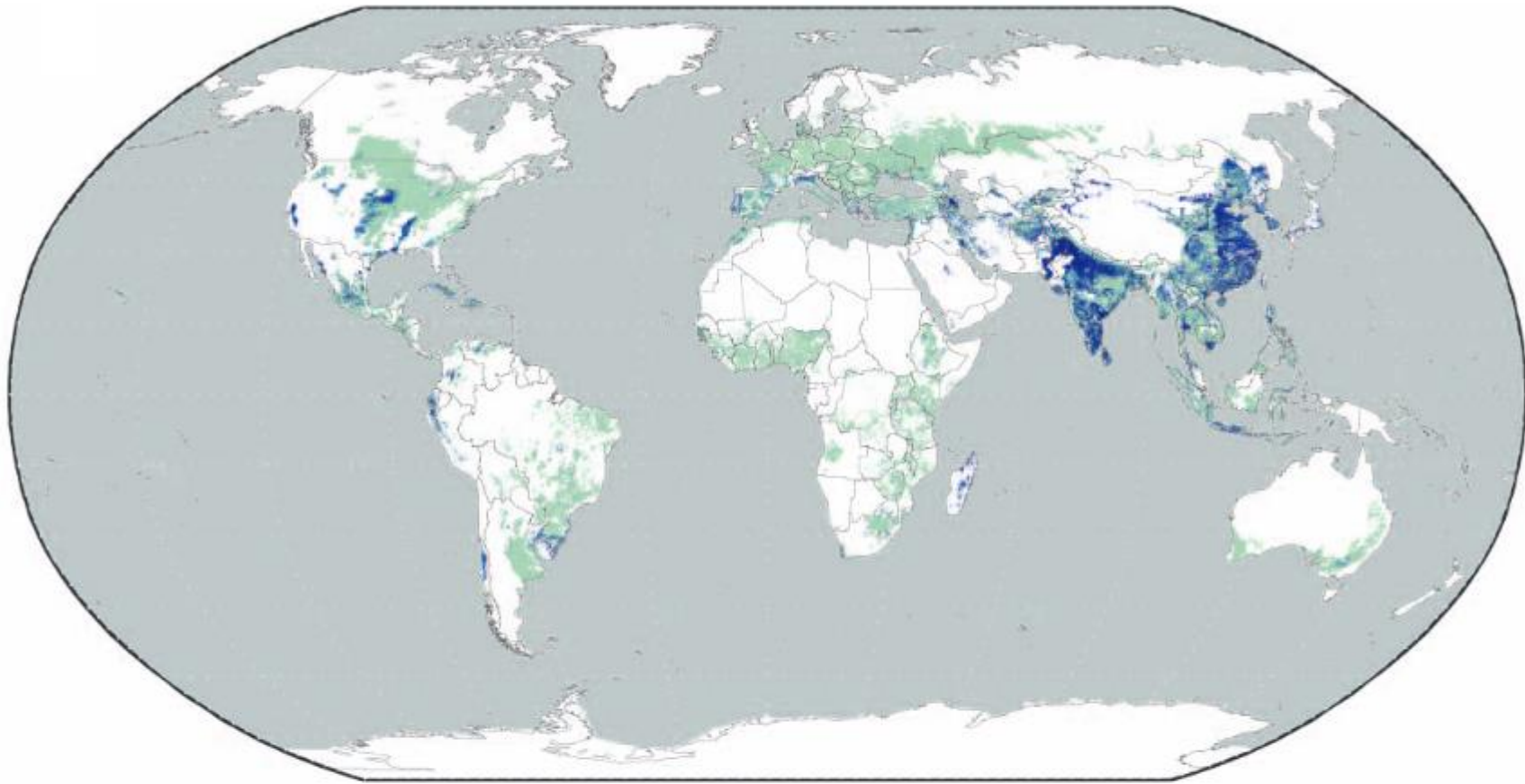
L'aridité augmente dans de nombreuses zones, mais atténuée par deux facteurs:

1. L'augmentation du CO₂ diminue l'ouverture stomatique et la transpiration
2. La baisse d'humidité du sol entraînée par la baisse de P/ETP favorise la convergence de la vapeur d'eau vers les zones sèches, d'où une plus faible baisse des précipitations, annulant 60 % de la baisse de P-E, où E est l'évapotranspiration réelle (Zhou et al., 2021. *Nature Climate Change*, 38, 38-44)

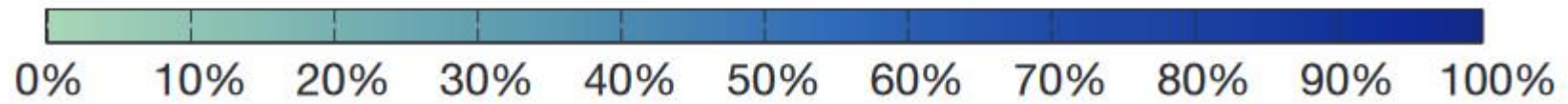


Source: FAO (2010b)

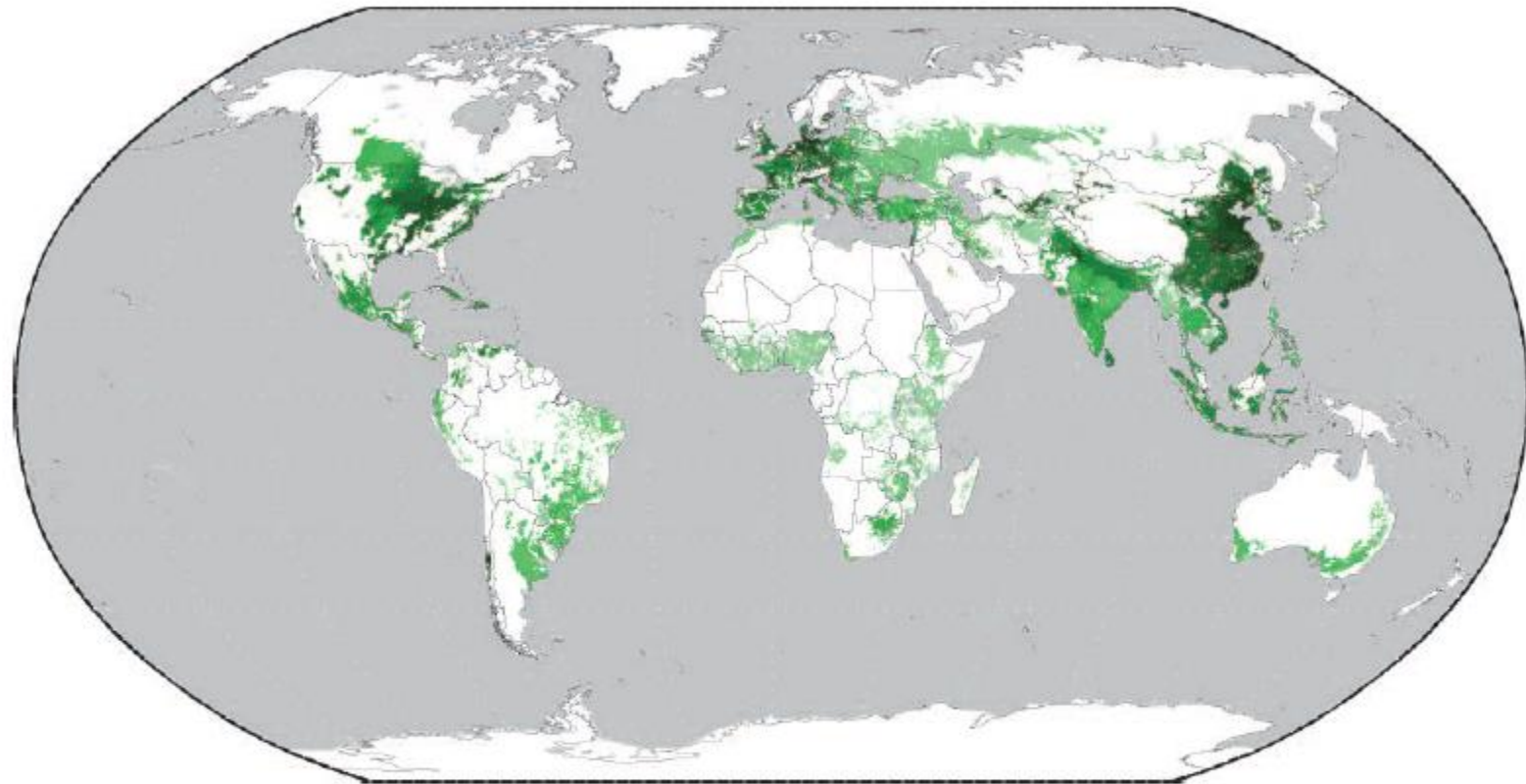
Evolution des surfaces cultivées. Le total passe de 1,4 à 1,5 milliard d'ha
 De 1961 à 2008 la surface cultivée par habitant diminue de 0,45 à 0,22 ha
 Cette perte a été plus que compensée par la croissance des rendements.
 Les surfaces irriguées ont doublé et représentent 20 % du total,
 mais on atteint un plateau et les futures augmentations de production devront se
 faire d'abord sur les surfaces non irriguées



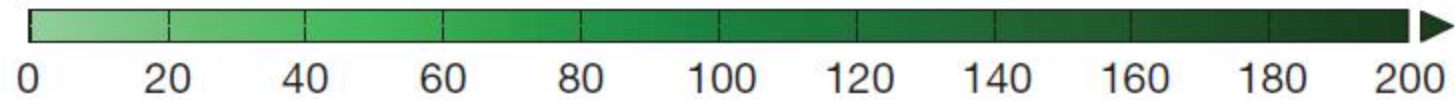
Major cereals: area irrigated (%)



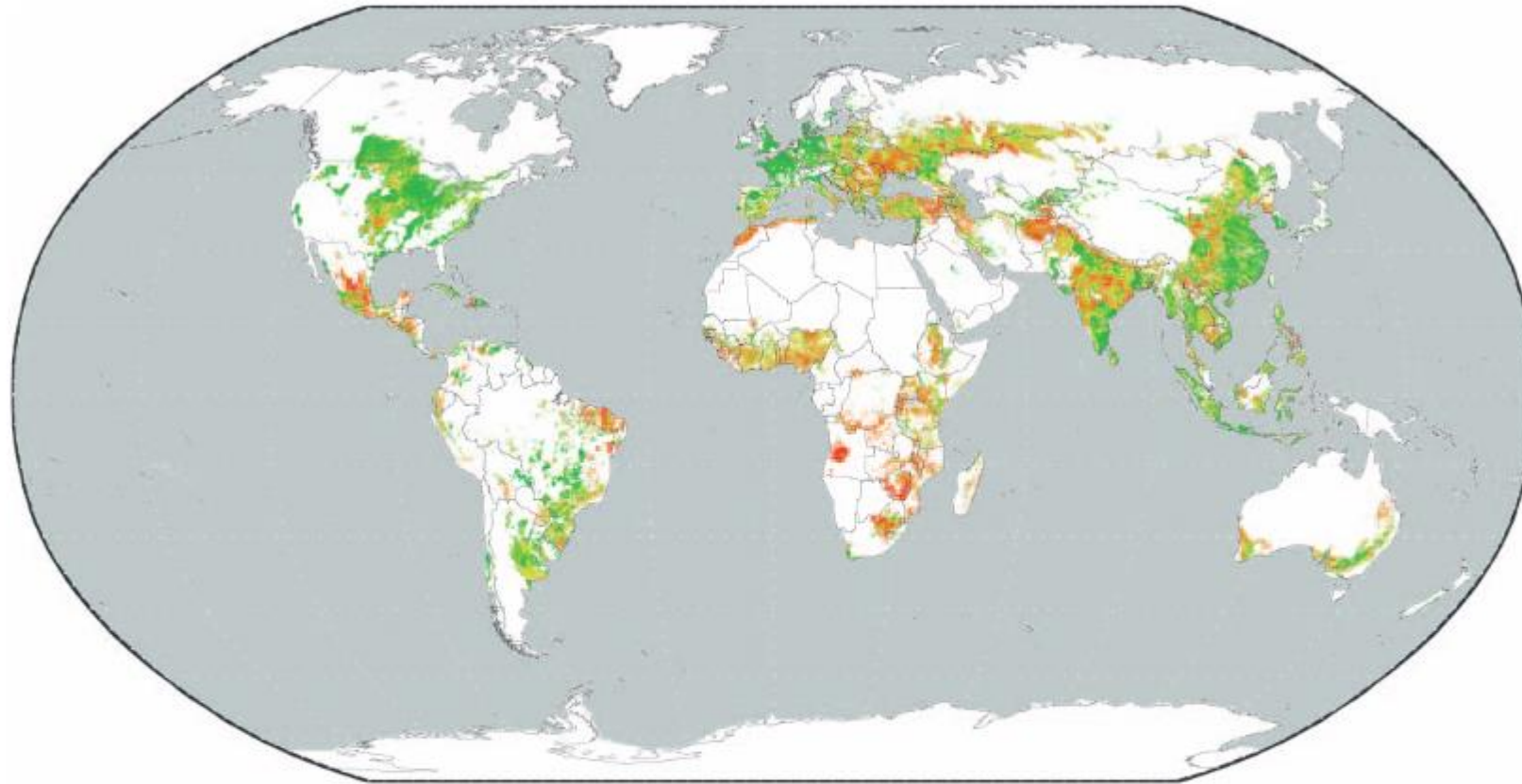
Source: Müller N D et al, *Nature* 490, 254-257 (2012)



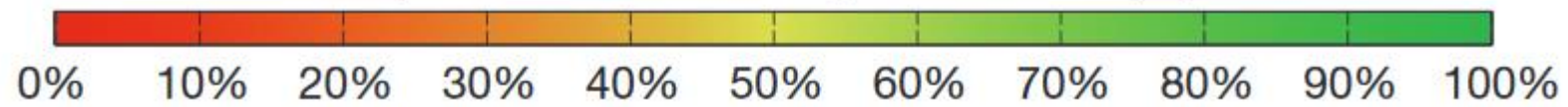
Major cereals: average N fertilizer application rate (kg N ha⁻¹)



Source: Müller N D et al, *Nature* 490, 254-257 (2012)



Major cereals: attainable yield achieved (%)



Source: Müller N D et al, *Nature* 490, 254-257 (2012)

Adaptations naturelles au manque d'eau

- ▶ Adaptations physiologiques: C_4 , CAM
- ▶ Adaptations morphologiques: enracinement profond, feuilles à cuticule épaisse et stomates enfoncés, ou feuilles s'enroulant ou se pliant pour diminuer la perte d'eau
- ▶ Adaptations à la topographie: concentration des plantes dans les zones de ruissellement (exemple de la brousse tigrée)

C₃, C₄ et CAM

- ▶ Chez les C₃, le premier produit de la photosynthèse est un acide à 3 atomes de carbone. Une partie importante du carbone fixé est perdue par photorespiration: d'environ 30 % pour un CO₂ de 400 ppm, elle s'annule lorsque le CO₂ dépasse 1000 ppm
- ▶ Les C₄ ont une enzyme supplémentaire fixant le CO₂ de façon efficace et supprimant la photorespiration pour CO₂ >300 ppm, d'où une forte production
- ▶ Les CAM (Crassulacean Acid Metabolism) ont un métabolisme de C₄ mais fixent le CO₂ la nuit et le libèrent le jour pour la photosynthèse en gardant les stomates fermés, ce qui réduit la perte d'eau, mais limite la production. Certaines CAM se comportent en C₃ quand elles sont bien alimentées en eau

Adaptation à l'aridité de la végétation naturelle

Espèces en C_4 (maïs, mil, sorgho ...)

3 % des espèces, 20 % de la production (graminées)

Avantages sur C_3 :

Fixent le CO_2 de façon plus efficace

- Stomates moins ouverts le jour (moins de perte d'eau)
- Pas de photorespiration
- Tolère bien températures élevées (jusqu'à 35-40 °C)

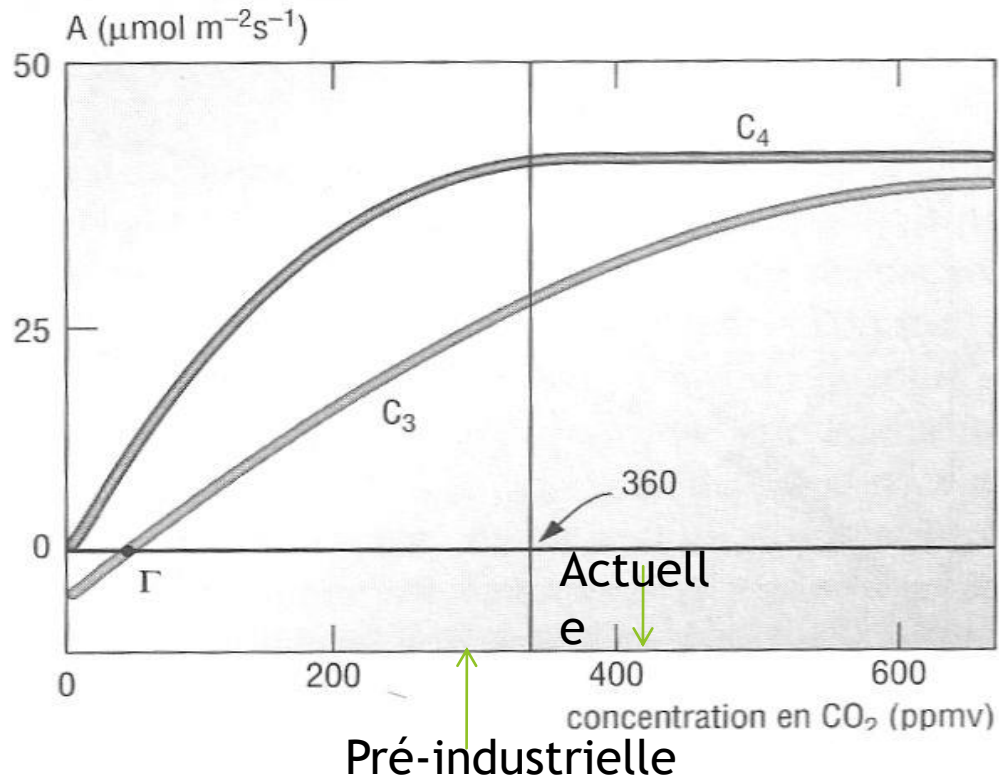
Inconvénients: besoin de forte lumière (rendement énergétique plus faible), ce qui n'est pas un problème en zone aride



Maïs

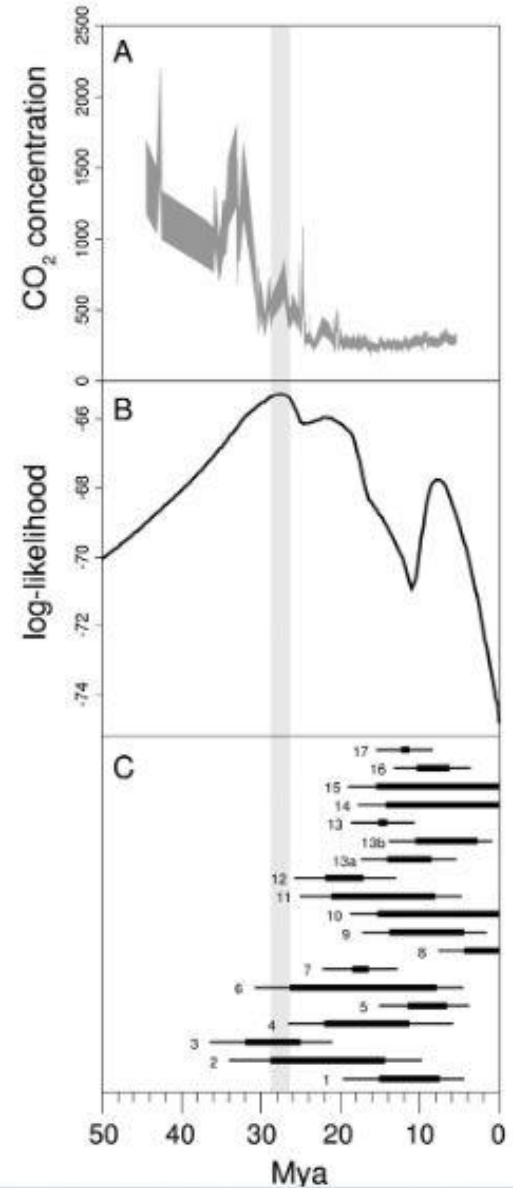


Mil au Niger



Photosynthèse de feuilles d'espèces C_3 et C_4 en fonction du CO_2 de l'air

On estime (modèles) que les C_4 représentent 20 % de la production nette terrestre



Les C_4 apparaissent depuis 30 Ma en réponse à la baisse du CO_2 de l'air



Cactus
Carnegiea gigantea (Mexique)



Euphorbe
Euphorbia virosa (Namibie)



Ananas comosus



Sisal (*Agave sisalana*)

Espèces CAM sauvages

Espèces CAM cultivées

CAM = Crassulacean Acid Metabolism

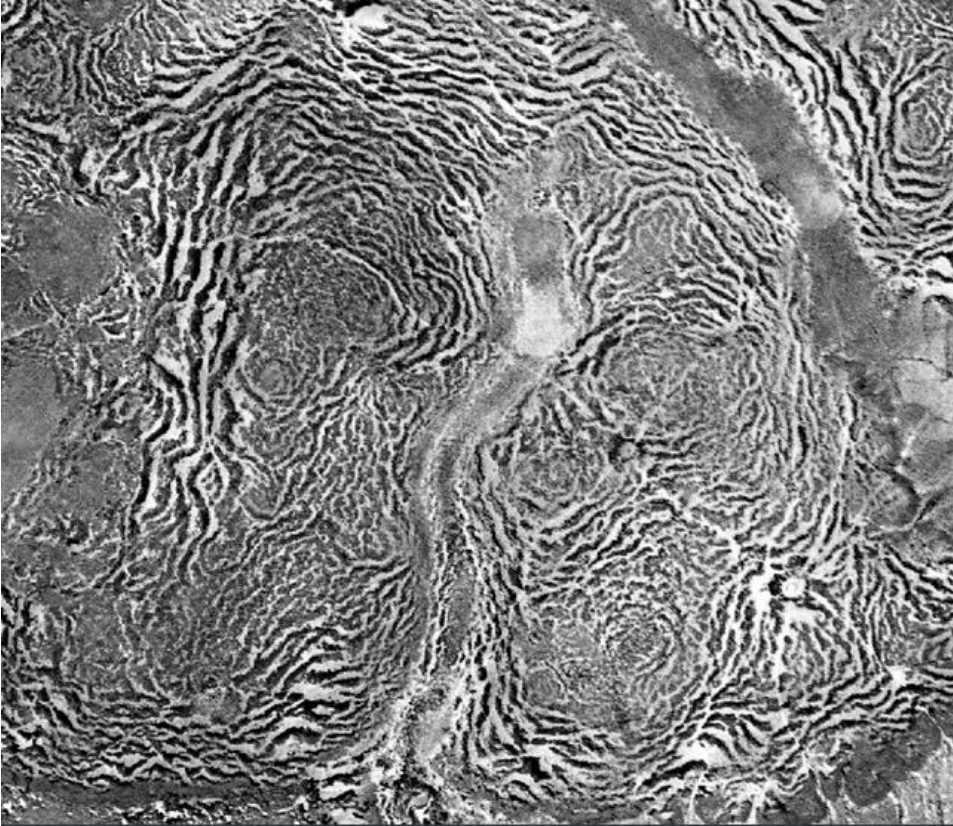
6 % des espèces dans 35 familles, grosses vacuoles pour stocker le carbone

La nuit stomates ouverts, le CO_2 est fixé sous forme de malate (C_4)

Le jour, stomates fermés, le malate libère le CO_2 qui est fixé par photosynthèse

Tolèrent bien les températures élevées jusqu'à 45-50 °C

Conséquence: pertes en eau très diminuées, mais production limitée



Brousse tigrée au Niger

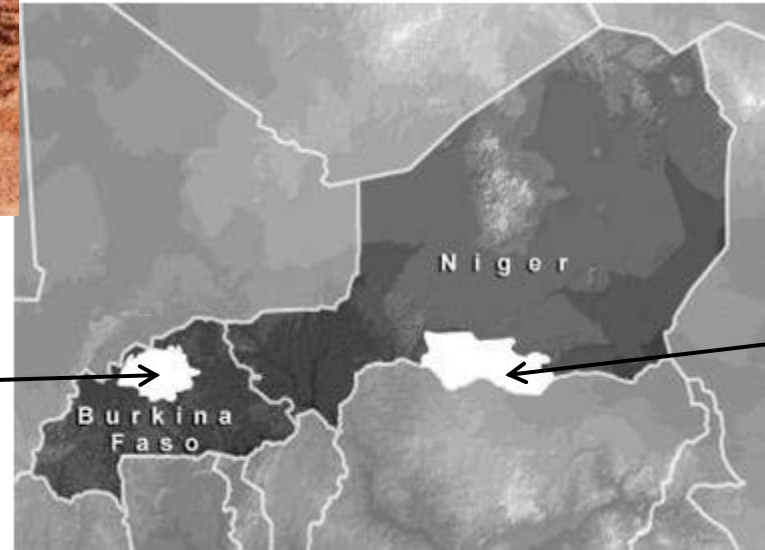
L'eau ruisselle sur le sol nu et s'infiltré dans les zones de végétation, permettant la croissance des arbres sur une surface limitée.

Vu du ciel, on dirait une peau de tigre.

Exemples de réalisations au Sahel



Yatenga
250 000 ha
Zaïs et diguettes
 $\Delta+100\ 000t$
de céréales



Région de Zinder
5 Mha
Plantations d'arbres
(*Faidherbia albida*)
De 1,5 % à 4 % d'arbres
 $\Delta+500\ 000t$ de céréales

Source: Reij C, Tappan G and Smale M, 2009.
Agroenvironmental Transformation in the Sahel.
IFPRI Discussion Paper 00914. www.ifpri.org/millionsfed



Les arbres plantés (*Faidherbia albida*) enrichissent le sol en azote (légumineuses)

Ils perdent leurs feuilles pendant la saison des pluies et ne font pas d'ombre aux plants de mil qui poussent dans les zaïs. Le rendement du mil passe de 0,6 t/ha (moyenne africaine) à 1,8 t/ha. Niakhar, Sénégal. Photo

Conclusion

- ▶ Zones arides = 30 % des terres émergées ($0,03 < P/ETP < 0,5$)
- ▶ Accueillent plus de 2 milliards d'habitants, population en croissance (forte en Afrique)
- ▶ Les plantes ont développé de nombreuses astuces pour vivre dans ces milieux
- ▶ Les hommes ont la capacité de cultiver ces zones arides en gérant arbres, engrais et eau

Que se réjouissent désert et terre aride,
qu'exulte et fleurisse la steppe (*Isaïe 35, 1*)



Culture de vigne sur l'île de Lanzarote (Canaries).
Les rares pluies (170 mm/an) sont concentrées au fond des
cuvettes. On obtient un vin de qualité.