

8

décembre
2022

Colloque AgroRéseau 64



➤ Vers des systèmes agroécologiques mieux adaptés
aux effets du changement climatique :
exemple de l'agriculture de conservation

Lionel Alletto

UMR Agroécologie, Innovations, Territoires

lionel.alletto@inrae.fr



INRAE



➤ Qu'est-ce que l'Agroécologie ?

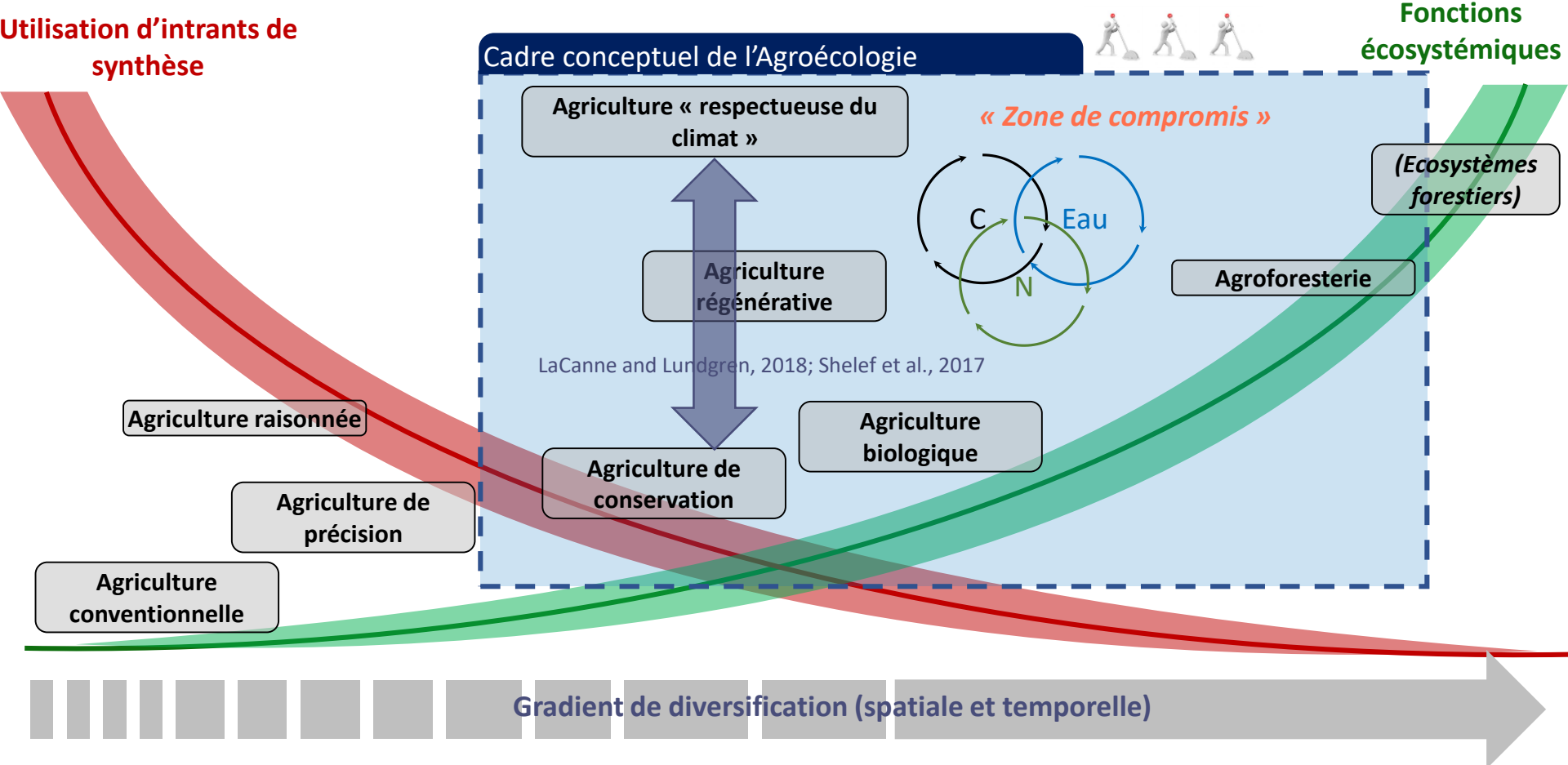
- **Ensemble disciplinaire** alimenté par le croisement des sciences agronomiques, de l'écologie appliquée aux agroécosystèmes et des sciences humaines et sociales (Tomich et al., 2011)
- Alternative à une agriculture intensive basée sur l'artificialisation des cultures par l'usage d'intrants de synthèse (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



INRAE

Vers des systèmes agroécologiques mieux adaptés aux effets du changement climatique : exemple de l'agriculture de conservation

8-12-2022, Lionel Alletto

➤ Illustrations de quelques effets du CC

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

Augmentation des températures

+ 2 °C



-35% à -60%



Manteau neigeux

+10% à +30%



Evapotranspiration

-20% à -40%



Baisse des débits

Phénomènes extrêmes plus fréquents



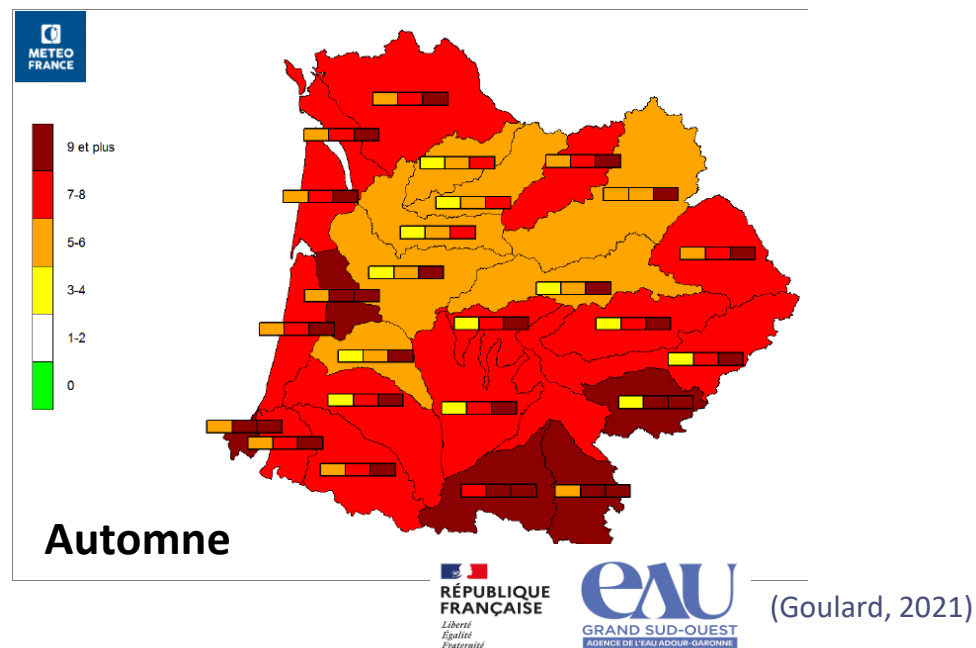
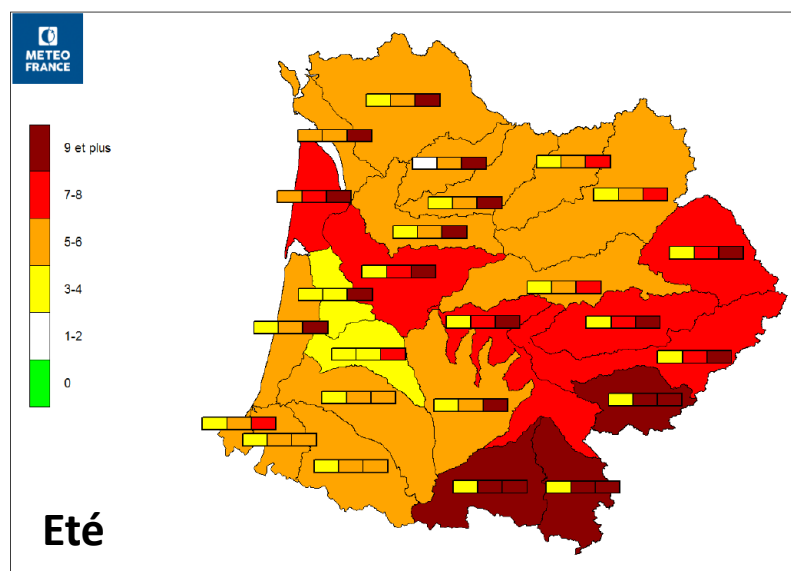
Etiage plus précoce, plus sévère et plus long

Baisse de la recharge des nappes

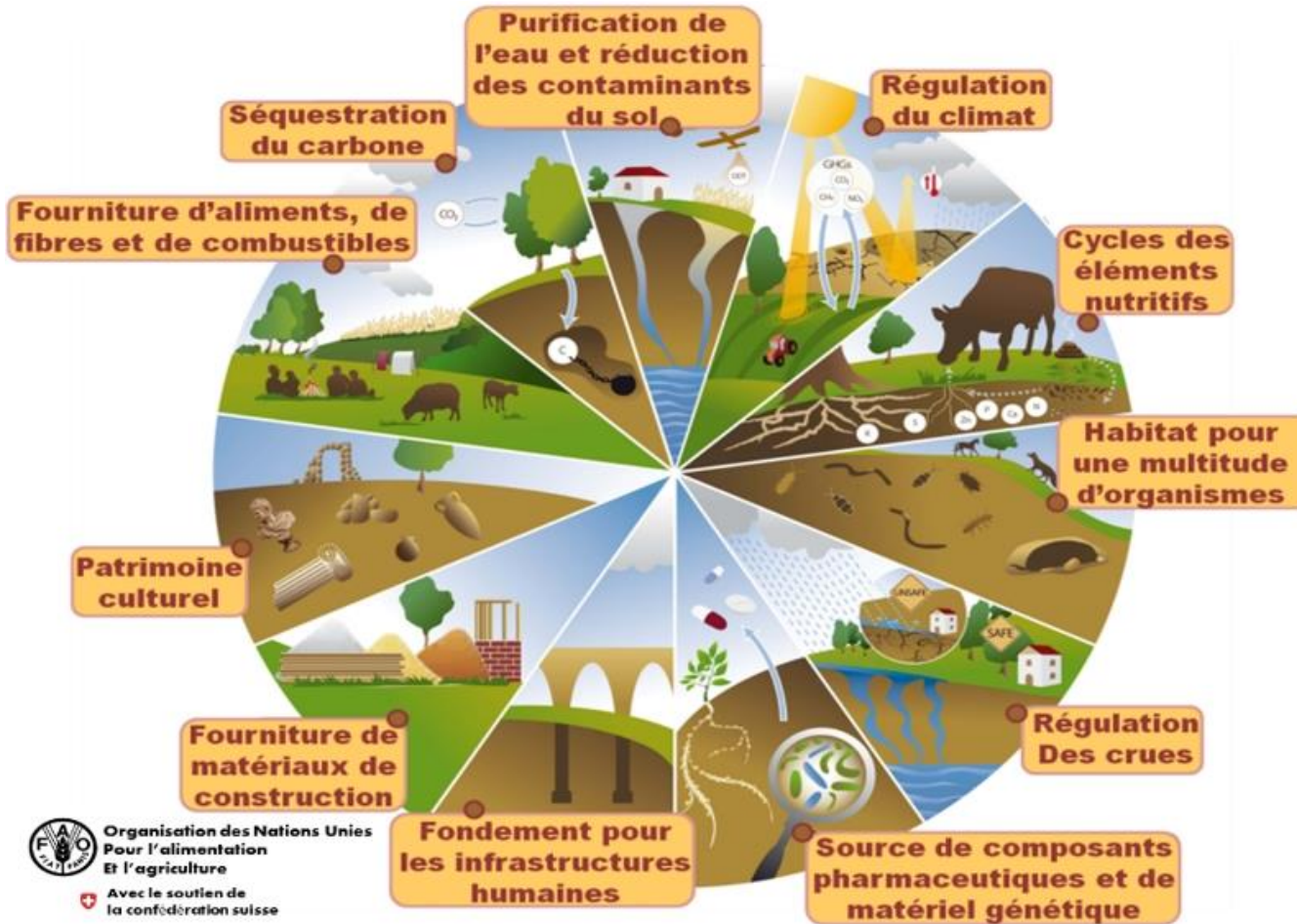
➤ Illustrations de quelques effets du CC

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

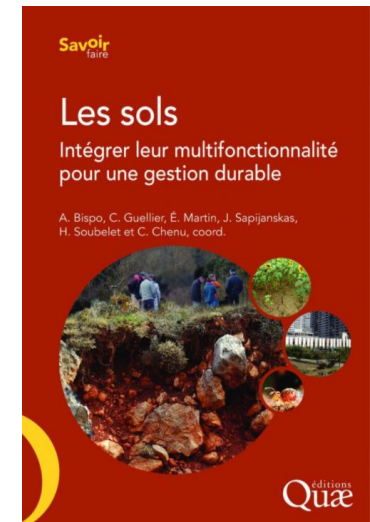
Occurrence de la sécheresse décennale en 2050



➤ Le Sol, une multifonctionnalité pour répondre aux enjeux globaux



Pour en savoir plus :



INRAE

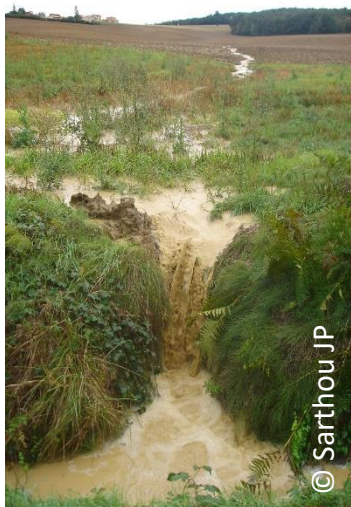
Vers des systèmes agroécologiques mieux adaptés aux effets du changement climatique : exemple de l'agriculture de conservation

8-12-2022, Lionel Alletto

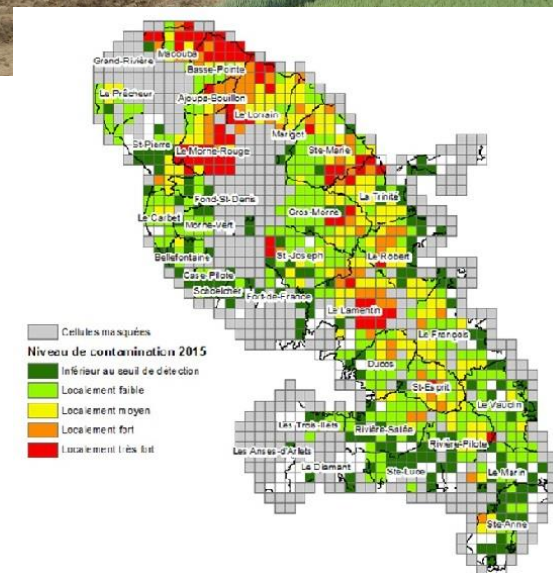
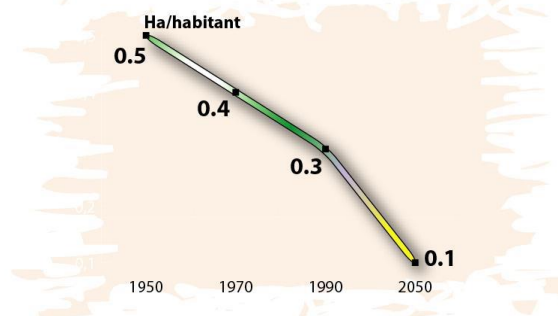
➤ Le Sol, épiderme vivant et fragile de la Terre

Quelques causes de dégradation...

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



© Sarthou JP



(DDAF Martinique, 2019)

INRAE

Vers des systèmes agroécologiques mieux adaptés aux effets du changement climatique : exemple de l'agriculture de conservation

8-12-2022, Lionel Alletto

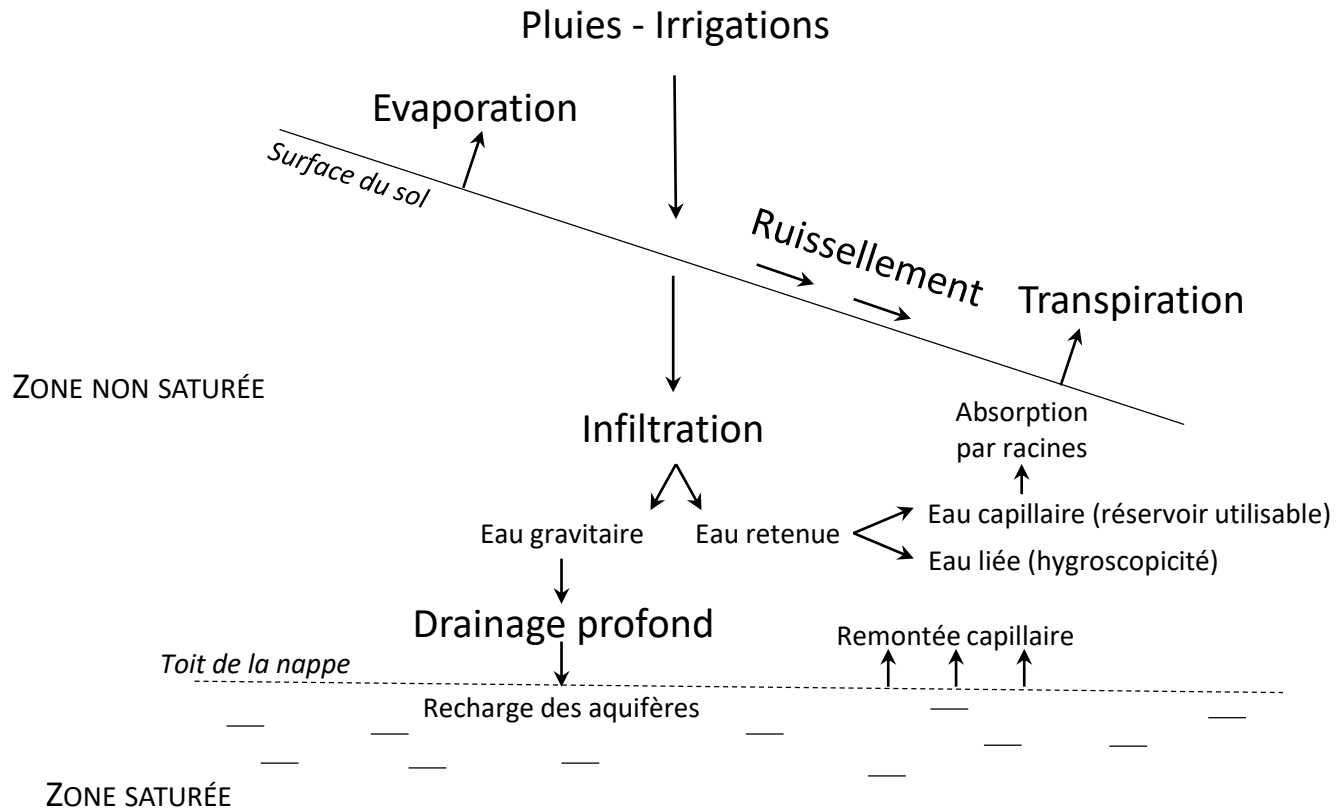
➤ Le Sol, épiderme vivant et fragile de la Terre



➤ 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)
- ▶ 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)
- ▶ Estimation des coûts associés : difficiles à obtenir...
 - dans le Gers : ≈ 5 M€ suite aux pluies de mai-juin 2018
 - en moyenne, le curage des fossés & nettoyage des routes sont évalués à 12-20 €/personne de la zone concernée
 - coût des équipements de traitement de la turbidité : 1,3-2,2 M€ pour traiter 180 m³/h
- ▶ Estimation des coûts globaux : **60-70 € / personne / an**
(420 Milliards €/an !!)

➤ Systèmes agroécologiques et dynamique de l'eau



➤ Des systèmes agroécologiques mieux adaptés aux effets du CC ?

➤ Adaptation face aux événements climatiques (pluvieux) extrêmes

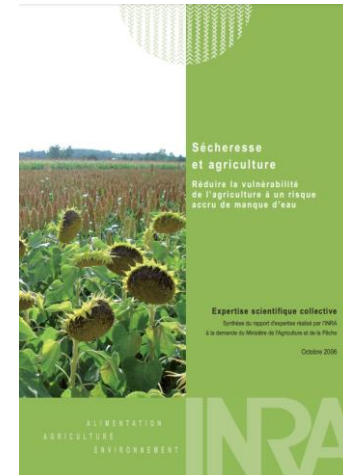
- LEVIER 1 : réduire l'énergie cinétique des pluies
- LEVIER 2 : stabiliser les agrégats des sols
- LEVIER 3 : accroître les capacités d'infiltration
- LEVIER 4 : recréer des ruptures de pente, réduire la longueur des parcelles
- LEVIER 5 : maintenir / ré-introduire des infrastructures agroécologiques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



➤ Des systèmes agroécologiques mieux adaptés aux effets du CC ?

➤ Adaptation face aux sécheresses (et températures extrêmes)

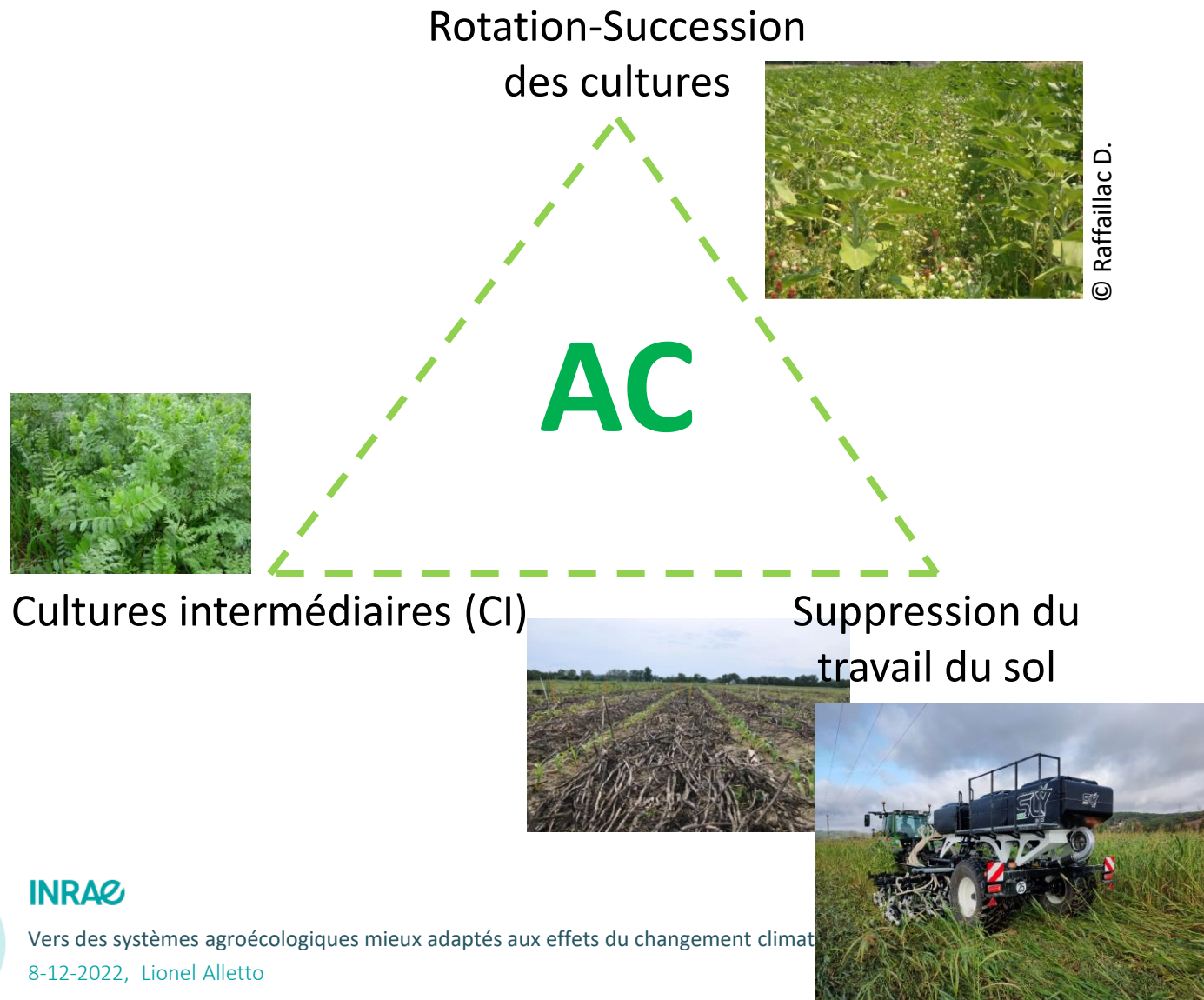
- **LEVIER 6** : reconcevoir des systèmes de culture plus diversifiés, avec des cultures moins consommatrices / plus efficaces dans l'utilisation de l'eau (voie génétique)
- **LEVIER 7** : adapter les itinéraires techniques (ex. stratégie d'esquive)
- **LEVIER 8** : maintenir les sols couverts (par un végétal vivant ou un mulch)
- **LEVIER 9** : améliorer la rétention en eau des sols
- **LEVIER 10** : améliorer l'alimentation hydrominérale des plantes



(Amigues, 2006)

➤ Des systèmes agroécologiques mieux adaptés aux effets du CC ?

Quelques effets de systèmes en Agriculture de Conservation (AC)



INRAE

Vers des systèmes agroécologiques mieux adaptés aux effets du changement climatique

8-12-2022, Lionel Alletto

➤ 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

▶ **Présence d'un mulch**



➤ Des systèmes agroécologiques mieux adaptés aux effets du CC ?



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

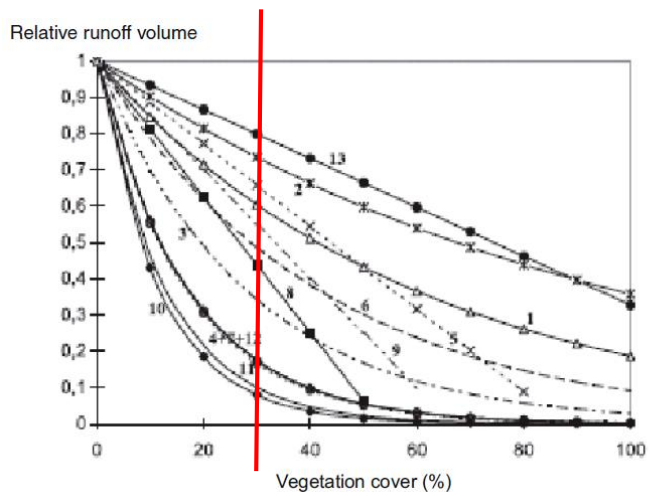


Figure 1. Relationship between plant cover and relative runoff. 1, 2, Packer (1951); 3, 4, Marston (1952); 5, Branson and Owen (1970); 6, Elwell and Stoking (1976); 7, Lang (1979); 8, 9, Kainz (1989); 10, 11, Francis and Thornes (1990); 12, Lang (1990); 13, Greene et al. (1994).

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)



INRAE

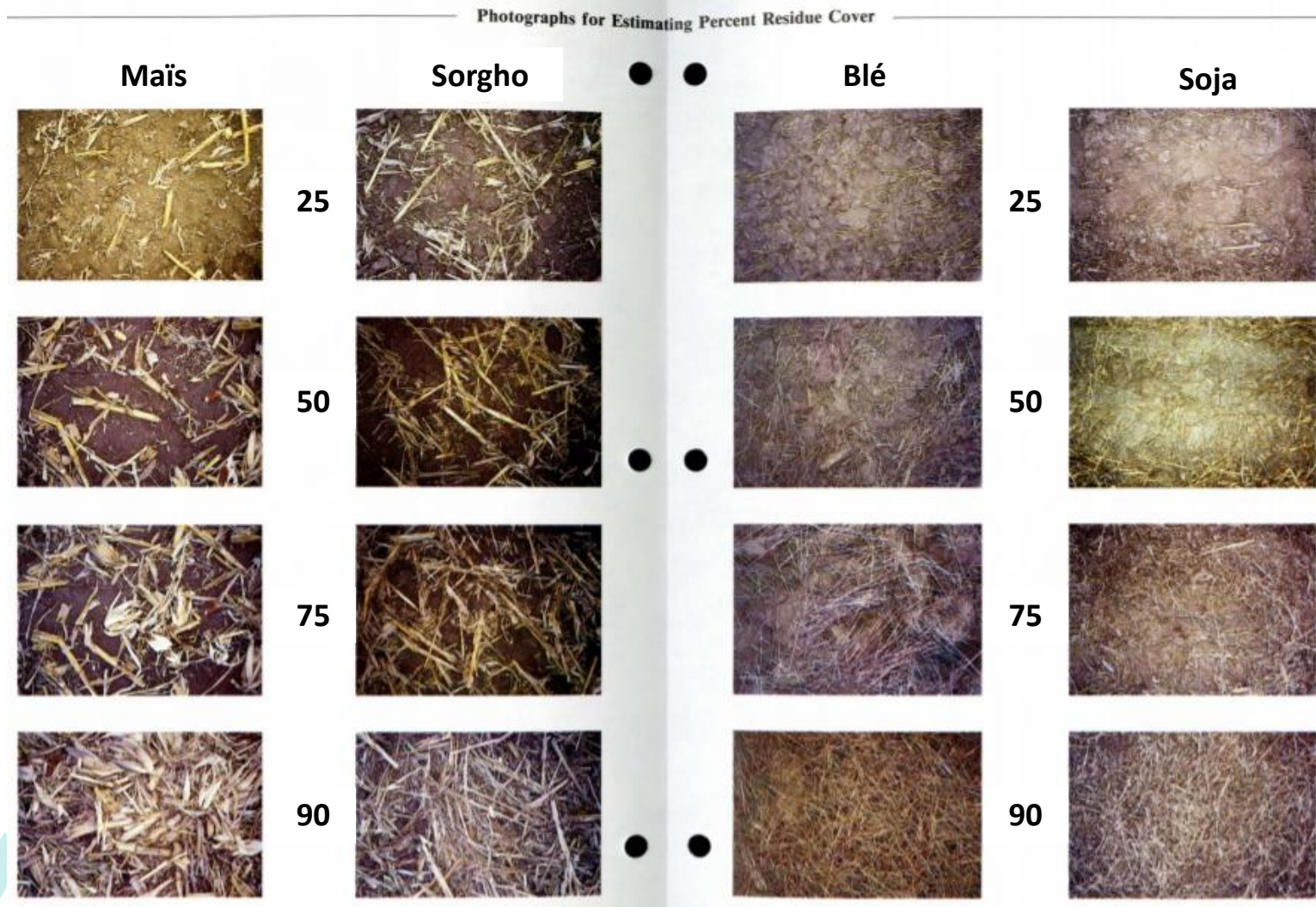
Vers des systèmes agroécologiques mieux adaptés aux effets du changement climatique : exemple de l'agriculture de conservation

8-12-2022, Lionel Alletto

➤ Des systèmes agroécologiques mieux adaptés aux effets du CC ?



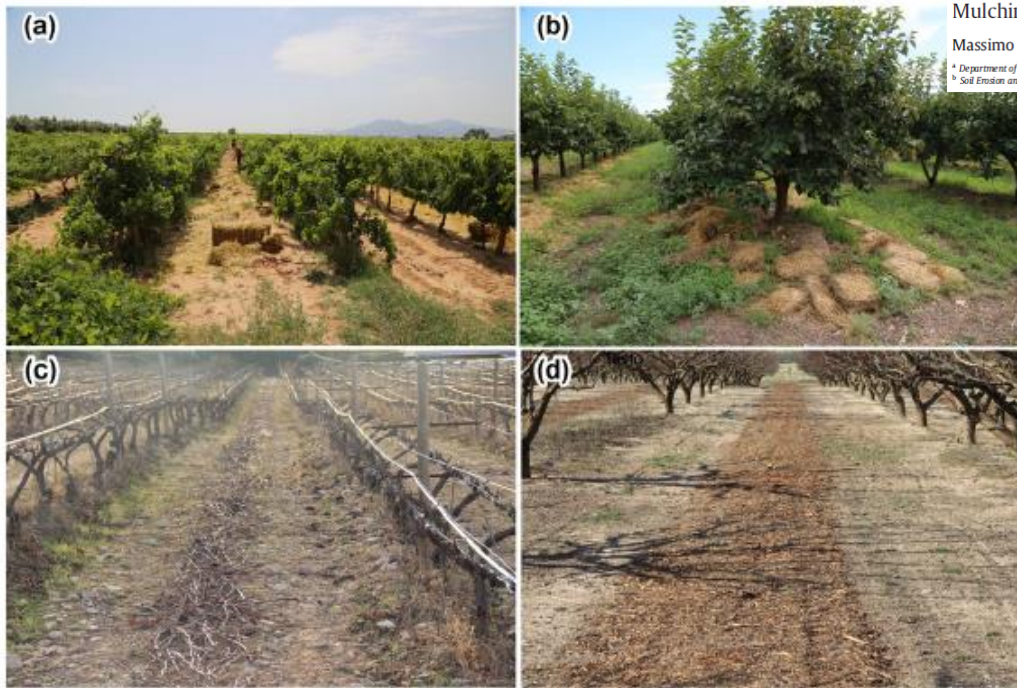
➤ **LEVIER 1** : réduire l'énergie cinétique des pluies



➤ Des systèmes agroécologiques mieux adaptés aux effets du CC ?



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



Mulching practices for reducing soil water erosion: A review

Massimo Prosdocimi ^{a,*}, Paolo Tarolli ^a, Artemi Cerdà ^b

^a Department of Land, Environment, Agriculture and Forestry, University of Padova, Agripolis, Viale dell'Università 16, 35020 Legnaro, PD, Italy
^b Soil Erosion and Degradation Research Group, Department of Geography, University of Valencia, Blasco Ibáñez, 28, 46100 Valencia, 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	
	Barton et al. (2004)	0.83	0.46	-44.6
		4.17	0.90	-78.4
Liu et al. (2012)	7.50	1.37	-81.7	
	0.94	0.77	-18.2	
	1.02	0.80	-21.7	
Díaz-Raviña et al. (2012)	2.04	0.22	-89.2	
	Fernández and Vega (2014)	5.40	0.50	-90.7
-		0.70	-87.0	
Prats et al. (2014)	8.48	0.63	-92.6	
	Mwango et al. (2016)	124.30	7.86	-93.7
131.60		7.55	-93.9	
-	183.60	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	



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).



INRAE

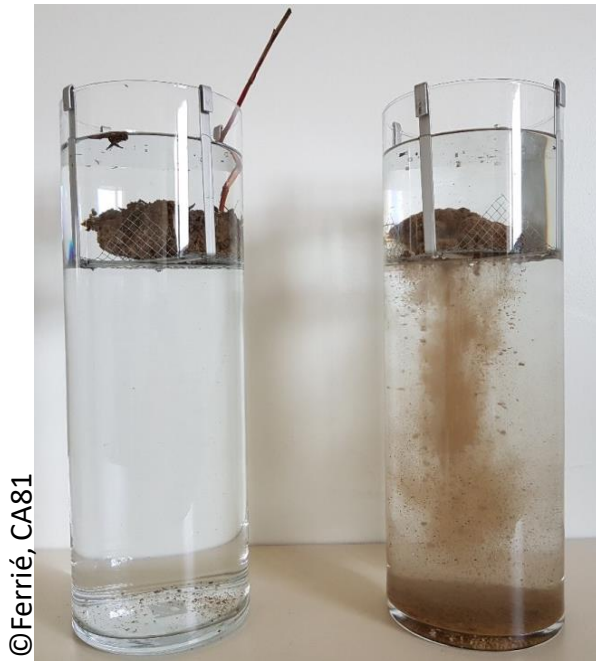
Vers des systèmes agroécologiques mieux adaptés aux effets du changement climatique : exemple de l'agriculture de conservation

8-12-2022, Lionel Alletto

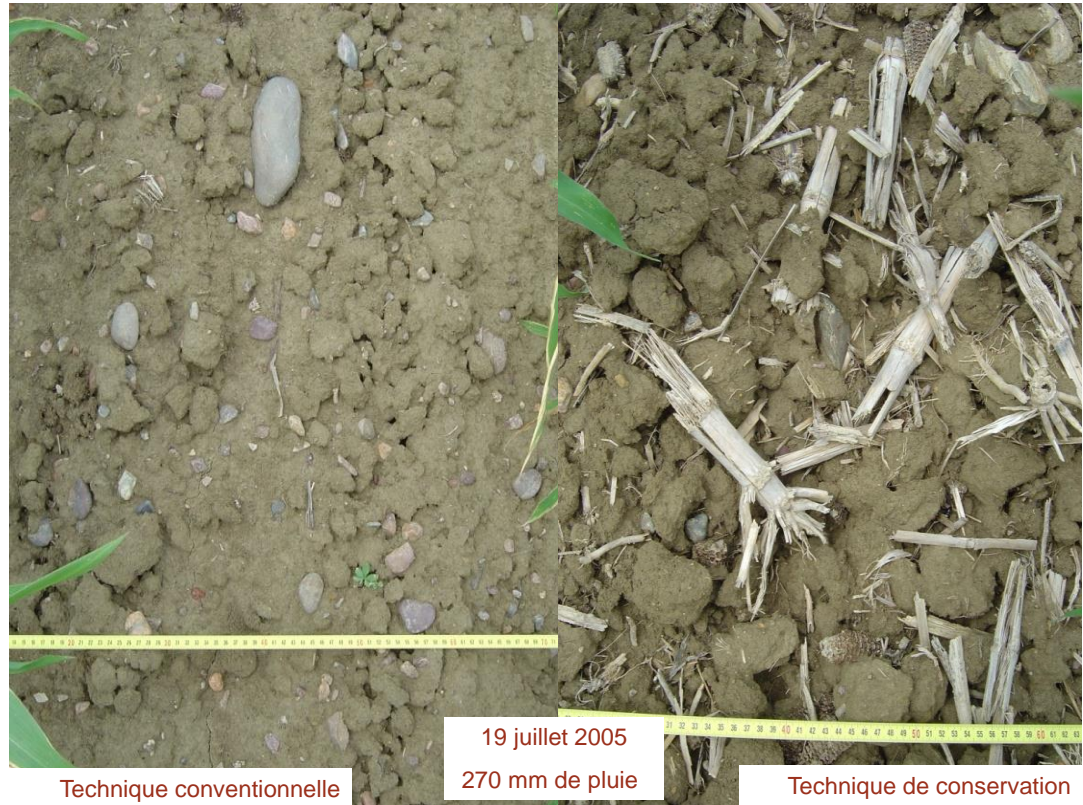
➤ Des systèmes agroécologiques mieux adaptés aux effets du CC ?



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



© Ferrié, CA81



Technique conventionnelle

19 juillet 2005
270 mm de pluie

Technique de conservation



INRAE

➤ Des systèmes agroécologiques mieux adaptés aux effets du CC ?



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



▶ sur des sols initialement pauvres :

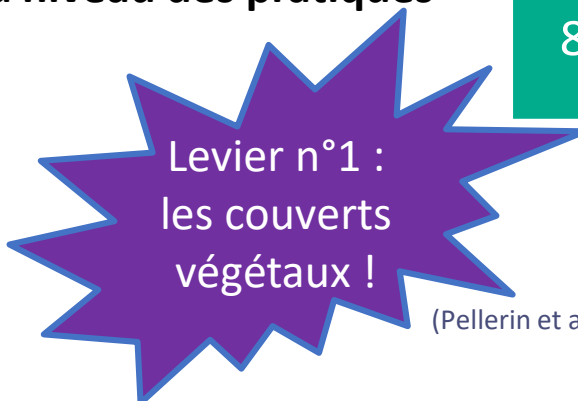
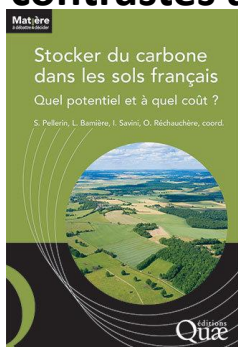
- Augmentation des teneurs en C de 60 à 75 % en surface
- Stock global de C accru sur 0-60 cm (maximum +30 %)

▶ sur des sols riches :

- Pas de modification

▶ sur des sols peu contrastés au niveau des pratiques

- Pas de modification



(Pellerin et al., 2019)

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 ?

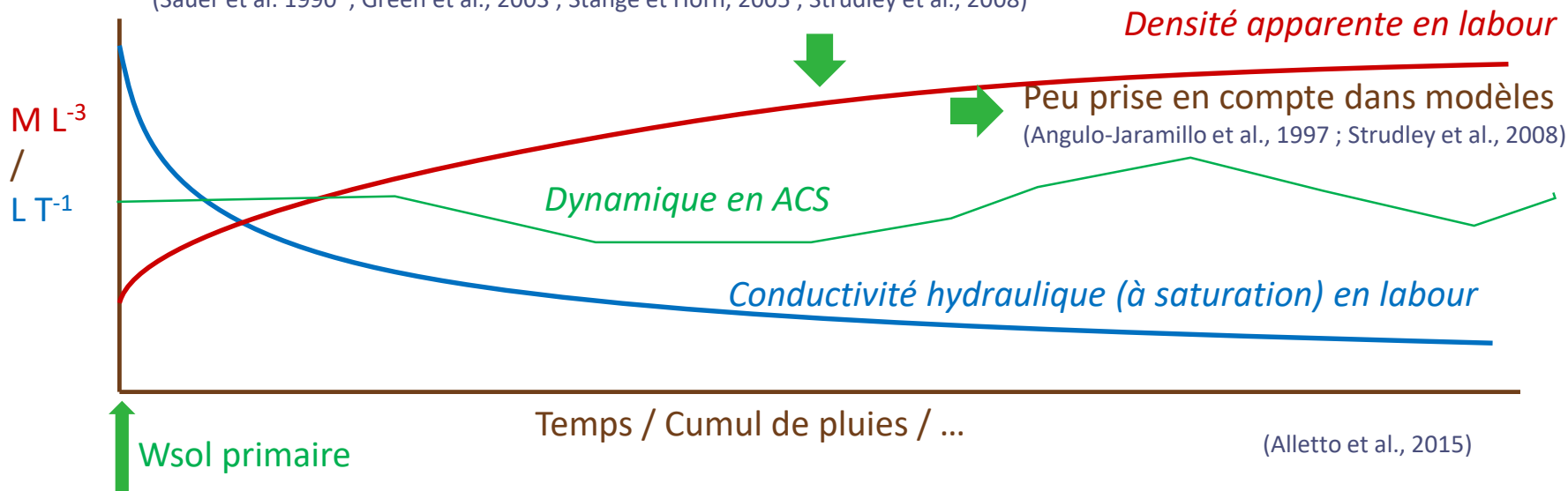


➤ **LEVIER 3** : accroître les capacités d'**infiltration**



Forte dynamique temporelle

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



➤ Des systèmes agroécologiques mieux adaptés aux effets du CC ?



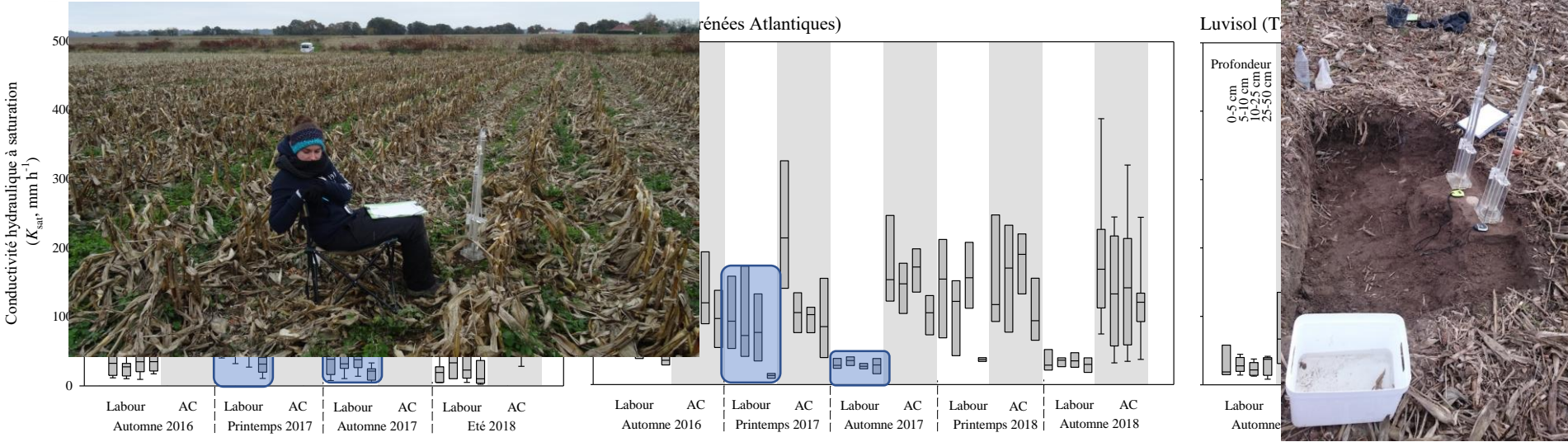
➤ LEVIER 3 : accroître les capacités d'infiltration



Physical properties of soils under conservation agriculture: A multi-site experiment on five soil types in south-western France

Lionel Alletto^{1,*}, Stéphanie Cuffé², Julie Bréchemier³, Maylis Lachaussée⁴, Damien Derrouch⁵, Anthony Page⁶, Benoît Glezet⁷, Pierre Perrin⁸, Vincent Bastillo^{9,†}

¹ Université de Toulouse, INRAE, UMRI AGIR, P-31126 Castelnau-Toulousain, France
² Université de Toulouse, Centre d'Etudes Spatiales d'Hydrologie (CESHO), CNRS CNRS INRAE IRD UPS, 47 Avenue des Gaudou, Toulouse 31000, France
³ IRTV Institut National de la Recherche Agronomique, 43100, France



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

AC (20 ans)	160 mm h ⁻¹	AC (10 ans)	150 mm h ⁻¹	AC (8 ans)	100 mm h ⁻¹
Labour	50 mm h ⁻¹	Labour	70 mm h ⁻¹	Labour	70 mm h ⁻¹

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

(Alletto et al., 2023)

INRAE

Vers des systèmes agroécologiques mieux adaptés aux effets du changement climatique : exemple de l'agriculture de conservation

8-12-2022, Lionel Alletto

➤ Des systèmes agroécologiques mieux adaptés aux effets du CC ?



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



■ Test **érosion** en conditions contrôlées



- Matière en suspension (MES) en g/L
- Quantité d'eau ruisselée Lr (lame d'eau ruisselée)

- Placette 2.7 m²
- Pluviomètres
- Echantillonnage des eaux de ruissellement

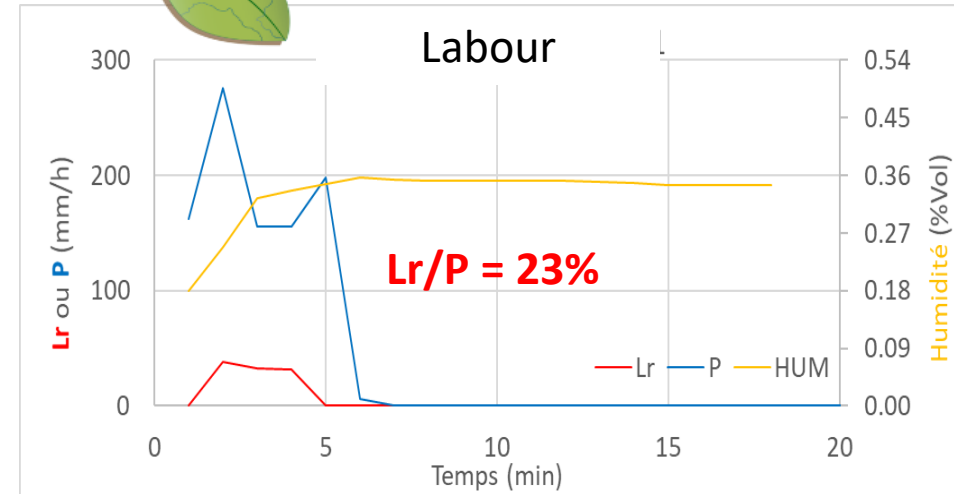
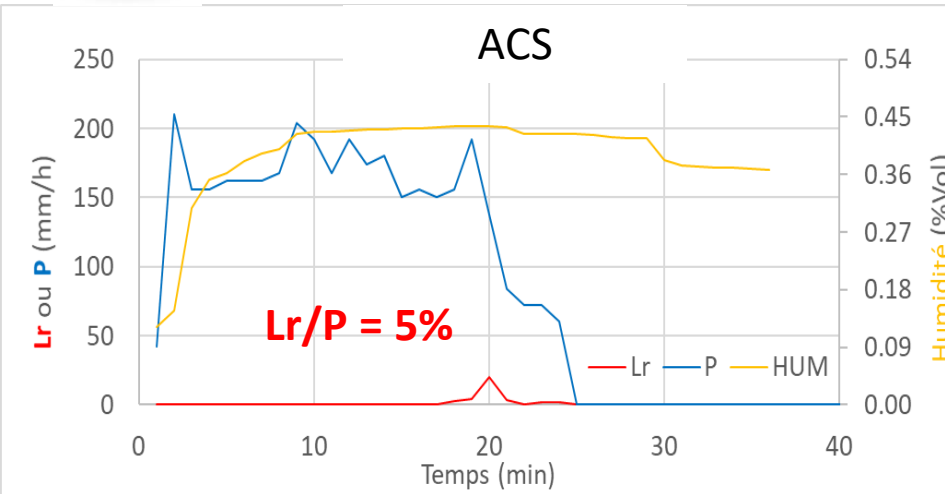


INRAE

➤ Des systèmes agroécologiques mieux adaptés aux effets du CC ?



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



➔ Des difficultés pour se positionner dans les mêmes conditions expérimentales

- ➔ Stabilisation à environ 150-200 mm/h de pluies durant 20 min en ACS alors que sur la parcelle voisine en labour, l'intensité de pluie n'a pas été régulée convenablement et sur une durée équivalente (au final \approx 60 mm de pluie ont été appliqués en ACS contre \approx 28 mm en labour)
- ➔ Pluies ruisselées en ACS \approx 3 mm vs. 6,4 mm en labour



INRAE

Vers des systèmes agroécologiques mieux adaptés aux effets du changement climatique : exemple de l'agriculture de conservation

8-12-2022, Lionel Alletto

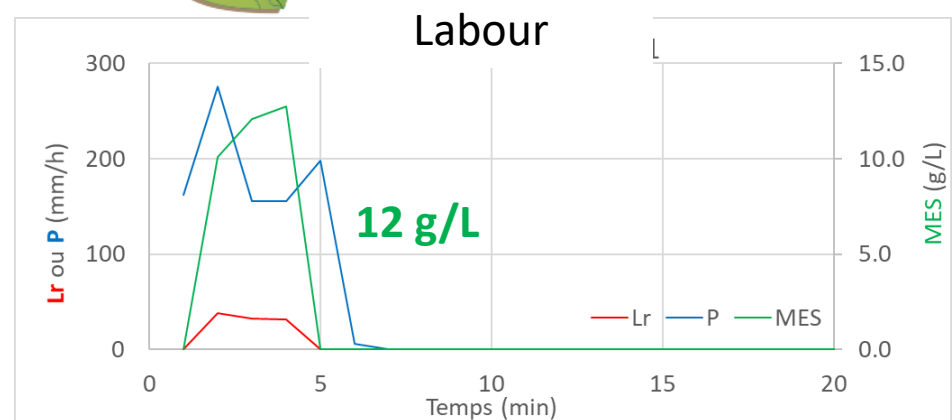
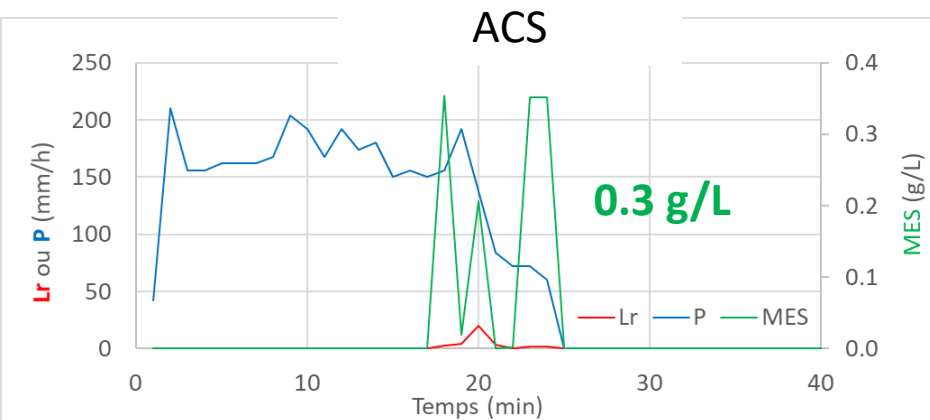


p. 22

➤ Des systèmes agroécologiques mieux adaptés aux effets du CC ?



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



- Une érosion générée très significativement plus faible en ACS
- Il faudrait également tenir compte des écoulements hypodermiques également à l'origine d'une érosion



INRAE

Vers des systèmes agroécologiques mieux adaptés aux effets du changement climatique : exemple de l'agriculture de conservation

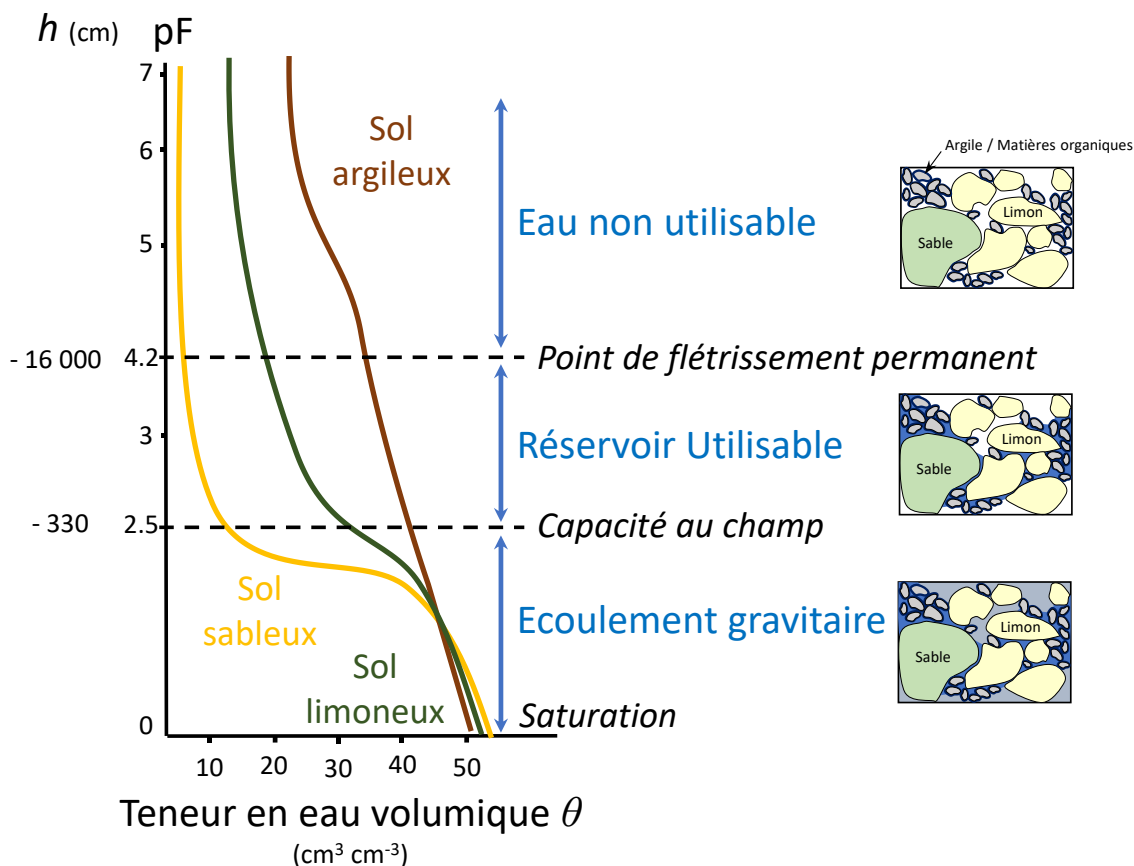
8-12-2022, Lionel Alletto

➤ Des systèmes agroécologiques mieux adaptés aux effets du CC ?



➤ **LEVIER 9** : améliorer la **réten**tion en eau des sols

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





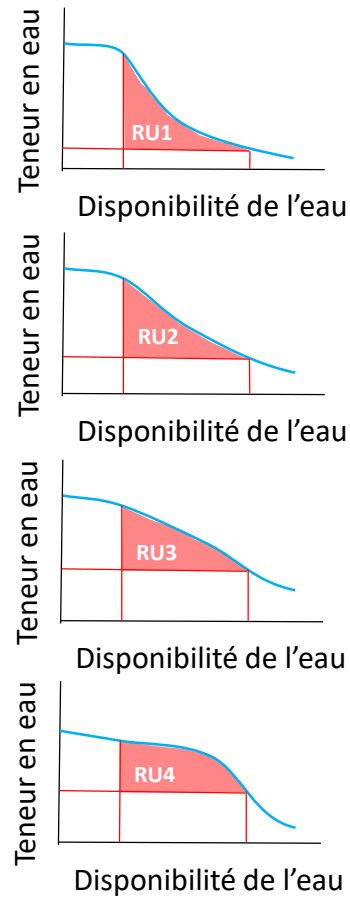
0-30 cm : horizon
« travaillé »

30-50 cm : Bt1

50-65 cm : Bt2

65-110 cm : C1

>110 cm : C2



C2 : non exploré par les racines...

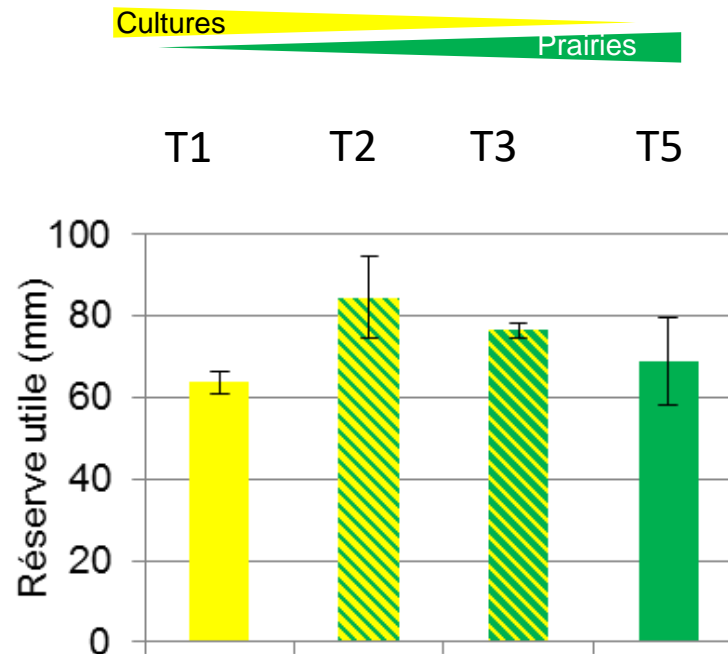
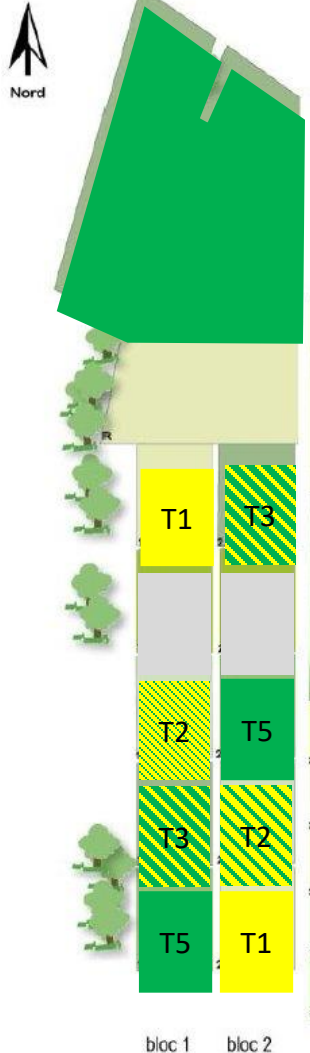




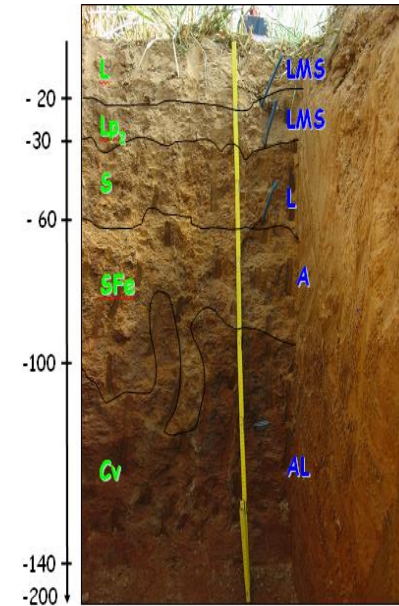
LEVIER 9 : améliorer la **rétenction en eau** des sols

Effet d'une succession prairies/cultures sur le RU

Caractérisation des sols du SOERE de LUSIGNAN



Evolution de la Réserve Utile dans les deux premiers horizons du sol



- Les successions culturales modifient, à *moyen terme*, la réserve en eau utile des sols

➤ Des systèmes agroécologiques mieux adaptés aux effets du CC ?



➤ **LEVIER 9** : améliorer la **rétenction 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



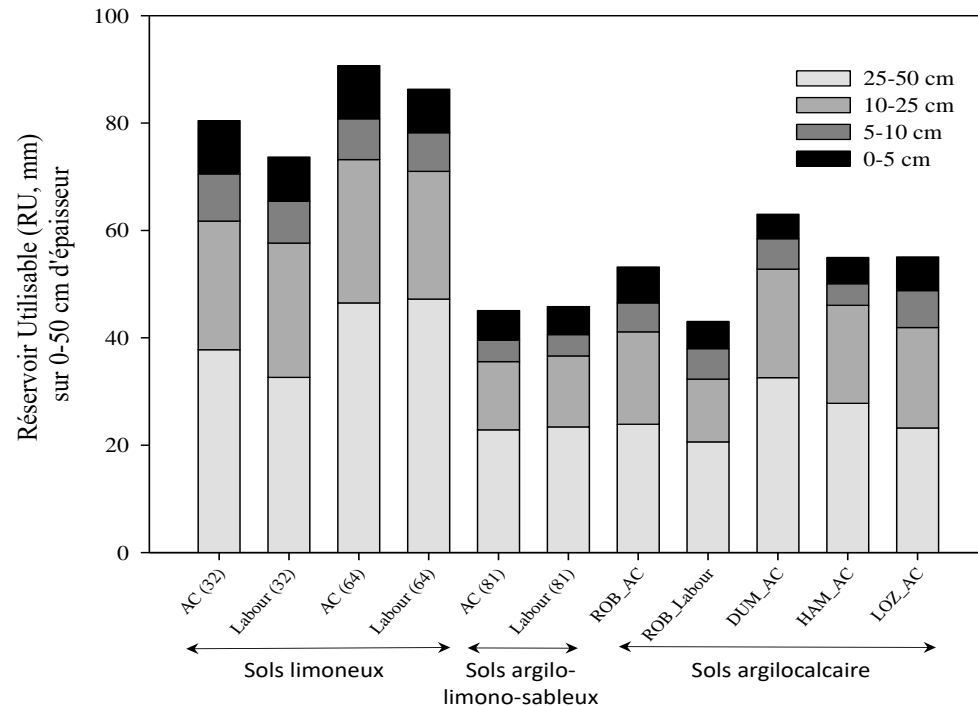
Physical properties of soils under conservation agriculture: A multi-site experiment on five soil types in south-western France

Lionel Alletto^{a,*}, Sixtine Cueff^a, Julie Bréchemier^a, Maylis Lachaussée^a, Damien Derrouch^a, Anthony Page^a, Benoit Gleizes^a, Pierre Perrin^a, Vincent Bustillo^{b,c}

^a Université de Toulouse, INRAE, UMR AGIR, F-31326 Castanet-Tolosan, France

^b Université de Toulouse, Centre d'Etudes Spatiales Biosphère CESBIO, CNRS CNRS INRAE IRD UPS, 41 Allée Jules Guesde, Toulouse 31000, France

^c IUT Paul Sabatier, 24 Rue d'Embaques, Auch 32000, France



INRAE

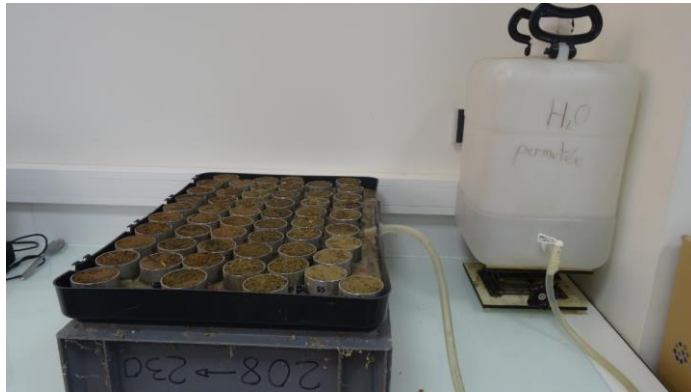
Vers des systèmes agroécologiques mieux adaptés aux effets du changement climatique : exemple de l'agriculture de conservation

8-12-2022, Lionel Alletto

➤ Mesure de la Rétention en eau

- Propriétés physiques :

- mesure de la rétention d'eau



INRAE

Vers des systèmes agroécologiques mieux adaptés aux effets du changement climatique : exemple de l'agriculture de conservation
8-12-2022, Lionel Alletto



Sixtine CUEFF

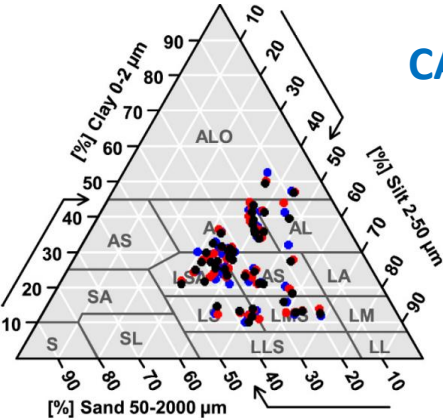


LEVIER 9 : améliorer la rétention en eau des sols



LEVIER 1 : la taille du Réservoir Utilisable des horizons d'un sol

CASDAR TTSI (2009-2012)



Données issues de 61 parcelles réparties entre 19 agriculteurs

► Utilisation de 29 Fonctions de Pédotransfert pour estimer le RU de parcelles en AC



Résultats non satisfaisants

► Nécessité de développer de nouveaux référentiels et fonctions de pédotransfert propres à l'AC pour mieux estimer le RU



Estimation of soil water retention in conservation agriculture using published and new pedotransfer functions

Sixtine Cueff^{a,b,*}, Yves Coquet^b, Jean-Noël Aubertot^a, Liliane Bel^c, Valérie Pot^b, Lionel Alletto^{a,*}

^a Université de Toulouse, INRAE, UMR AGIR, F-31326, Castanet-Tolosan, France
^b Université Paris-Saclay, INRAE, AgroParisTech, UMR ECOSYS, 76550, Thiverval-Grignon, France
^c Université Paris-Saclay, INRAE, AgroParisTech, UMR MIA-Paris, 75005, Paris, France

➤ Des systèmes agroécologiques mieux adaptés aux effets du CC ?



➤ Des systèmes agroécologiques mieux adaptés aux effets du CC ?



➤ Des systèmes agroécologiques mieux adaptés aux effets du CC ?



➤ **LEVIER 10** : améliorer l'alimentation hydrominérale des plantes

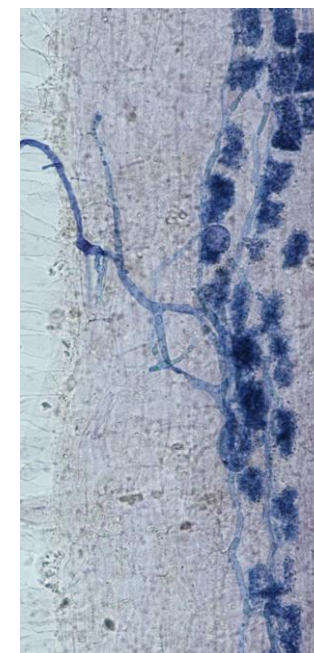
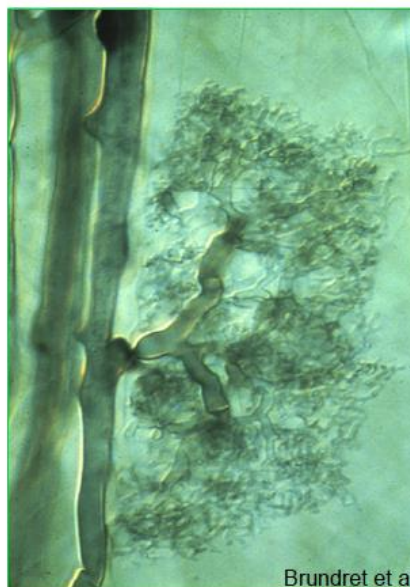
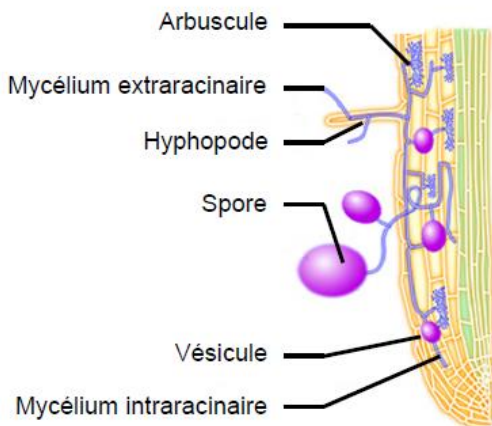


Arthur MAES – 2018-2021

Symbiose mycorhizienne

> Champignons (endo)Mycorhizien Arbusculaire (CMA) :

- ↳ Symbiose mutualiste.
- ↳ Symbiose très ancienne (450 Ma).
- ↳ Symbiose répandue (80% des plantes).



©Le Ru Aurélie

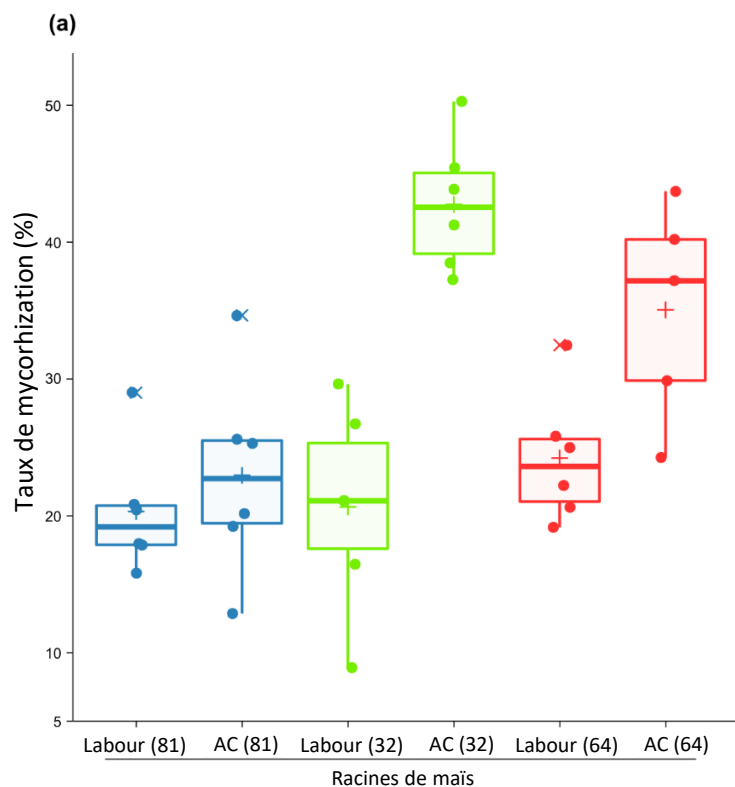
➤ Des systèmes agroécologiques mieux adaptés aux effets du CC ?



➤ **LEVIER 10** : améliorer l'alimentation hydrominérale des plantes

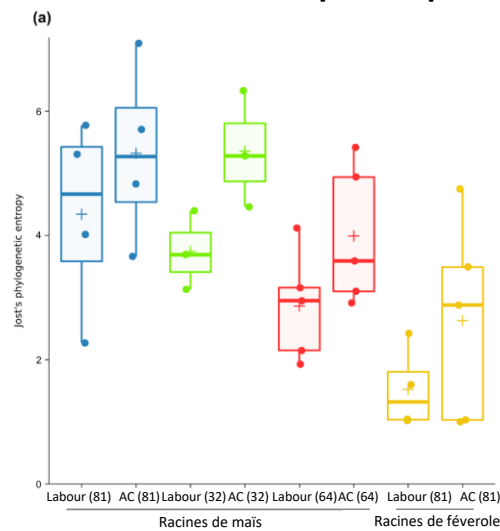


Arthur MAES – 2018-2021



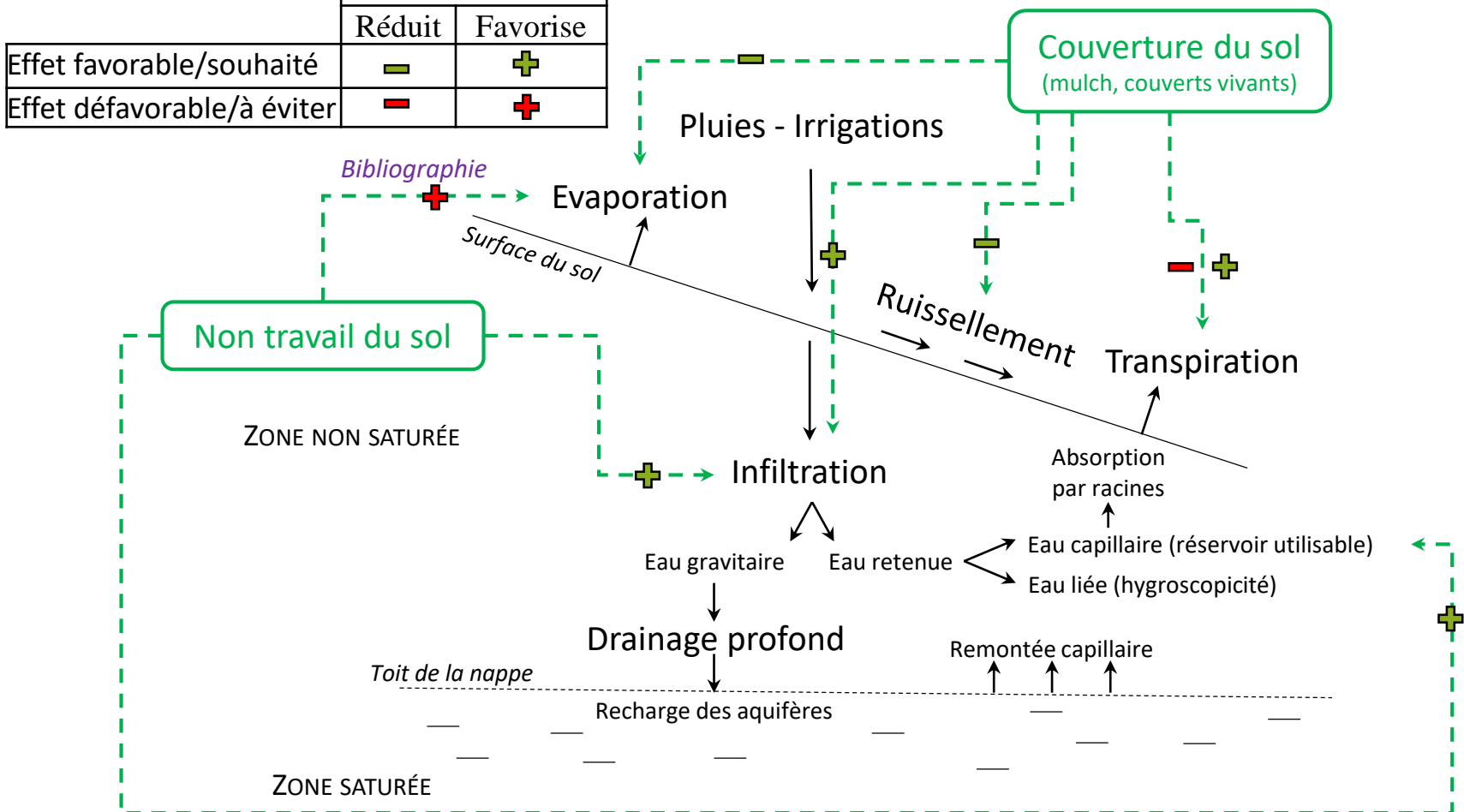
► **Mycorhization plus importante en AC**
 → Lien à explorer entre durée de couverture des sols / biomasse des couverts et taux de mycorrhization

► **Diversité des CMA plus importante en AC**



➤ Des systèmes agroécologiques mieux adaptés aux effets du CC ?

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



➤ Éléments de conclusion

Les systèmes agroécologiques peuvent permettre :

- ▶ d'**améliorer** / de **restaurer** plusieurs **fonctions écosystémiques** :
 - rétention (+ 5 à 12 %) et infiltration d'eau (x 1,5 à 5)
 - atténuation des effets du changement climatique (par stockage de C et augmentation de l'effet albédo)
 - activité biologique et notamment microbiologique

- ▶ de **maintenir** / **améliorer les performances économiques** des exploitations agricoles (notamment par une moindre dépendance aux intrants)

- ▶ de **réduire certains impacts environnementaux** (érosion, lixiviation de nitrate, ...)

mais pas tous : l'utilisation des pesticides demeure un talon d'Achille notamment en AC



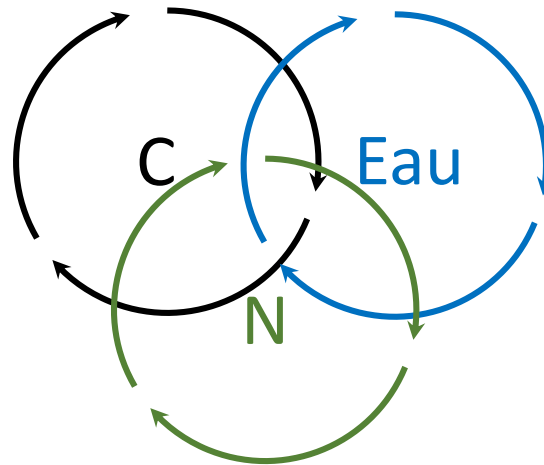
INRAE

Vers des systèmes agroécologiques mieux adaptés aux effets du changement climatique : exemple de l'agriculture de conservation
8-12-2022, Lionel Alletto

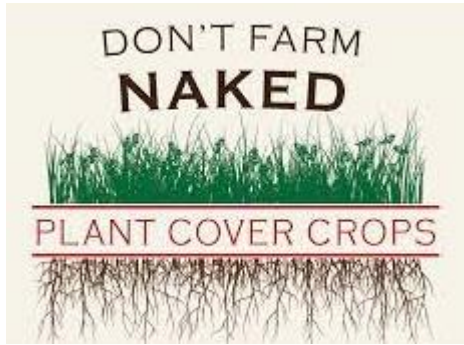
↪ **Gestion qualitative de l'eau**

➤ Éléments de conclusion

► Pour que ces fonctions et services s'améliorent, un **objectif prioritaire** :
Accroître les quantités de matières organiques des sols afin
d'améliorer le **couplage des cycles du carbone, de l'azote et de l'eau**



➤ **Merci pour votre invitation et votre attention.**



lionel.alletto@inrae.fr