

Les systèmes agroécologiques sont-ils adaptés au changement climatique ?



Lionel ALLETTO, Directeur de recherche INRAE



➤ **Ensemble disciplinaire** alimenté par le croisement des sciences agronomiques, de l'écologie appliquée aux agroécosystèmes et des sciences humaines et sociales (Tomich et al., 2011)

➤ Alternative à une agriculture intensive basée sur l'artificialisation des cultures par l'usage d'intrants de synthèse (engrais, pesticides...) et d'énergies fossiles. Elle promeut des systèmes de production agricole valorisant la **diversité biologique** et les **processus naturels** (cycles de l'azote, du carbone, de l'eau, équilibres biologiques entre organismes ravageurs et auxiliaires des cultures...) (Hazard et al., 2016)



➤ Dans son acception la plus large, l'agroécologie vise à **promouvoir des systèmes alimentaires viables** respectueux des hommes et de leur environnement (Gliessmann, 1998)

Qu'est-ce que l'Agroécologie ?

Utilisation d'intrants
de synthèse

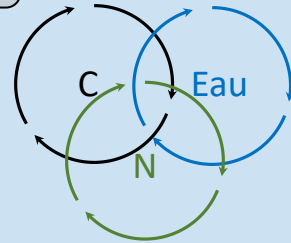
Fonctions
écosystémiques

Cadre conceptuel de l'Agroécologie

Agriculture « respectueuse du climat »

« Zone de compromis »

Agriculture
régénérative



Agroforesterie

(Ecosystèmes
forestiers)

LaCanne and Lundgren, 2018; Shelef et al., 2017

Agriculture
raisonnée

Agriculture
biologique

Agriculture de
précision

Agriculture de
conservation

Agriculture
conventionnelle

Gradient de diversification (spatiale et temporelle)

Le changement climatique est une **réalité** qui a des **conséquences hydrologiques majeures**

Augmentation des températures

+ 2 °C



-35% à -60%



Manteau neigeux

-20% à -40%



Baisse des débits

+10% à +30%



Evapotranspiration

Phénomènes extrêmes plus fréquents

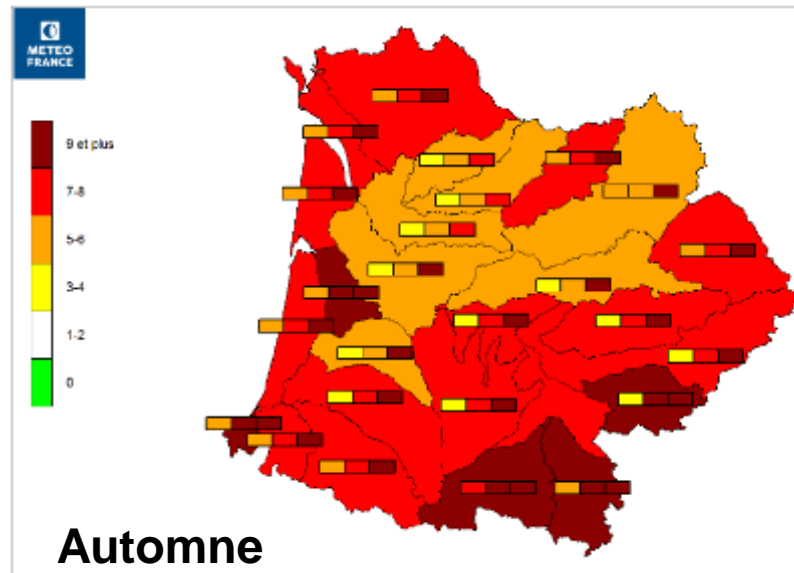
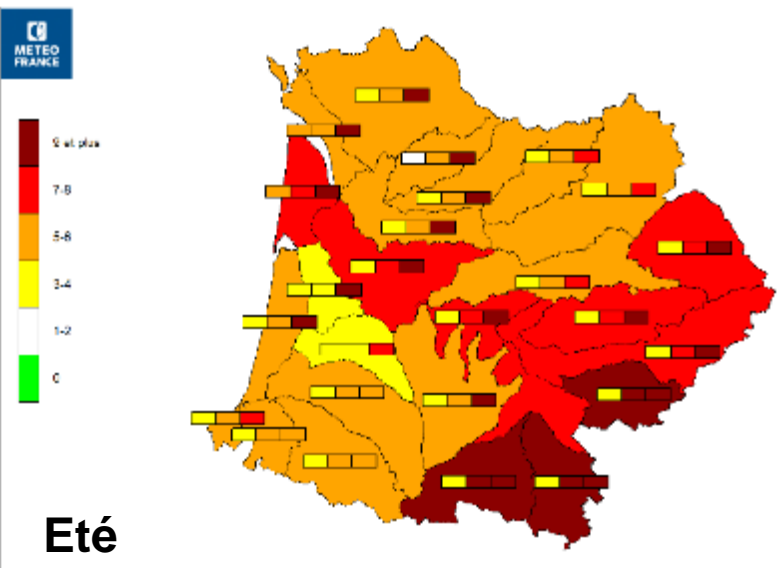


Etiage plus précoce, plus sévère et plus long

Baisse de la recharge des **nappes**

Un risque accru de **sécheresse des sols** (à occupation et type de sols constants)

Occurrence de la sécheresse décennale en 2050

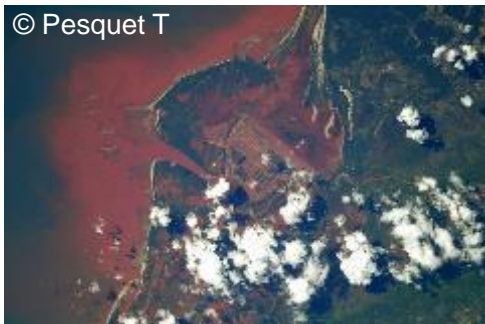


➤ Le Sol, épiderme vivant et fragile de la Terre

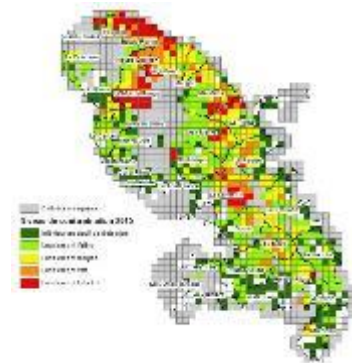
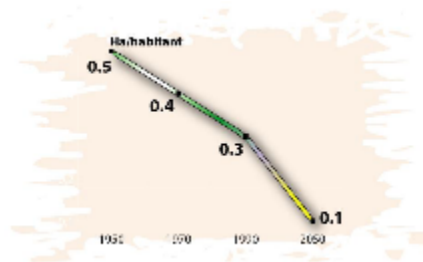


Quelques causes de dégradation...

- Salinisation
- Erosion
- Imperméabilisation
- Contamination
- Perte en matière organique
- Perte de biodiversité
- Compaction
- ...



© Pesquet T



(DDAF Martinique, 2019)

➤ Le Sol, épiderme vivant et fragile de la Terre



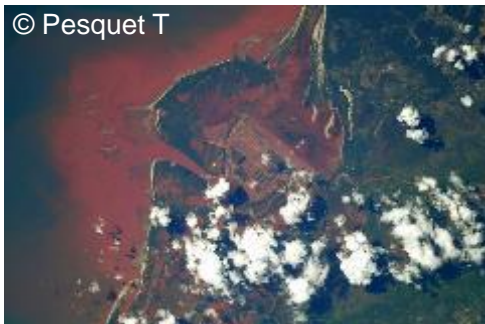
➤ Erosion des sols : amplification probable avec le CC

▶ en moyenne, il faut 2000 ans pour créer 10 cm de sol et on perd environ **0,9 mm / an** de sols agricoles (FAO, 2016)

▶ 20-30 Milliards de tonnes de sol sont perdues annuellement, soit environ **3 tonnes / personne / an** (FAO, 2016)

▶ 80 % des surfaces agricoles mondiales sont sujettes à une érosion forte, 10 % à une érosion faible (Pimentel, 1993; Lal, 1994)

▶ **Pertes ≈ 30 t/ha/an** variant de 0,5 à 400 t/ha/an (Pimentel et al., 1995)



Des systèmes agroécologiques mieux adaptés aux effets du CC ?

- Adaptation face aux évènements climatiques (pluvieux) extrêmes
 - LEVIER 1 : réduire l'énergie cinétique des pluies
 - LEVIER 2 : stabiliser les agrégats des sols
 - LEVIER 3 : accroître les capacités d'infiltration
 - LEVIER 4 : recréer des ruptures de pente, réduire la longueur des parcelles
 - LEVIER 5 : maintenir / ré-introduire des infrastructures agroécologiques dans et en périphérie des parcelles (haies, agroforesterie, bandes enherbées, ...)

Des systèmes agroécologiques mieux adaptés aux effets du CC ?

- Adaptation face aux **sècheresses** (et **températures extrêmes**)
 - **LEVIER 6** : reconcevoir des systèmes de culture plus diversifiés, avec des cultures moins consommatrices / plus efficaces dans l'utilisation de l'eau (voie génétique)
 - **LEVIER 7** : adapter les itinéraires techniques (ex. stratégie d'esquive)
 - **LEVIER 8** : maintenir les sols couverts (par un végétal vivant ou un mulch)
 - **LEVIER 9** : améliorer la rétention en eau des sols
 - ...



(Amigues, 2006)

Des systèmes agroécologiques mieux adaptés aux effets du CC ?



➤ **LEVIER 1** : réduire l'**énergie cinétique** des pluies

▶ **Présence d'un couvert végétal à la surface du sol**



▶ Période d'interculture



Cycle cultural des cultures marchandes





LEVIER 1 : réduire l'énergie cinétique des pluies

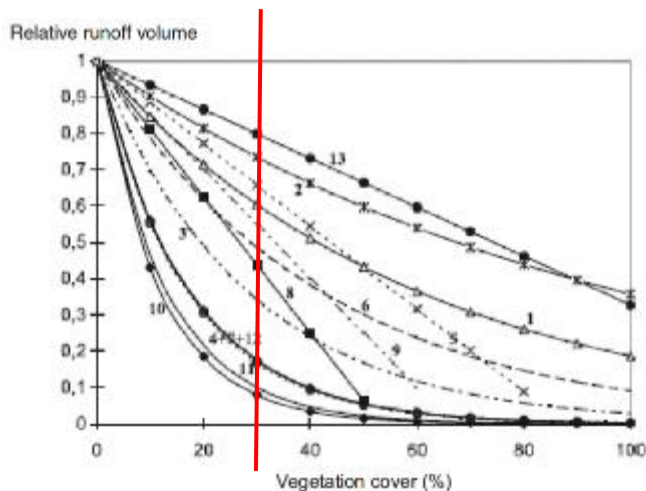


Figure 1. Relationship between plant cover and relative runoff. 1, 2, Packer (1951); 3, 4, Marston (1952); 5, Branson and Owen (1970); 6, Elwell and Stoking (1976); 7, Lang (1979); 8, 9, Kainz (1989); 10, 11, Francis and Thornes (1990); 12, Lang (1990); 13, Greene et al. (1994).

Quantité de résidus (t/ha)	Ruissellement (% précipitations)	Erosion (t/ha)
0	45	12
0,25	40	3
0,5	25	1
1	0,5	0,3
2	0,1	0
4	0	0

➤ Quelques références quantitatives :
 1,1 t MS / ha ou 30 % de la surface couverte
 = « conservation tillage » aux USA

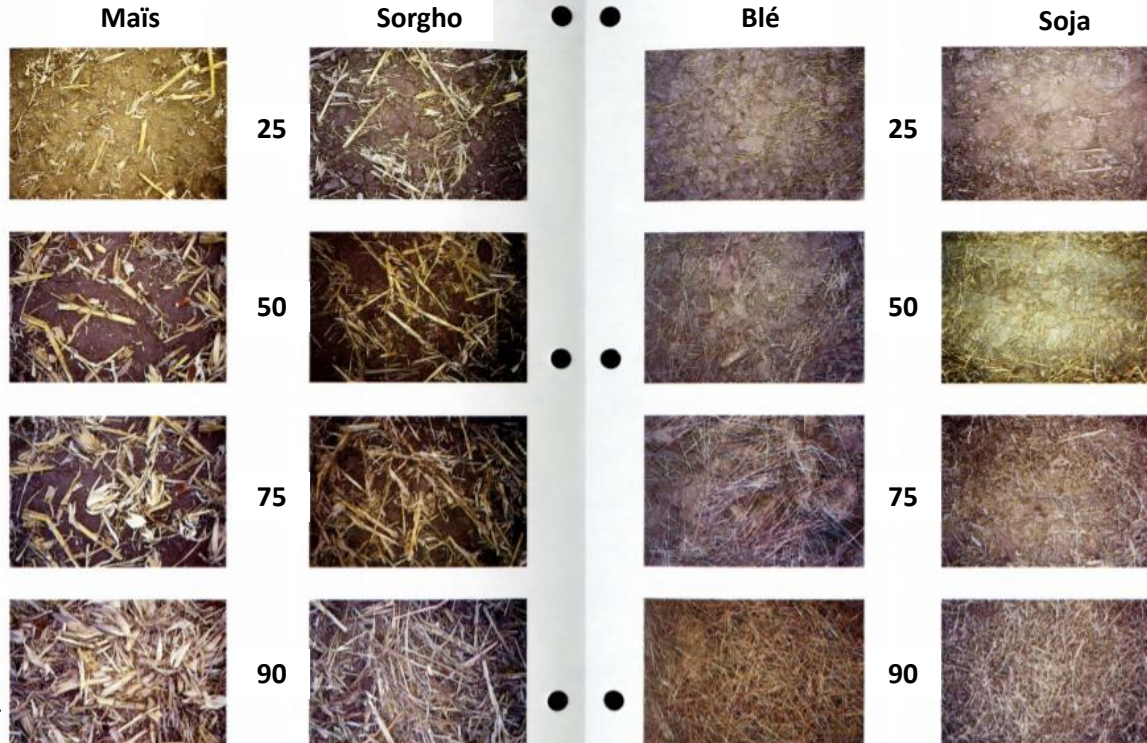
(Gebhardt et al., 1985)

Des systèmes agroécologiques mieux adaptés aux effets du CC ?



LEVIER 1 : réduire l'énergie cinétique des pluies

Photographs for Estimating Percent Residue Cover



Des systèmes agroécologiques mieux adaptés aux effets du CC ?



LEVIER 1 : réduire l'énergie cinétique des pluies

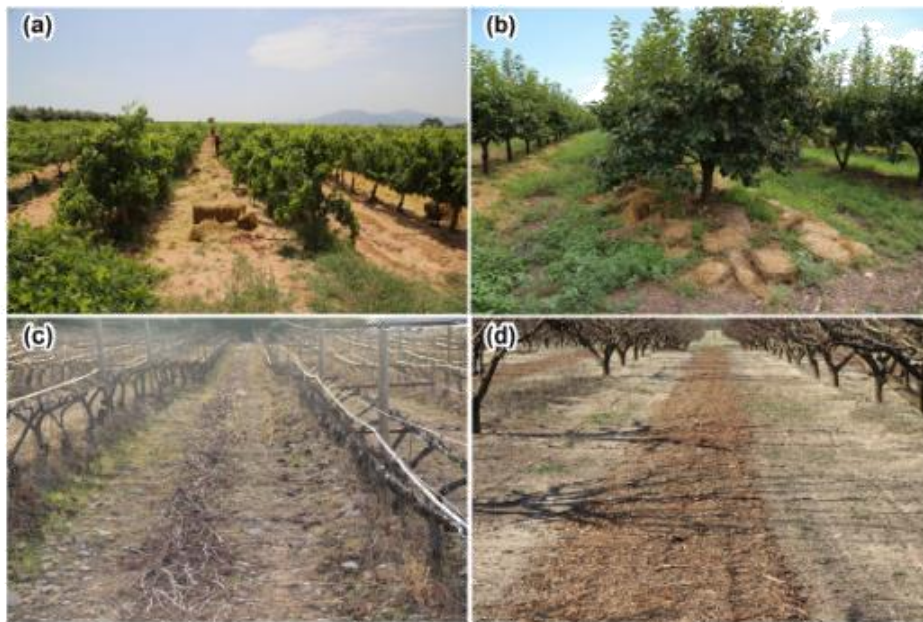


Fig. 1. Straw mulching (a and b) and mulching with prunings (c) applied along vine inter-rows, and mulching with chopped prunings (d) used in an apricot orchard. These pictures were taken at Celler del Roure and Casa Pago Gran in Les Alcusses de Moixent (Province of Valencia, Spain) (photos by A. Cerdà).



Mulching practices for reducing soil water erosion: A review

Maximo Prodromou ^{a,*}, Paolo Yanuli ^a, Antoni Cerdà ^b

^a Department of Land Use, Urban and Environmental Sciences, University of Valencia, Spain; ^b Via de l'Orto, s/n, 46100 Sagunto, Val. Spain

Table 4

Relative percentage changes in terms of the soil erosion rate (ER) induced by the mulching (M) application with respect to control (C) plots, as computed for the runoff plot measurement method (RP).

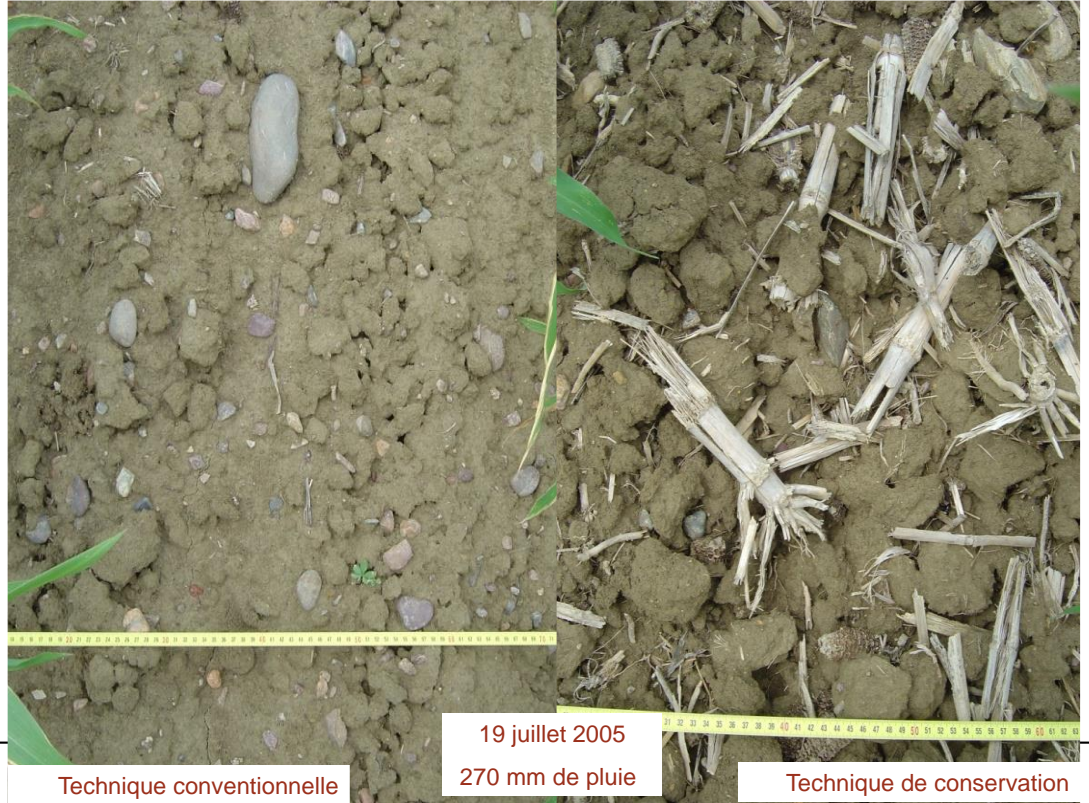
References	ER (Mg ha ⁻¹ yr ⁻¹)		Reduction (%)
	C	M	
Bekele and Thomas (1992)	203.50	178.50	-12.3
	-	161.50	-20.6
	-	149.50	-26.5
Albaladejo Montoro et al. (2000)	1.70	0.09	-94.8
	0.83	0.46	-44.6
	4.17	0.90	-78.4
	7.50	1.37	-81.7
	0.94	0.77	-18.2
Liu et al. (2012)	1.02	0.80	-21.7
	2.04	0.22	-89.2
	5.40	0.50	-90.7
Fernández and Vega (2014)	-	0.70	-87.0
	8.48	0.63	-92.6
Prats et al. (2014)	124.30	7.86	-93.7
	131.60	7.55	-93.9
Mwango et al. (2016)	183.00	5.08	-96.1
	75.60	5.31	-96.0
-	-	19.22	-89.5
-	-	19.50	-89.4
-	-	7.57	-90.0
-	-	8.10	-89.3

Des systèmes agroécologiques mieux adaptés aux effets du CC ?



➤ **LEVIER 2 : stabiliser** les agrégats des sols = accroître les teneurs en carbone des sols !

©Ferrié, CA81





➤ **LEVIER 2 : stabiliser** les agrégats des sols = accroître les teneurs en carbone des sols !

▶ **sur des sols initialement pauvres :**

- Augmentation des teneurs en C de 60 à 75 % en surface
- Stock global de C accru sur 0-60 cm (maximum +30 %)

▶ **sur des sols riches :**

- Pas de modification

▶ **sur des sols peu contrastés au niveau des pratiques**

- Pas de modification

Dpt	Site	t C / ha
32	AC (20 ans)	≈ 70
	Labour	≈ 50
64	AC (10 ans)	≈ 116
	Labour	≈ 113
81	AC (8 ans)	≈ 65
	Labour	≈ 65



Des systèmes agroécologiques mieux adaptés aux effets du CC ?



LEVIER 3 : accroître les capacités d'infiltration



Forte dynamique temporelle

(Sauer et al. 1990 ; Green et al., 2003 ; Stange et Horn, 2005 ; Strudley et al., 2008)

Densité apparente en labour

$M L^{-3}$
/
 $L T^{-1}$

Peu prise en compte dans modèles
(Angulo-Jaramillo et al., 1997 ; Strudley et al., 2008)

Dynamique en ACS

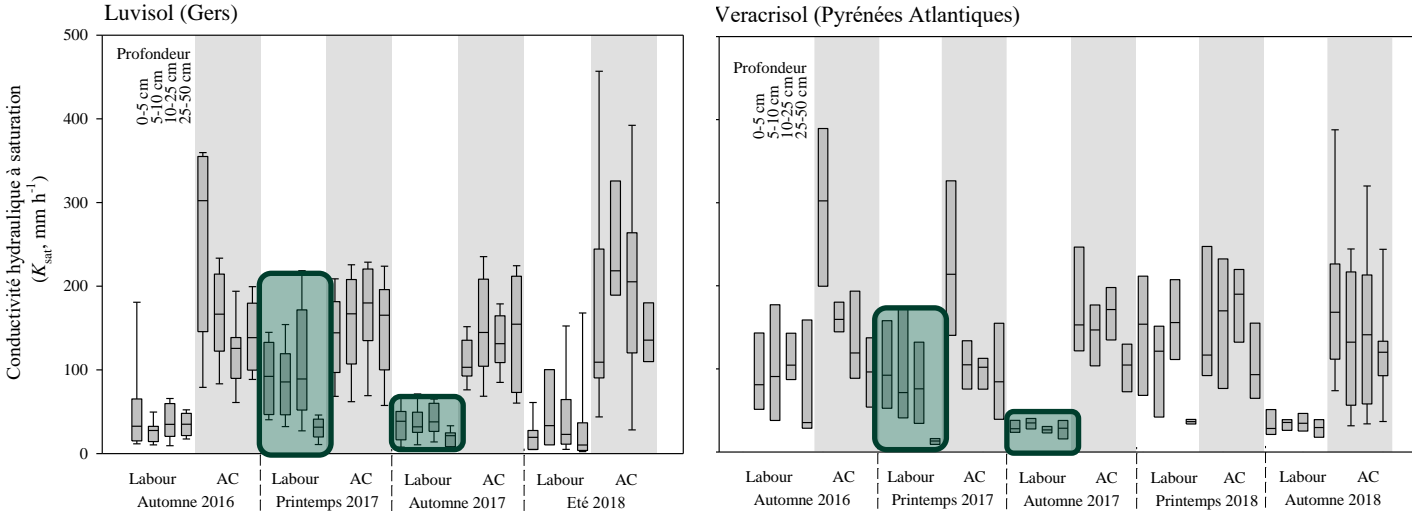
Conductivité hydraulique (à saturation) en labour

W_{sol} primaire

Temps / Cumul de pluies / ...



LEVIER 3 : accroître les capacités d'infiltration



Des systèmes agroécologiques mieux adaptés aux effets du CC ?



LEVIER 3 : accroître les capacités d'**infiltration**

- Augmentation de la conductivité à saturation en AC sur les 3 sites « couple »

AC (20 ans)	160 mm h ⁻¹
Labour	50 mm h ⁻¹

AC (10 ans)	150 mm h ⁻¹
Labour	70 mm h ⁻¹

AC (8 ans)	100 mm h ⁻¹
Labour	70 mm h ⁻¹

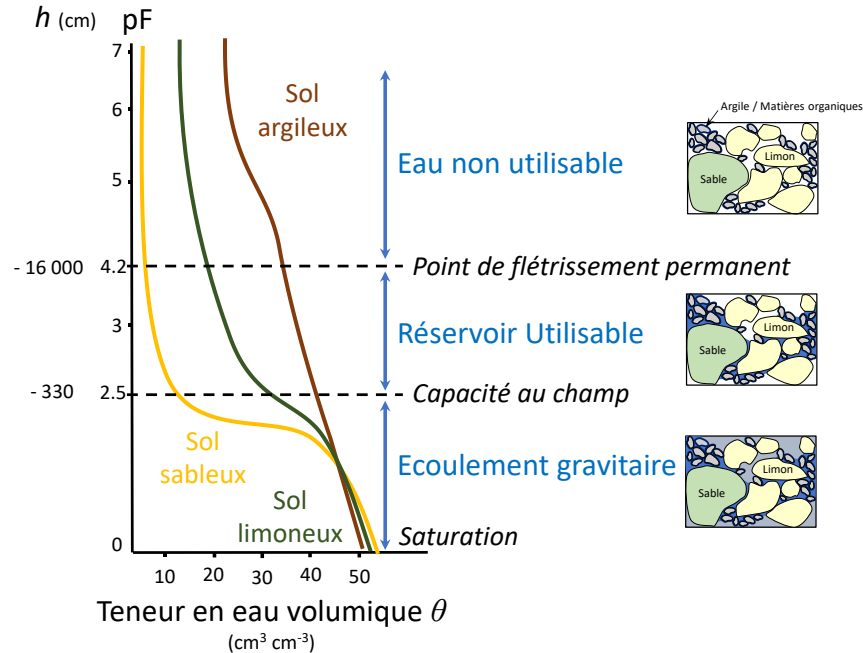
- Amélioration de la stabilité temporelle au cours d'une saison culturale en AC





LEVIER 9 : améliorer la rétention en eau des sols

Qu'est que le Réservoir Utilisable (RU) d'un sol ?





0-30 cm : horizon
« travaillé »

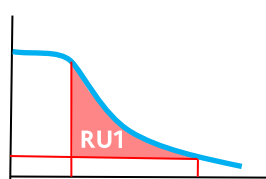
30-50 cm : Bt1

50-65 cm : Bt2

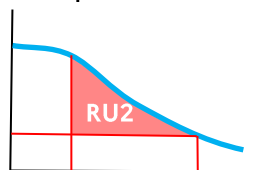
65-110 cm : C1

>110 cm : C2

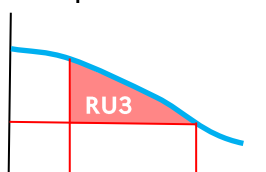
Teneur en eau Teneur en eau Teneur en eau Teneur en eau



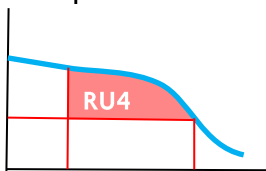
Disponibilité de l'eau



Disponibilité de l'eau



Disponibilité de l'eau



Disponibilité de l'eau

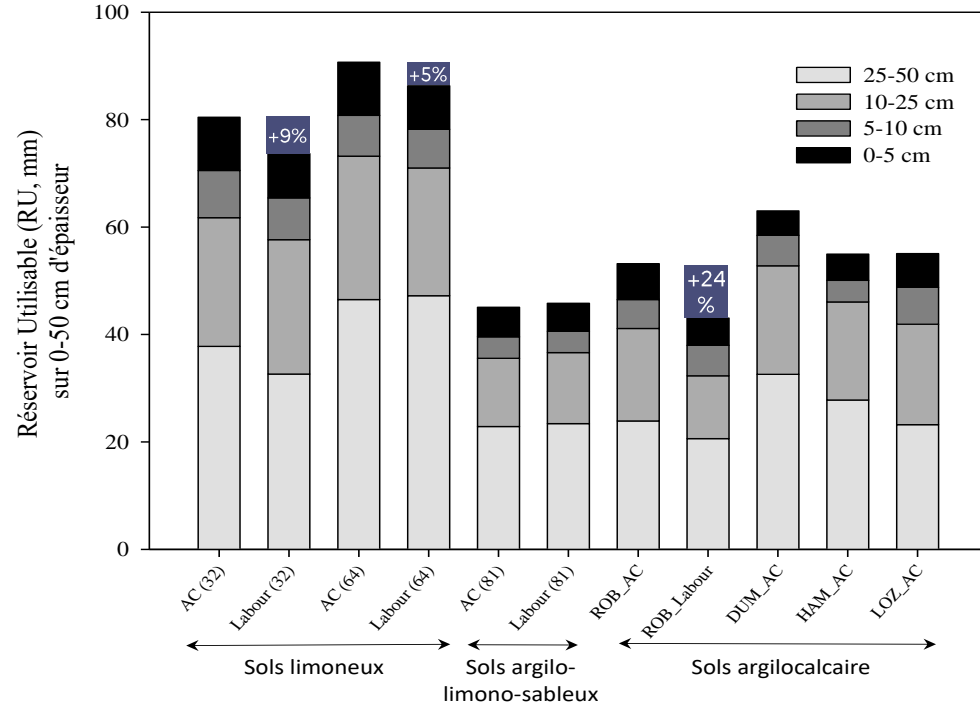
C2 : non exploré par les racines...





LEVIER 9 : améliorer la rétention en eau des sols

- ▶ Effet du sol est dominant
- ▶ Augmentation de la taille du RU de 10 à 15 % sur les horizons de surface (0-10 cm) en AC
- ▶ Effet des pratiques sur RU en profondeur dépend des sols



Des systèmes agroécologiques mieux adaptés aux effets du CC ?



LEVIER 9 : améliorer la rétention en eau des sols et la circulation de l'eau dans les sols



Des systèmes agroécologiques mieux adaptés aux effets du CC ?



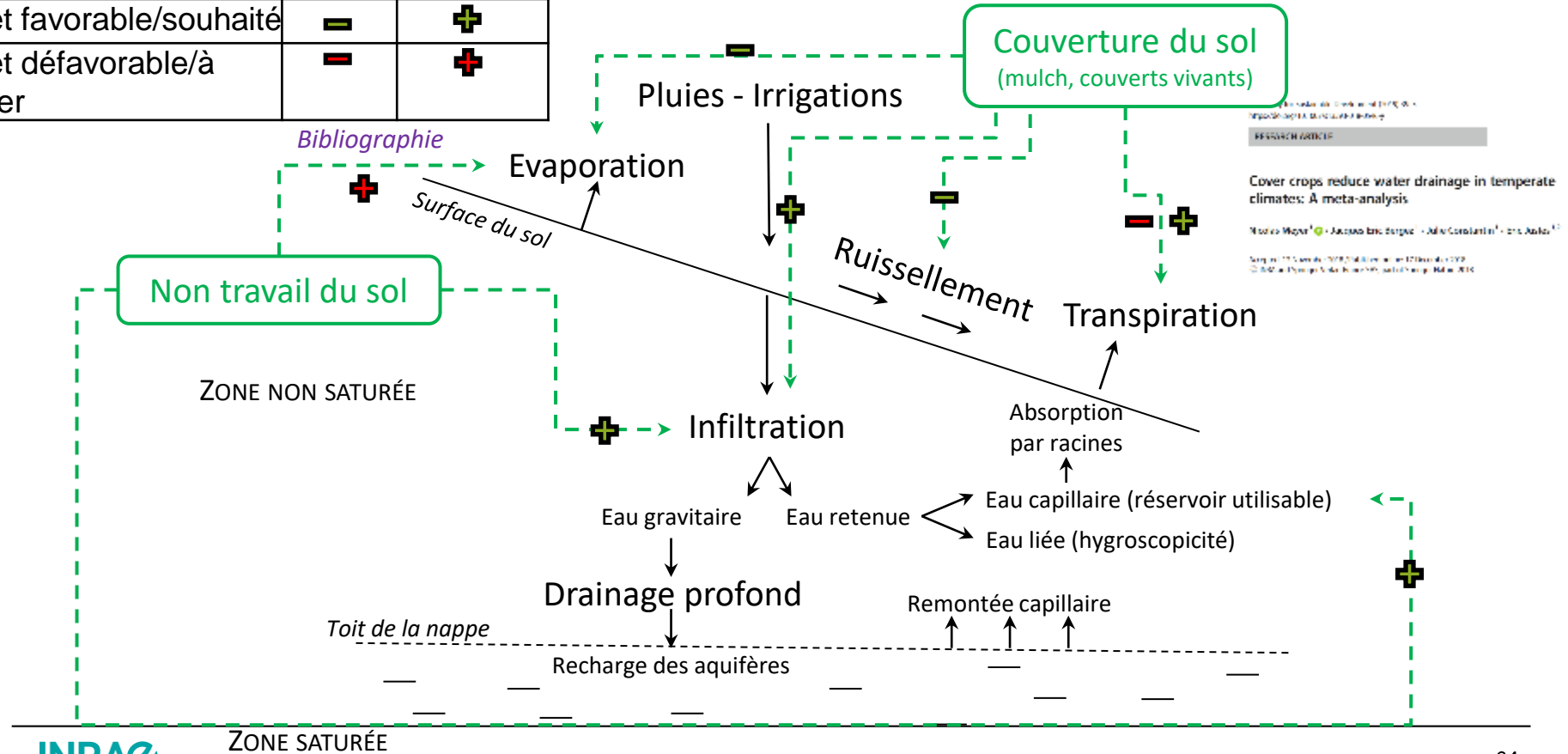
LEVIER 9 : améliorer la rétention en eau des sols et la circulation de l'eau dans les sols



Sens de variation	
Réduit	Favorise
Effet favorable/souhaité	+
Effet défavorable/à éviter	-

Effet favorable/souhaité	+	+
Effet défavorable/à éviter	-	+

Bibliographie

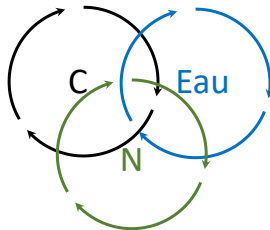


Les systèmes agroécologiques sont-ils adaptés au changement climatique ?

➤ **Partiellement** : l'adaptation aux effets du CC passe par une **combinaison de techniques** complexes à maîtriser, impliquant une **adaptation** (contextualisation) parfois importante (technique → pratique) et le plus souvent une **reconception des systèmes** (de culture, voire de production)

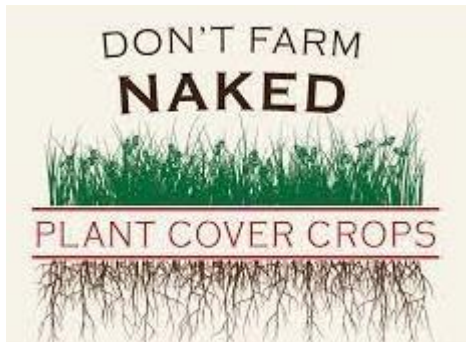
➤ Mais les leviers et voies envisageables sont – dans les grandes lignes - identifiées

➤ La contribution potentielle de l'agriculture à **l'atténuation du CC** est souvent mise en avant : elle passe par un **accroissement des quantités de matières organiques** des sols afin d'améliorer le couplage des cycles du carbone, de l'azote et de l'eau



ce qui peut entraîner des tensions sur l'eau et de probables arbitrages

Merci pour votre attention !



lionel.alletto@inrae.fr
 [@LionelAlletto](https://twitter.com/LionelAlletto)