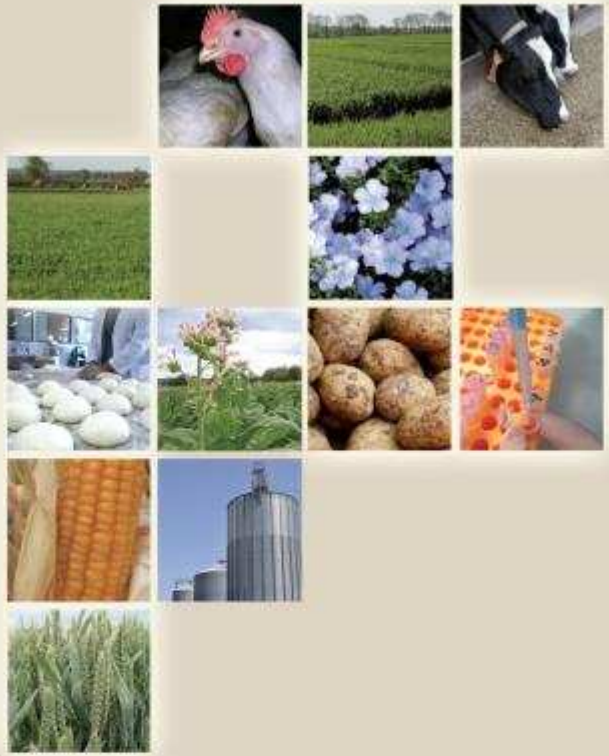
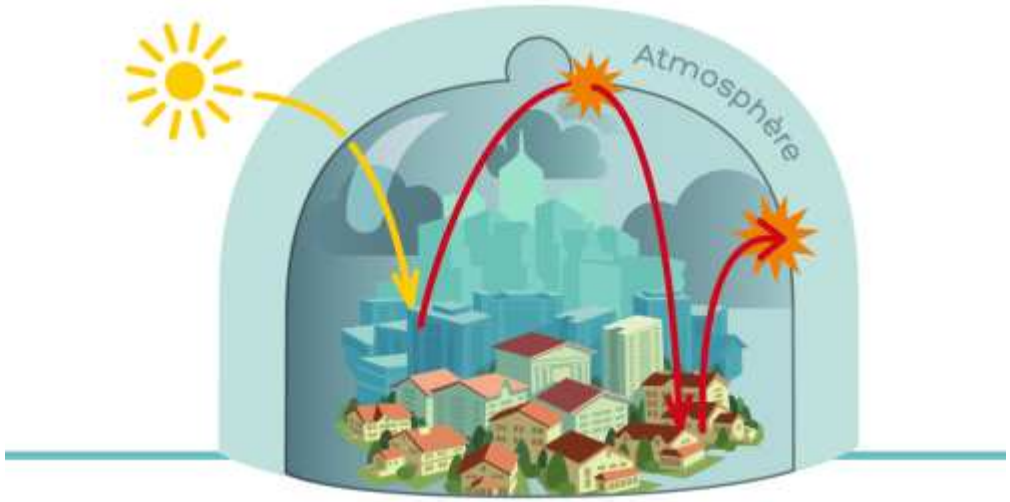


ARVALIS

Institut du végétal

Gaz à effet de serre: Atténuation et Adaptation



ARVALIS
Institut du végétal

Contribution de l'agriculture à l'atténuation et l'adaptation au changement climatique

1- Etat des lieux de la situation: relativiser

2- Stratégie d'atténuation

- Réduire l'émission de GES
- Fonction puits de carbone: Stockage de carbone dans les sols

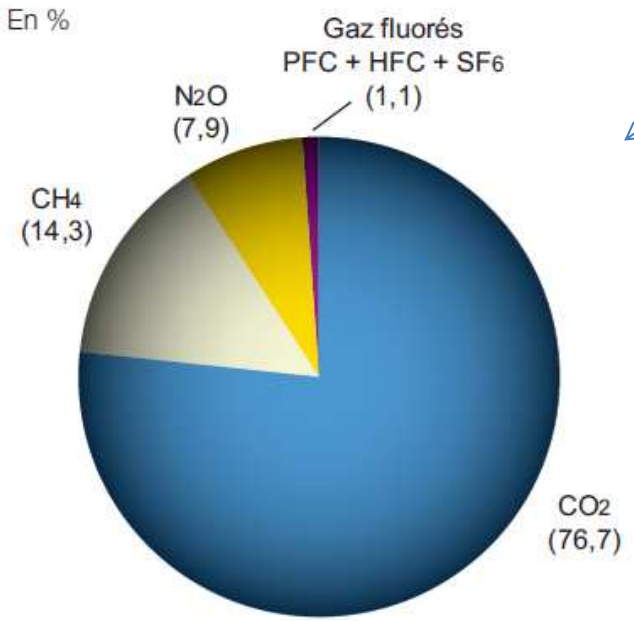
3- Stratégie d'adaptation

- Perspectives liées au progrès génétique
- Gestion de l'eau
- Maitrise des bioagresseurs

Émissions de GES Monde: causalité et répartition

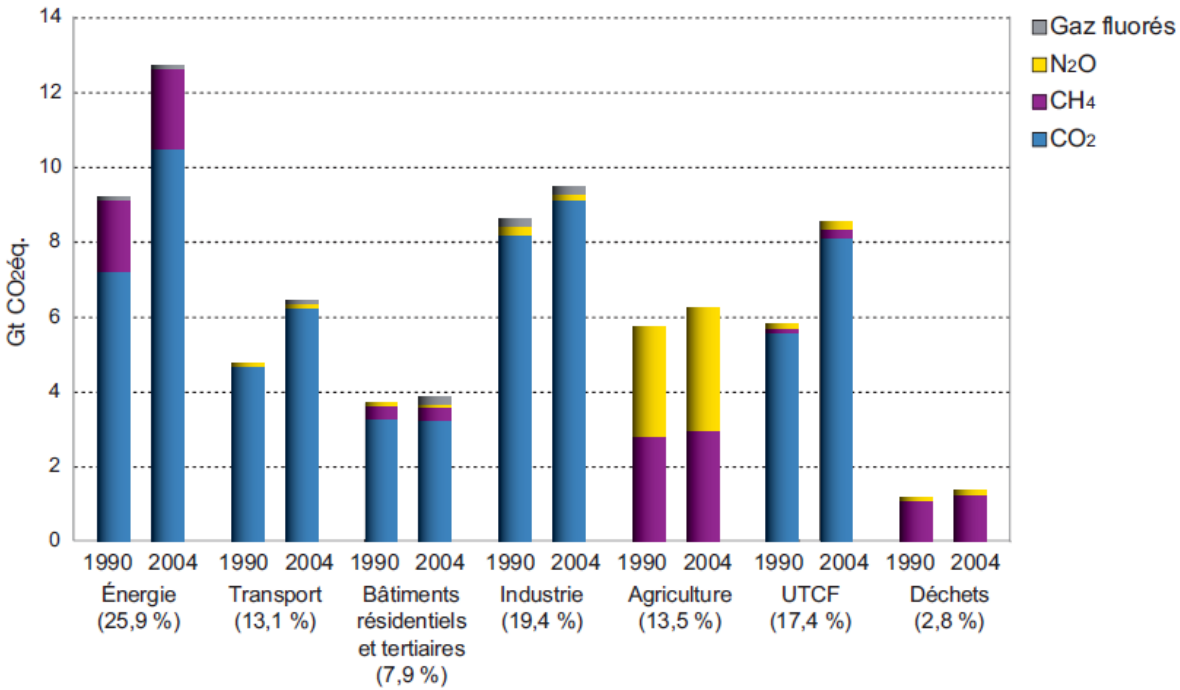
A quoi est dû l'effet de serre?
H2O (vapeur d'eau + nuages) : 72%
Reste: 28%

Répartition mondiale des émissions de GES par gaz en 2004[1]

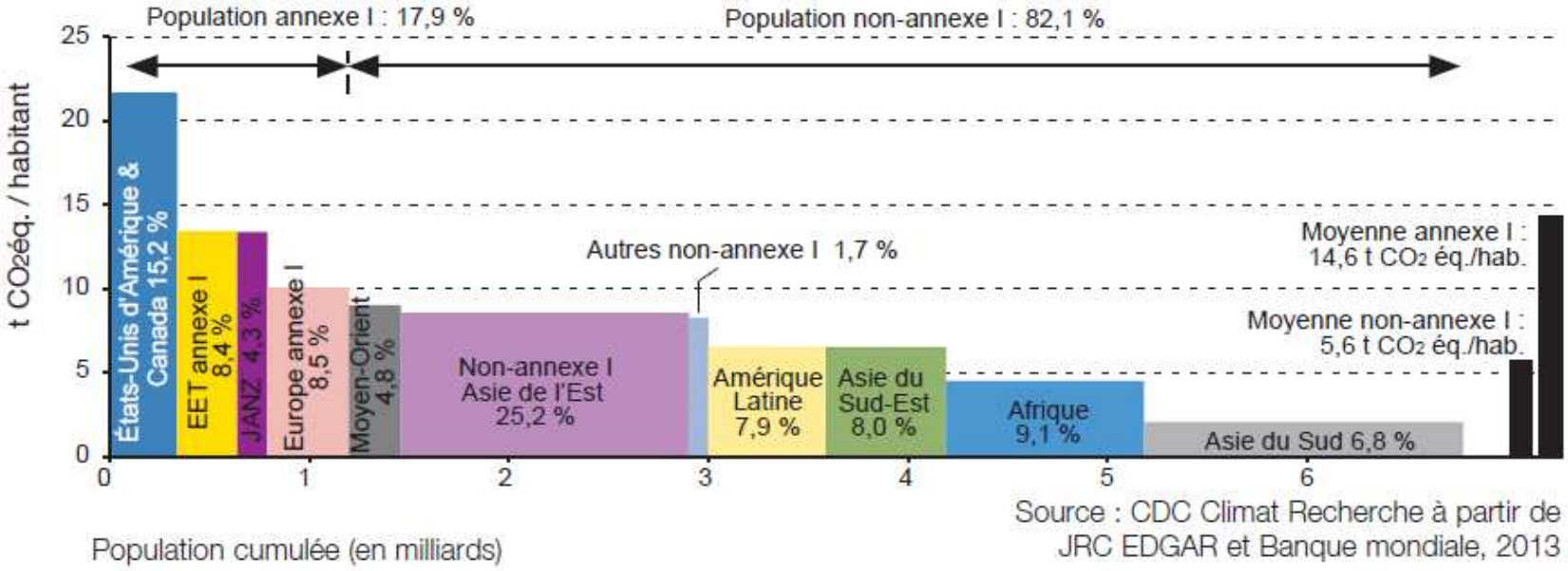


Source : Giec, 3e groupe de travail, 2007

Évolution des émissions mondiales de GES par secteur entre 1990 et 2004

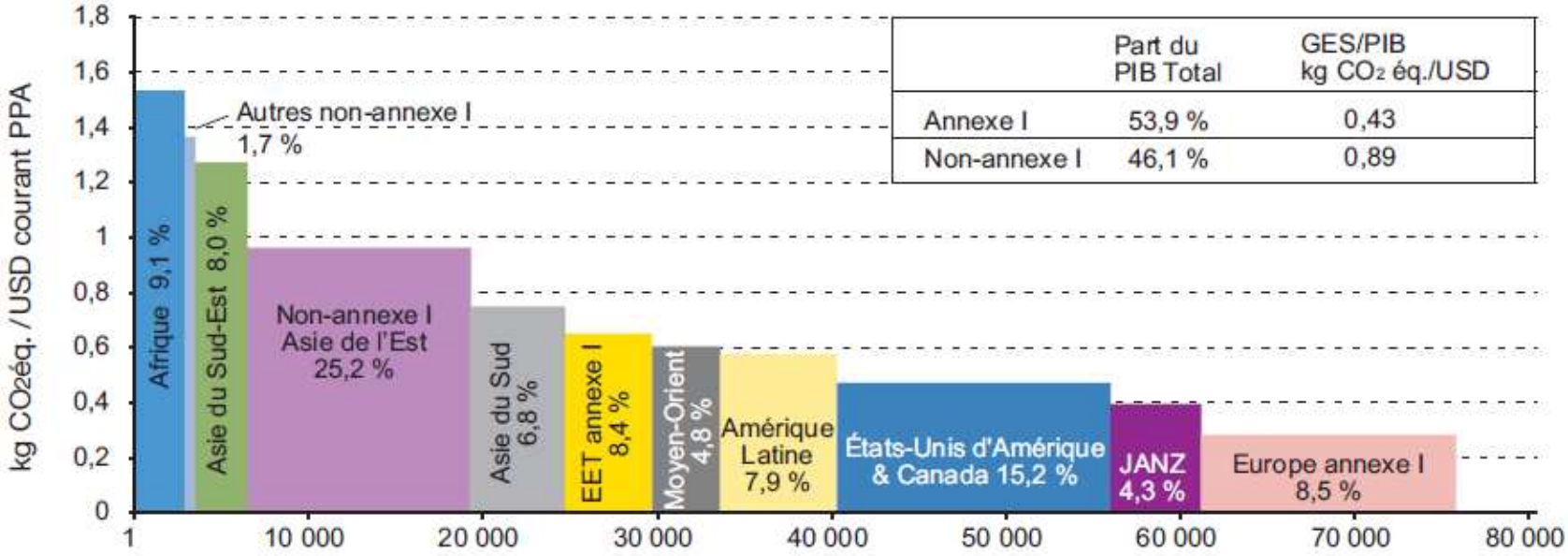


Émissions de GES dans le monde par habitant en 2010



Le pourcentage indiqué correspond à la part des régions dans les émissions mondiales de GES.
EET : Économies en transition, JANZ : Japon, Australie, Nouvelle-Zélande.

Émissions de GES dans le monde par unité de PIB en 2013

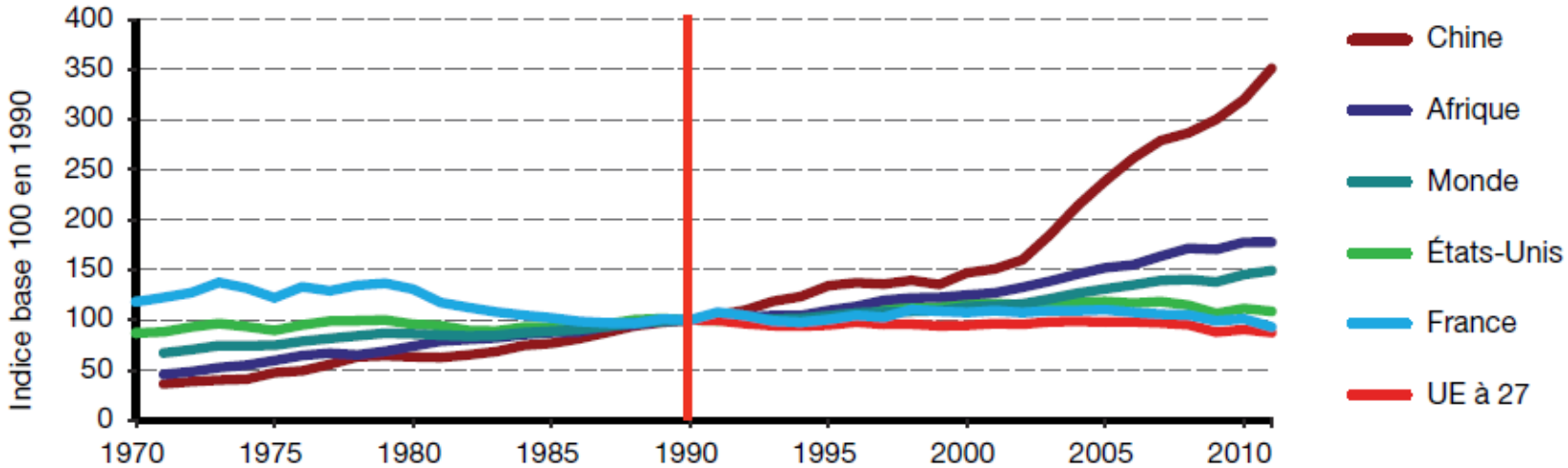


	Part du PIB Total	GES/PIB kg CO_2 éq./USD
Annexe I	53,9 %	0,43
Non-annexe I	46,1 %	0,89

Source : CDC Climat Recherche à partir de JRC EDGAR et Banque mondiale, 2013

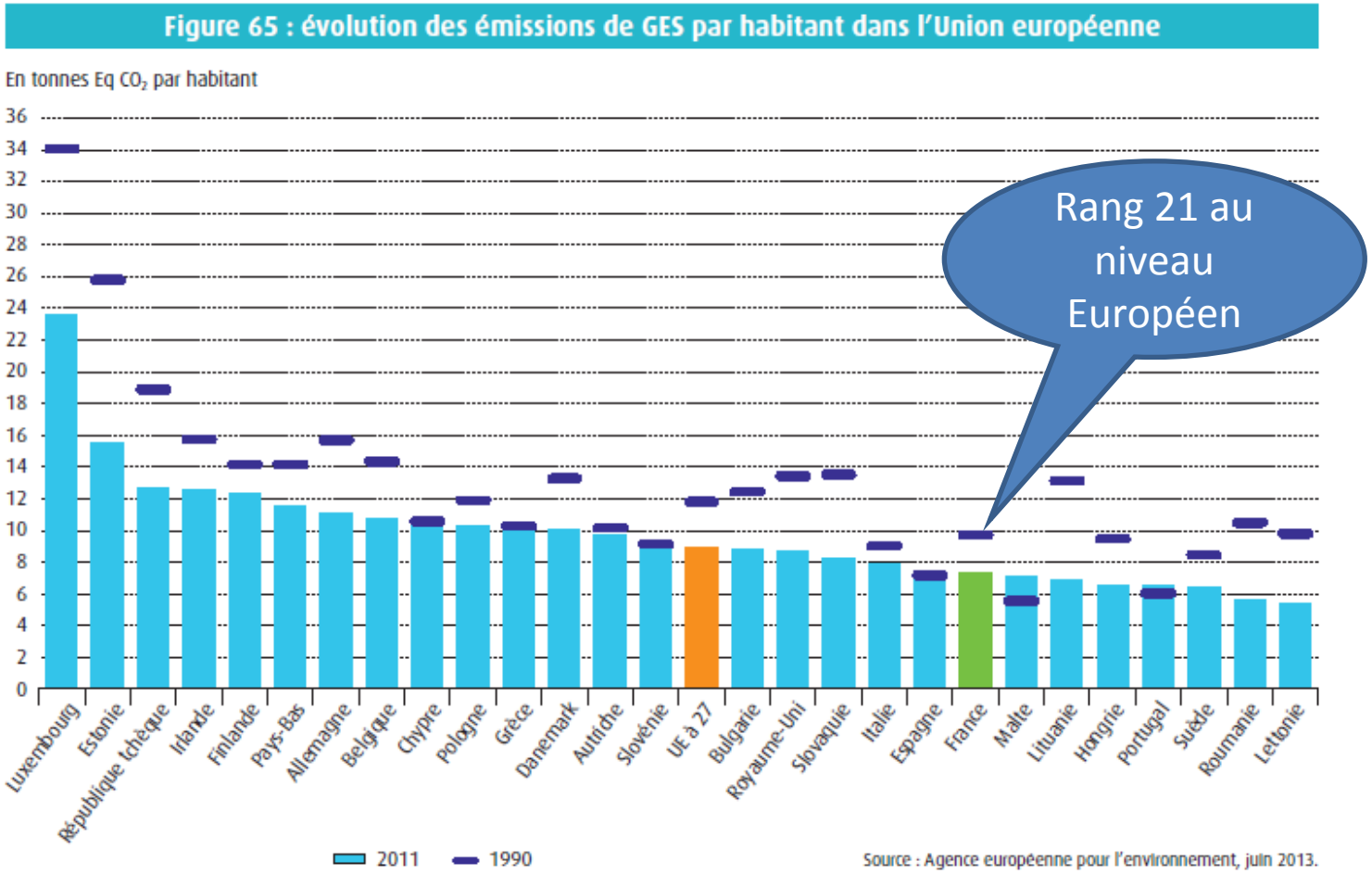
Le pourcentage indiqué correspond à la part des régions dans les émissions mondiales de GES.
EET : Économies en transition, JANZ : Japon, Australie, Nouvelle-Zélande.

Emissions de GES dues à la consommation d'énergie

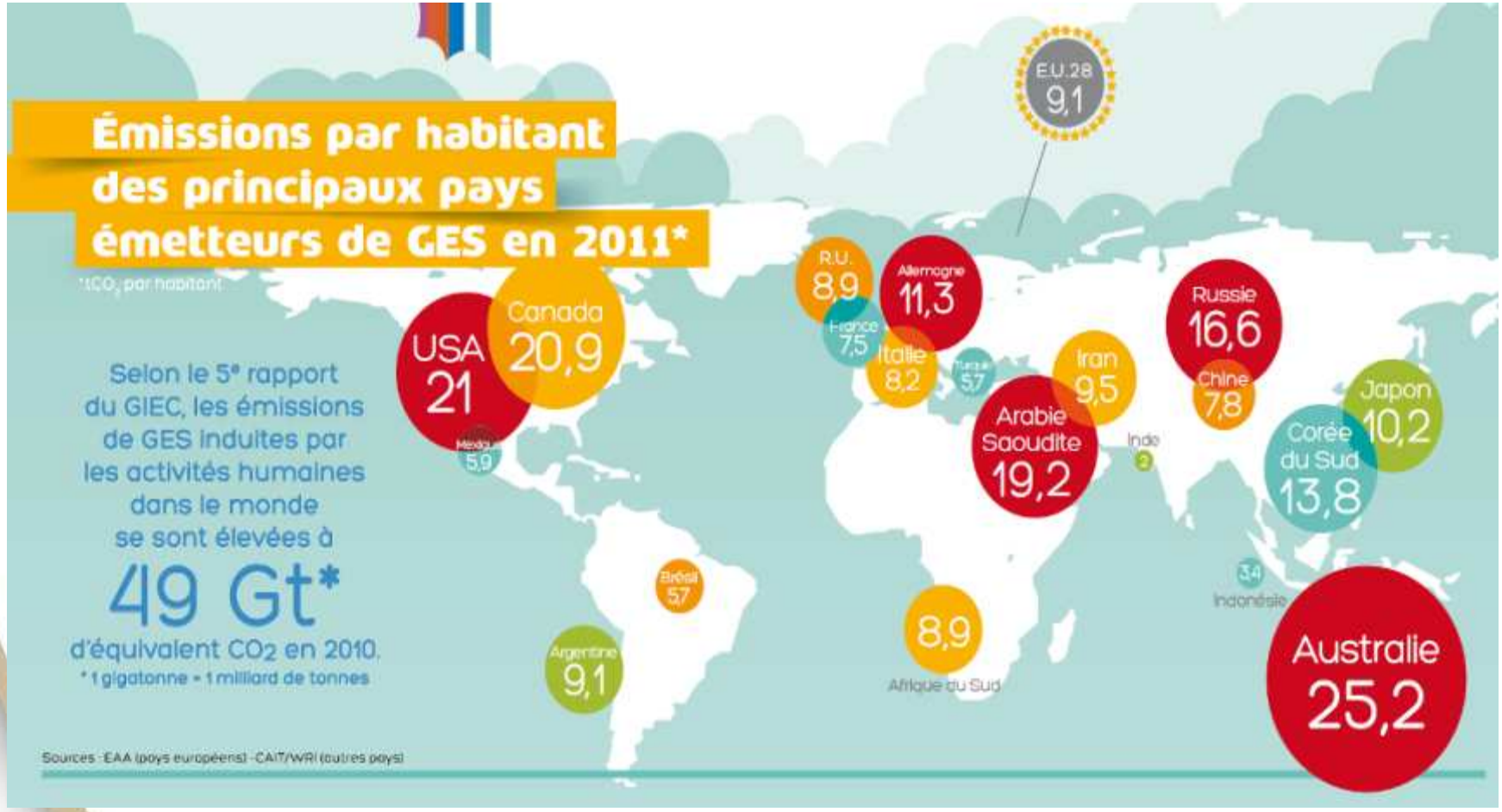


Source : Agence internationale de l'énergie, septembre 2013

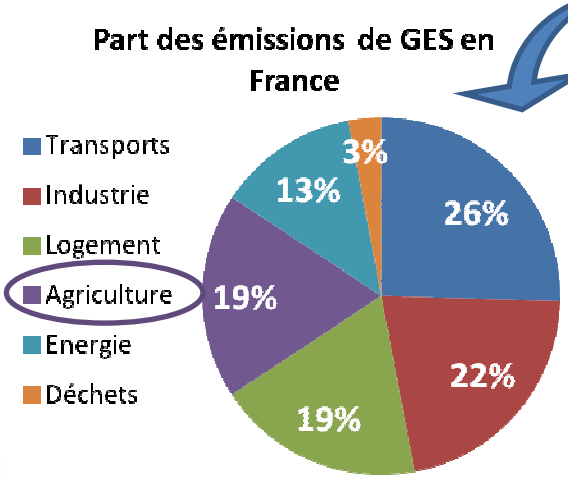
La France, faible émettrice de GES en UE

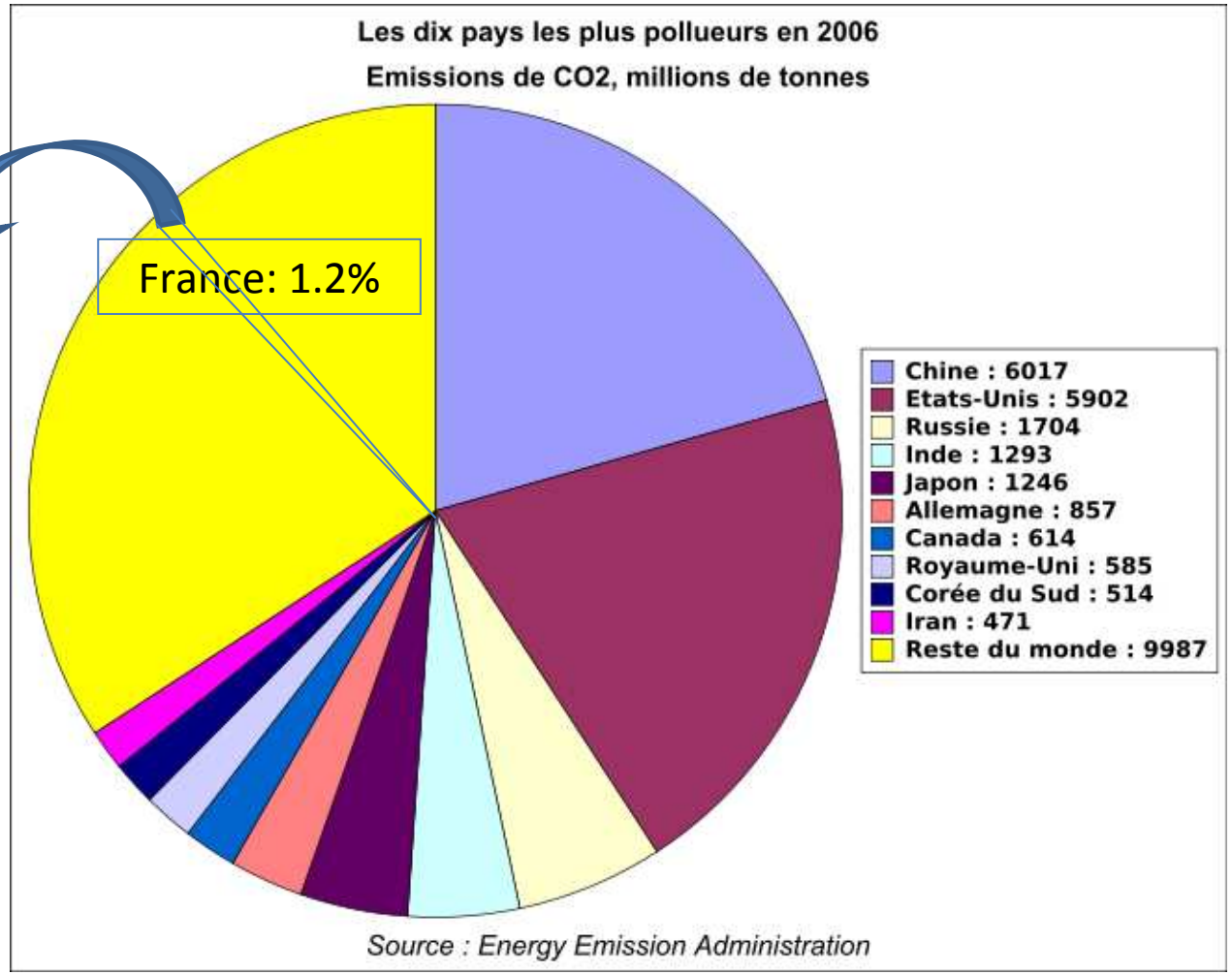


Emission de GES par habitant dans le Monde



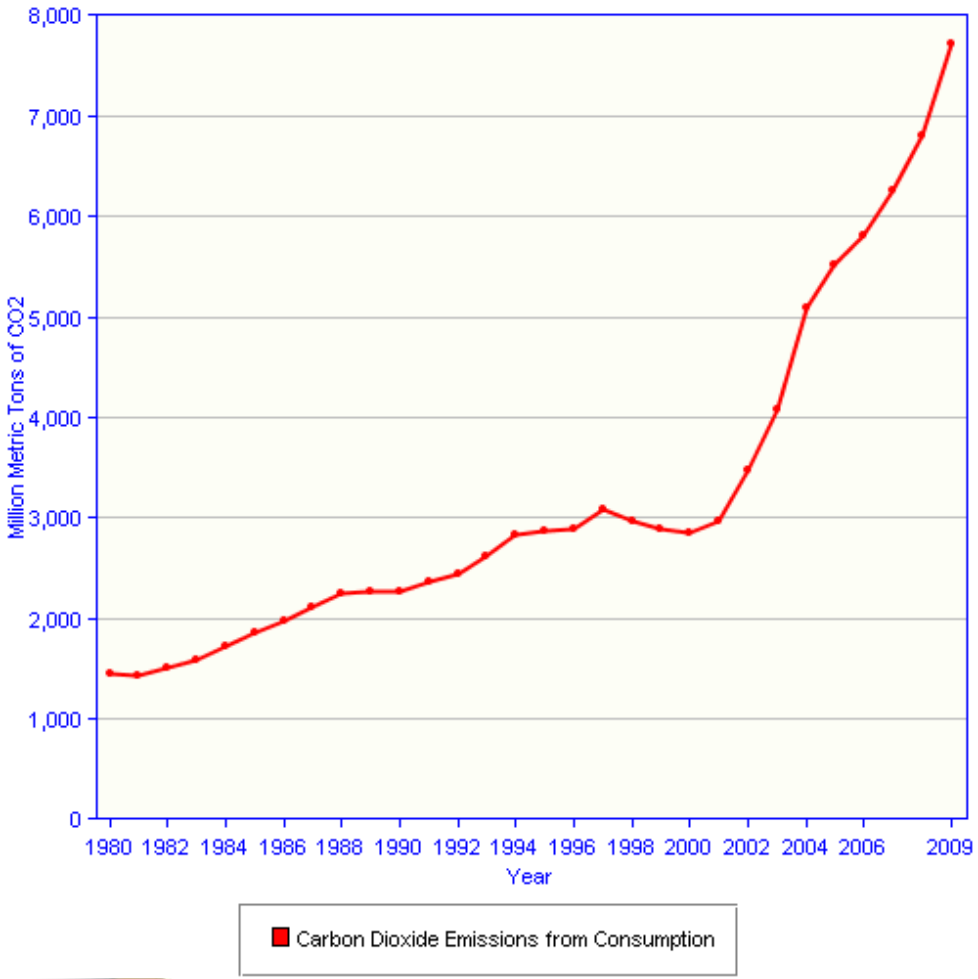
La France contribue pour 1.2% des émissions mondiales de GES





Croissance chinoise = 1.5 x émission/an française

Emissions CHINE



Emissions FRANCE

Contribution de l'agriculture à l'atténuation et l'adaptation au changement climatique

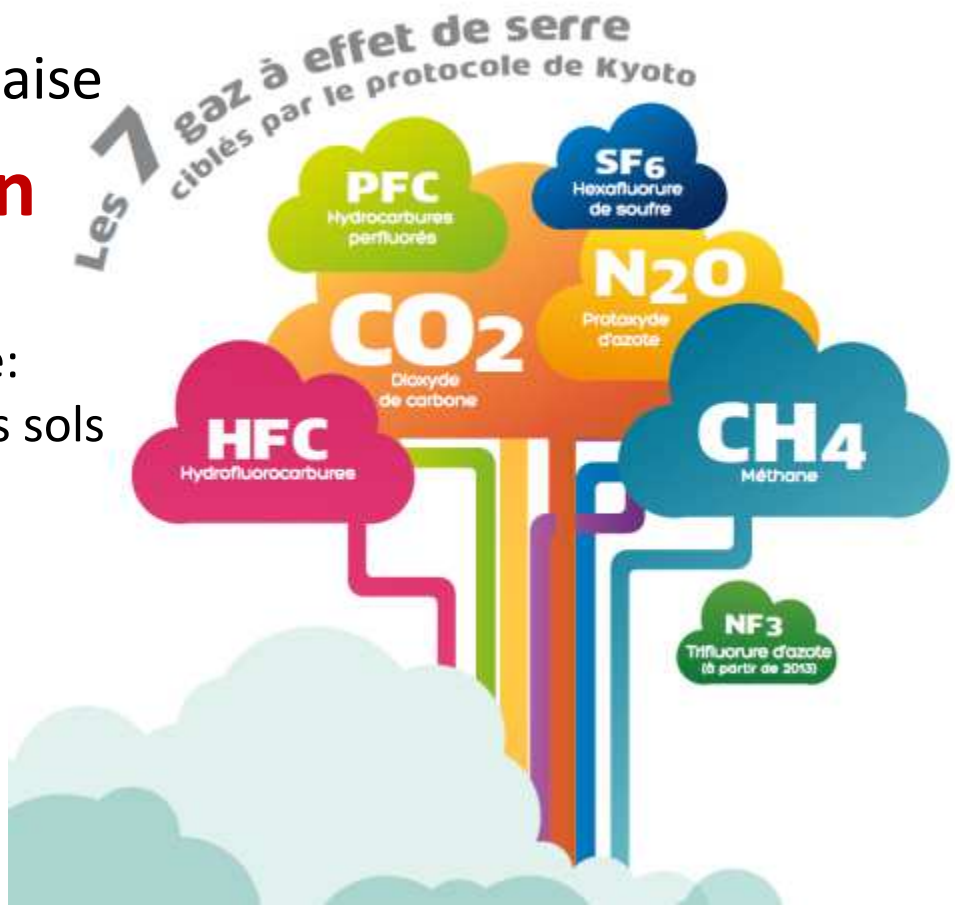
1- Etat des lieux: la situation française

2- Stratégie d'atténuation

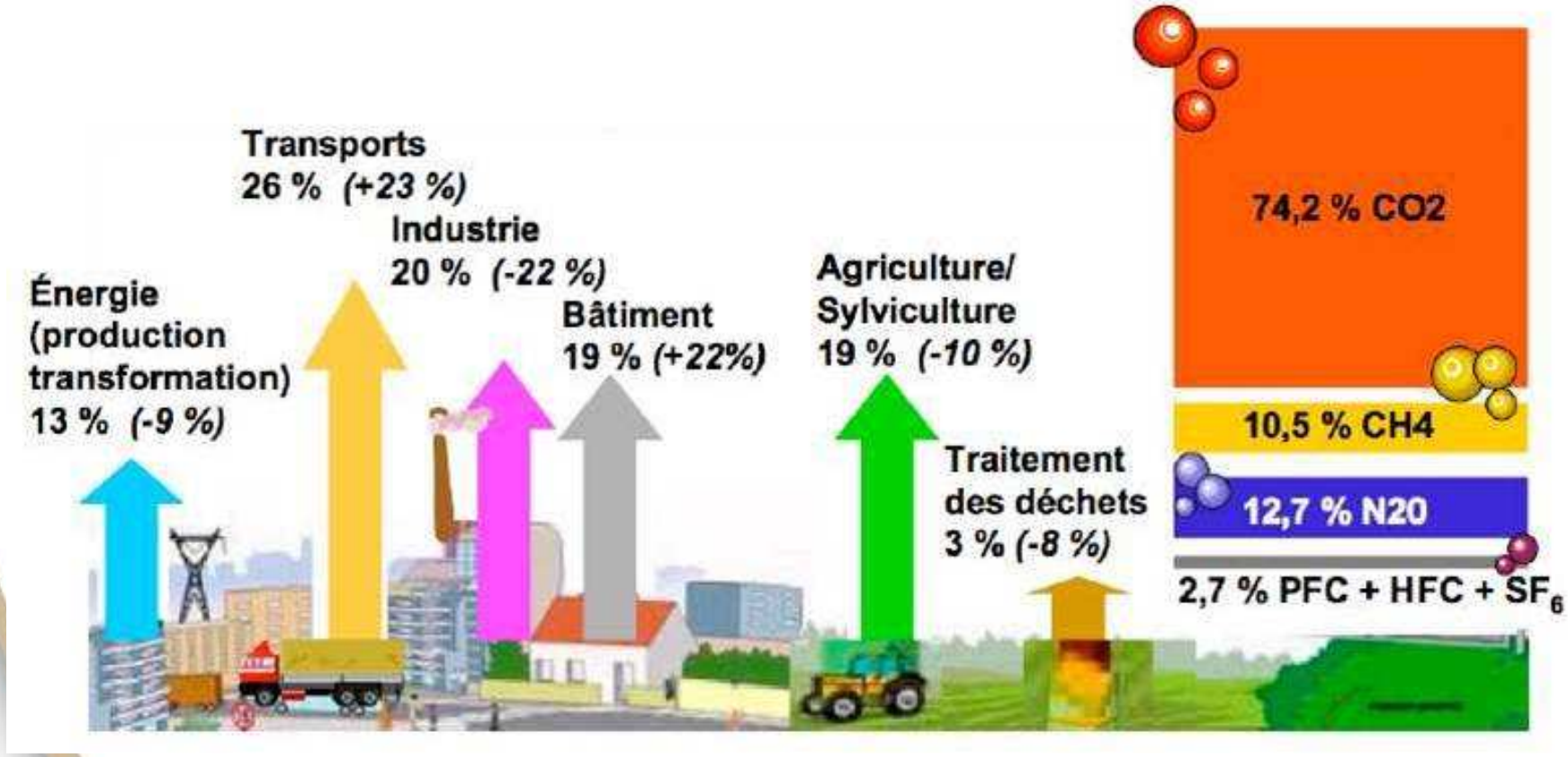
- Réduire l'émission de GES
- Fonction de puits de carbone: Stockage de carbone dans les sols

3- Stratégie d'adaptation

- Perspectives liées au progrès génétique
- Gestion de l'eau
- Maitrise des bioagresseurs



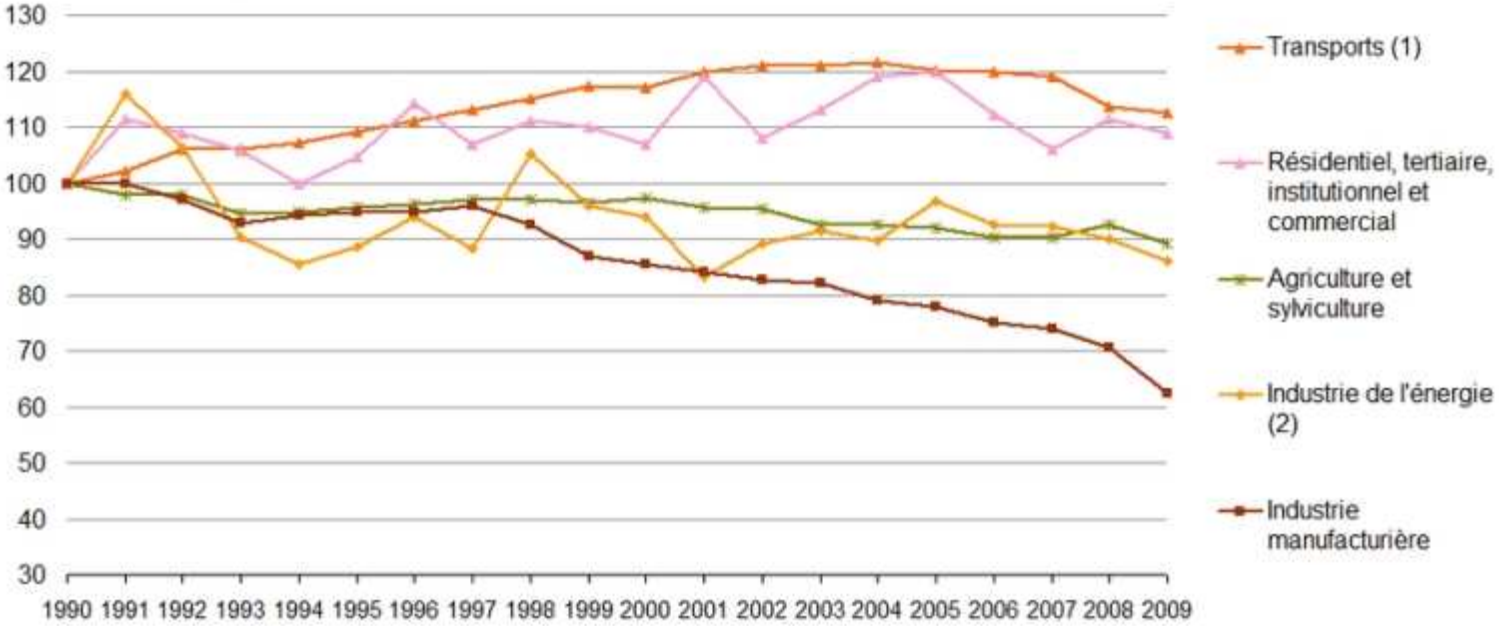
Evolution des GES par secteur d'activité



Agriculture + Sylviculture= -10% en 20 ans

Evolution des émissions de gaz à effet de serre par secteur en France

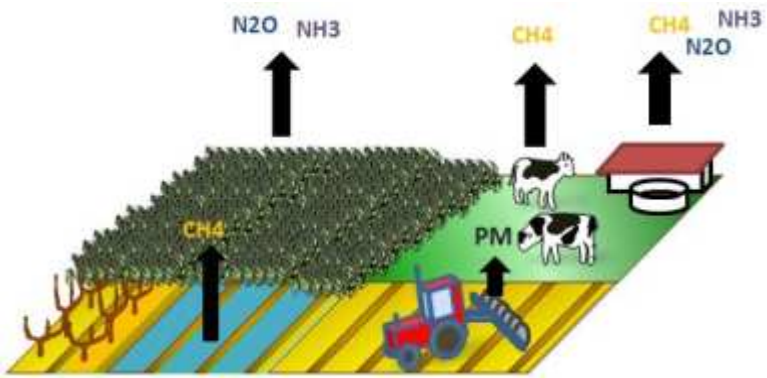
En indice base 100 en 1990

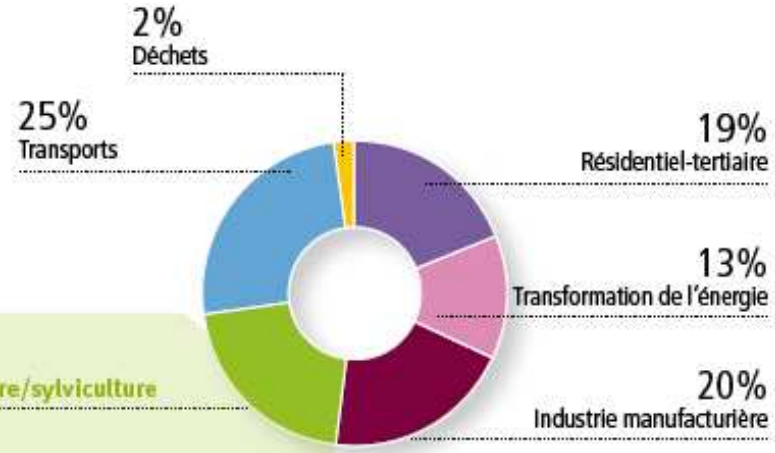


Notes : périmètre du protocole de Kyoto (Métropole, Guadeloupe, Martinique, Guyane, La Réunion, Saint-Martin, Saint-Barthélémy), hors UTCF (utilisation des terres, leurs changements et la forêt) ; Le secteur du traitement des déchets n'est pas représenté, car le captage de biogaz des décharges n'a pas été estimé à ce jour ; (1) trafic domestique uniquement ; (2) y compris incinération des déchets avec récupération d'énergie.

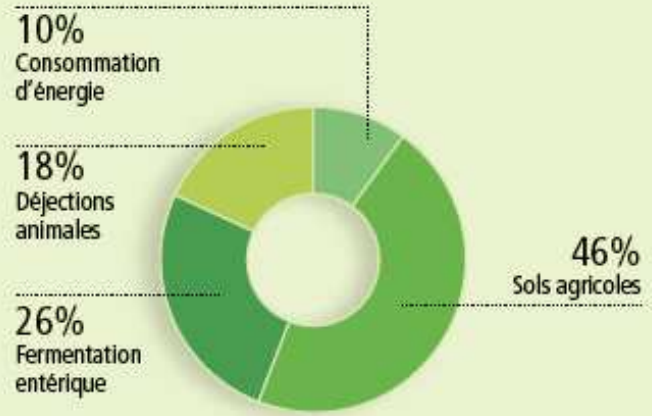
Source : Citepa (inventaire CCNUCC, format "Plan Climat"), mai 2011.

CH4 et N20 sont les principales émission de GES en agriculture





Contribution des secteurs aux émissions de GES en France



Part des activités dans les émissions de GES agricoles en France en 2008

Emissions bruts agricoles : 110 MTeqCO2

Le semis direct permet de réduire la consommation de carburant

- **Une consommation de carburants réduite de 20 à 40 l/ha/an en TCSL**

	Semis direct	Travail superficiel	Labour
Consommation moyenne (fioul, l/ha/an) liée au travail du sol dans 6 situations expérimentales différentes sur 2 à 8 années (Essais ITCF)	15	22	36
Consommation moyenne (fioul, l/ha/an) sur l'ensemble du cycle cultural annuel évaluée avec les 3 modes de travail du sol de l'essai de Boigneville (Rotation Maïs-Blé)	61	87	106

-40%

Labreuche et al, 2007

Attention, le poste carburants ne représente que 10% des émissions de GES d'origine agricole

ARVALIS Institut du végétal

INRA Institut National de la Recherche Agronomique

Mais l'impact global sur la consommation totale d'énergie reste faible

- **Consommation énergétique en fonction du mode de travail du sol**
  - **La rotation Maïs-Blé de l'essai de Boigneville avec les 3 types de travail du sol** *(Labreuche et al, 2007)*

(MJ/ha/an)	Semis direct	Travail superficiel	Labour
Mécanisation	2 716	3 841	4 634
Engrais	7 216	7 216	7 216
Phytosanitaires	640	425	227
Semences	603	603	603
Dépenses Energétiques	**11 174 (88 %)**	**12 085 (95 %)**	**12 679 (100 %)**
Valeur énergétique de la production	93370	94043	93737
Bilan Energie	**82196**	**81958**	**81058**

Rq : les restitutions au sol maximales sous maïs grain (cannes)

ARVALIS Institut du végétal

INRA Institut National de la Recherche Agronomique

…et l'effet sur l'émission de GES est modeste

- **Ensemble des émissions de GES (kg CO_2/ha/an) en fonction des 3 modes de travail du sol sur le site de Boigneville**

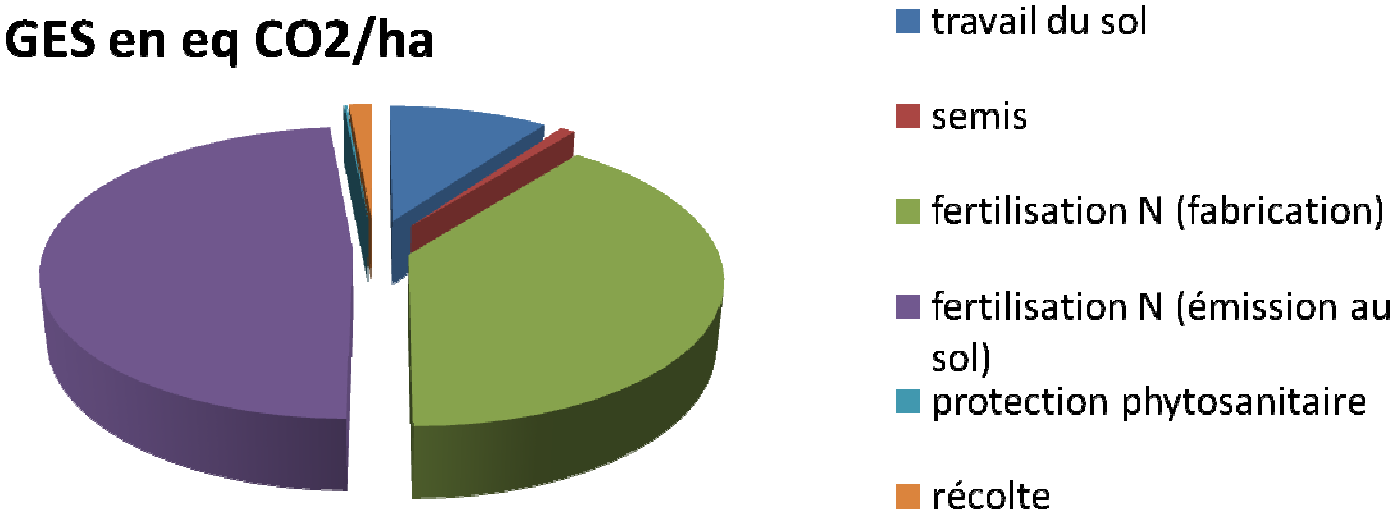
	Semis Direct	Travail Superficiel	Labour
Emissions liées à la conduite des cultures	2047	2223	2340
Emissions/stockage par le sol	- 70	- 136	11
Bilan Emissions GES	**1978 (84.1 %)**	**2087 (88.8 %)**	**2351 (100 %)**

- ***Une diminution des émissions de GES de 11 % en travail superficiel et de 16 % en semis direct (Labreuche et al, 2007)***

ARVALIS Institut du végétal

INRA Institut National de la Recherche Agronomique

En grande culture, selon la méthode de comptage du GIEC, la principale émission de CO2 viendrait de l'usage des engrais azotés



Les émissions de N20 sont comptées proportionnellement aux engrais azotés

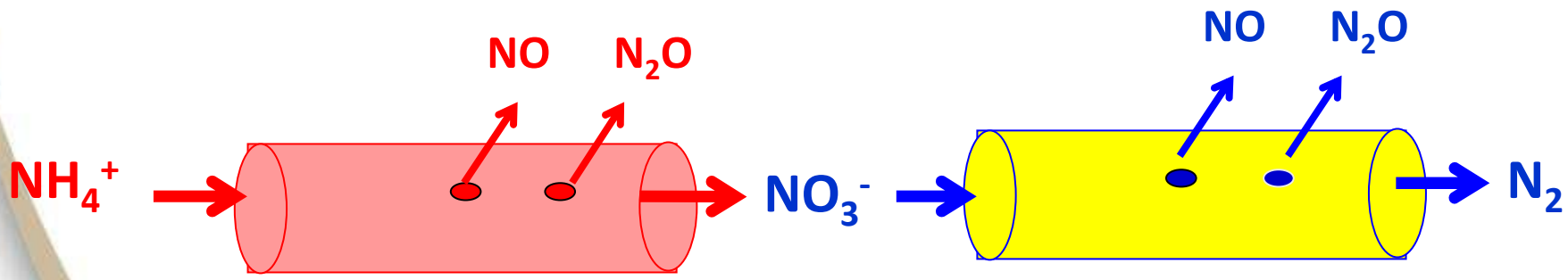
Amelie VIARD1
Catherine HENAULT2
Philippe ROCHETTE3
Peter KUIKMAN4
Francis FLENET5
Pierre CELLIER6

Dans les sols, le protoxyde d'azote a deux origines possibles

2 origines

Nitrification
aérobie
$+O_2$

Dénitrification
anaérobie
$- O_2$



ARVALIS
Institut du végétal

Facteurs potentiels d'émissions de N_2O ??

Facteurs de nitrification : « Positif ou négatif »

- Aération du sol
- Quantité ammonium

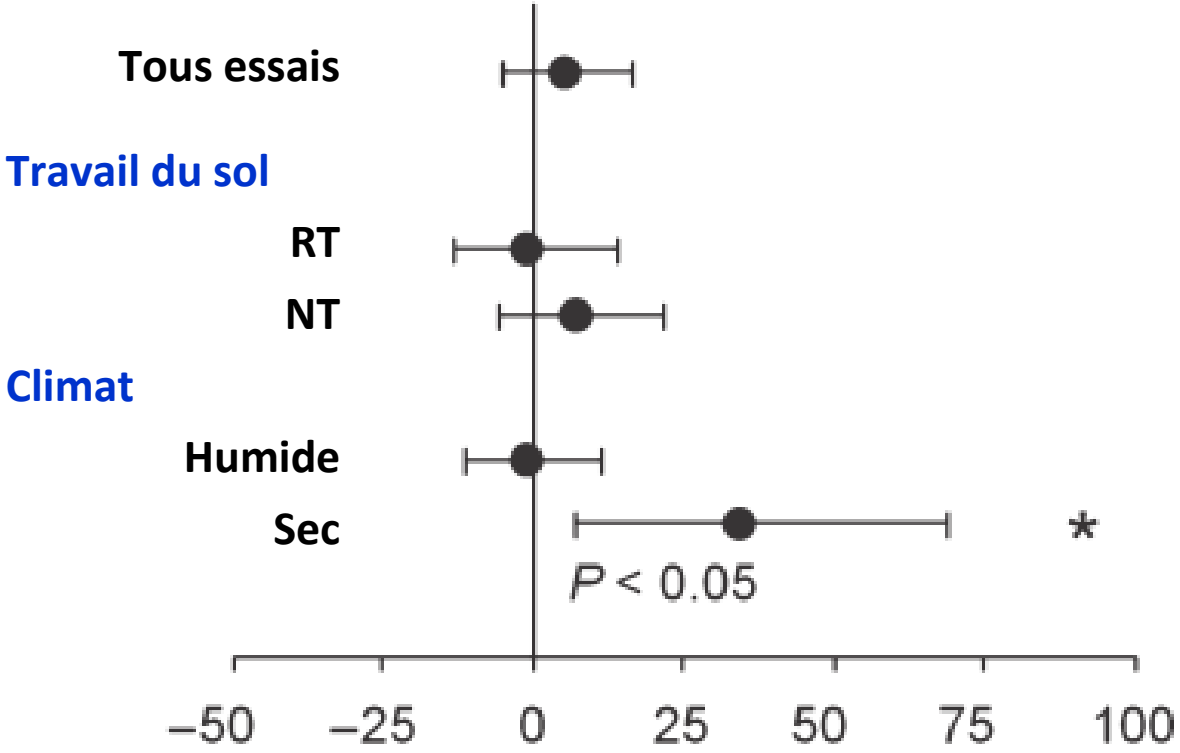
Facteurs de dénitrification :

- Humidité du sol en travail réduit
- Compactage en travail réduit
- Température
- Nitrate
- pH acide en travail réduit
- Résidus de culture
- C organique en travail réduit

ARVALIS
Institut du végétal

Le travail du sol modifie peu les émissions de N2O

Meta-analyse de van Kessel et al (2012) : effets travail et climat



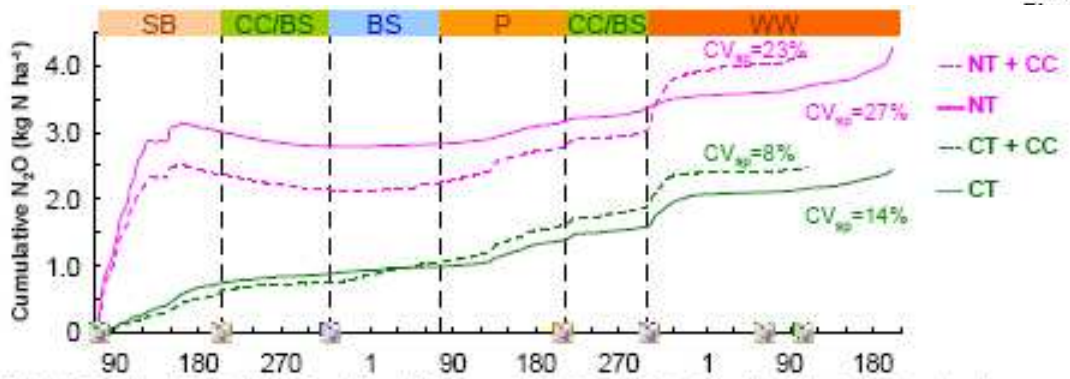
Variation relative par rapport au labour

Peu de différence
entre TCS et labour
…
sauf en climat sec
en travail réduit

ARVALIS
Institut du végétal

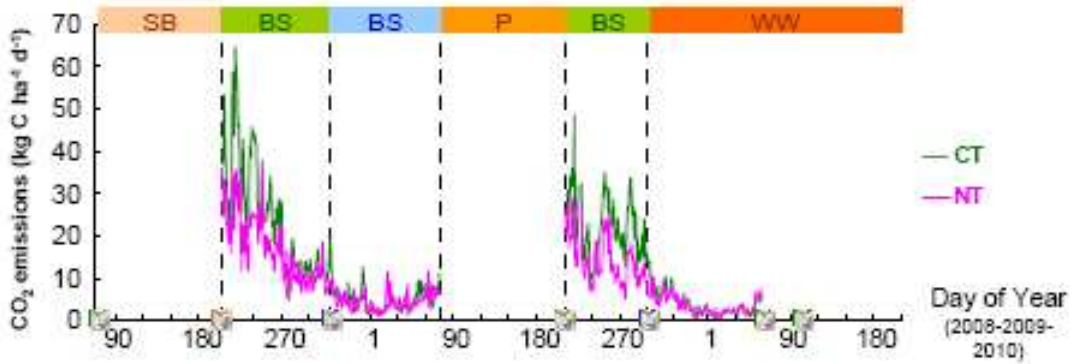
AARHUS UNIVERSITY

Emission N2O : effet Wsol & Cipan

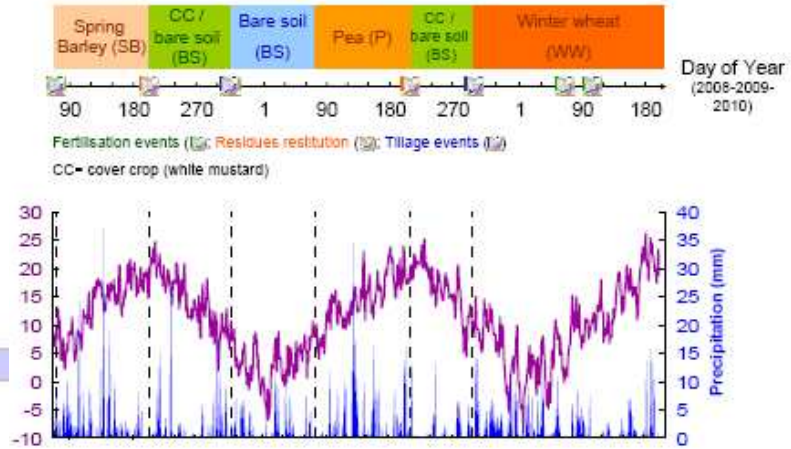


Coefficients of variation of cumulative N_2O emissions (CV_{sp}) are calculated for the 3 chambers (i.e., replicates) per treatment

Fig. 3 : NT *vs* CT CO_2 emissions during bare soil periods



: Seasonal variations of air temperature, precipitations and lative N_2O emissions



Dynamics of greenhouse gas emissions associated with long-term soil tillage and cover cropping over a 28-month period

M. Roussel [1], J. Léonard [1], J.P. Cohan [2], B. Dimassi [1 2], E. Gréhan [1], C. Fleury [2], B. Mary [1]

[1] INRA Agro-Impact, Laon-Mons, France, marie.roussel@laon.inra.fr
[2] Arvalis Institut du Végétal, Boigneville, France, jp.cohan@arvalis-institutduvegetal.fr

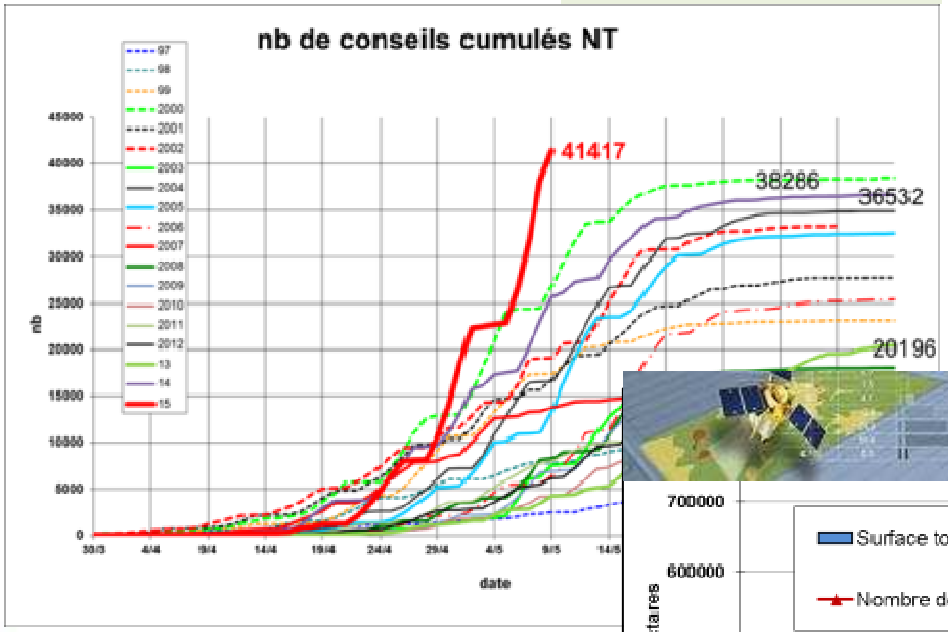
ARVALIS Institut du végétal

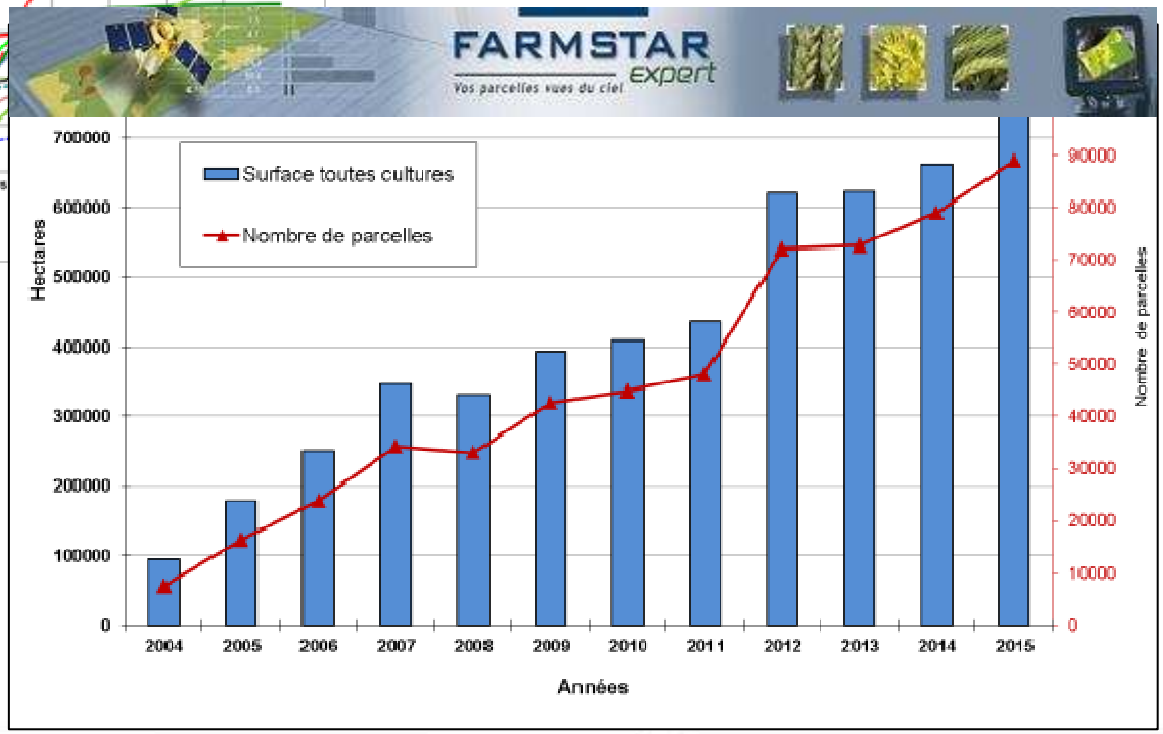
Le raisonnement de la fertilisation N contribue à réduire les émissions de GES

Source UNIFA 2014

Développer le pilotage de la fertilisation azotée

Yara N-Tester

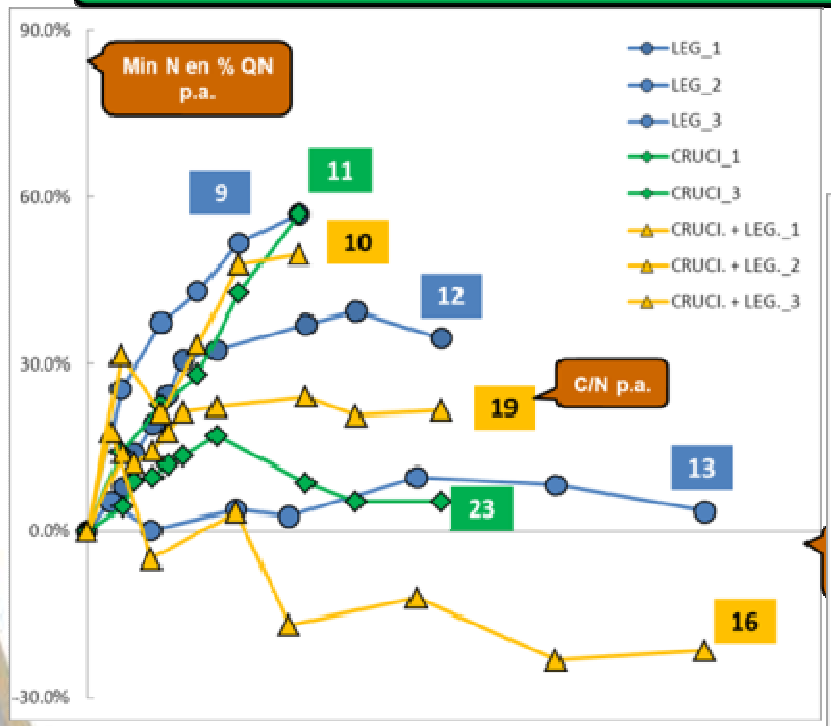




ARVALIS
Institut du végétal

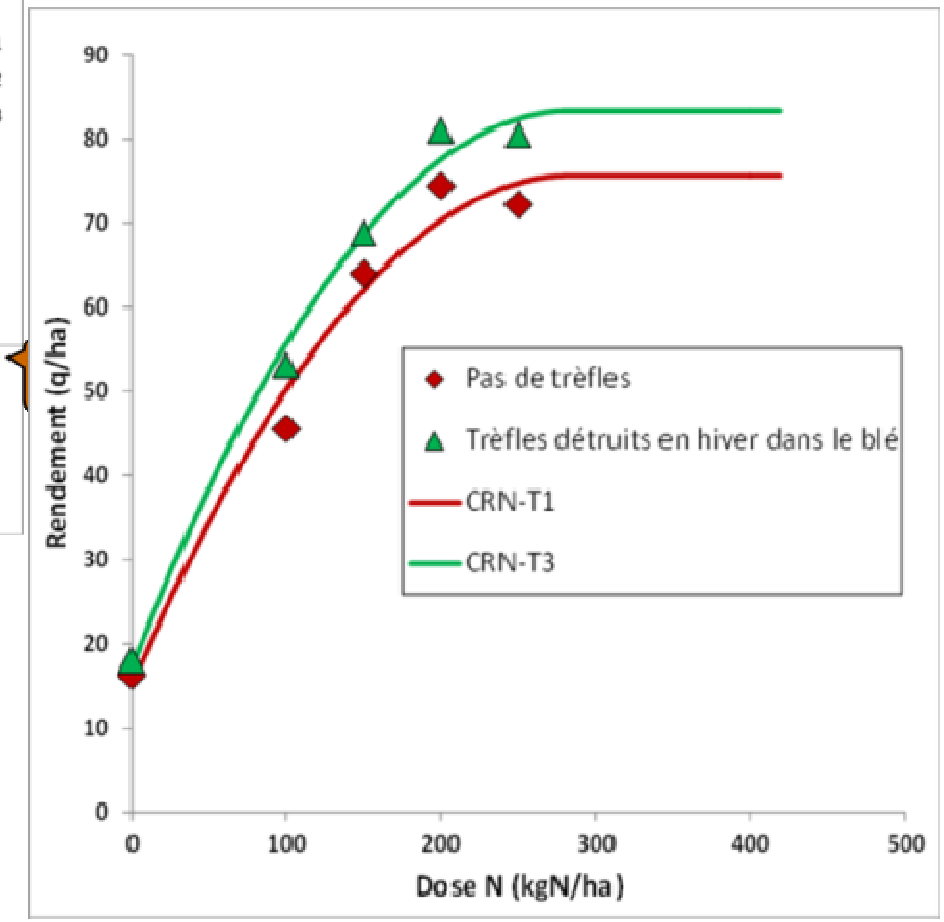
Valoriser l'azote des légumineuses pour économiser l'azote de synthèse

Cinétiques de minéralisation



Effet CIPAN

Essai longue durée ARVALIS La Jaillière (44) – récolte blé 2014
Sol de limons argileux hydromorphes



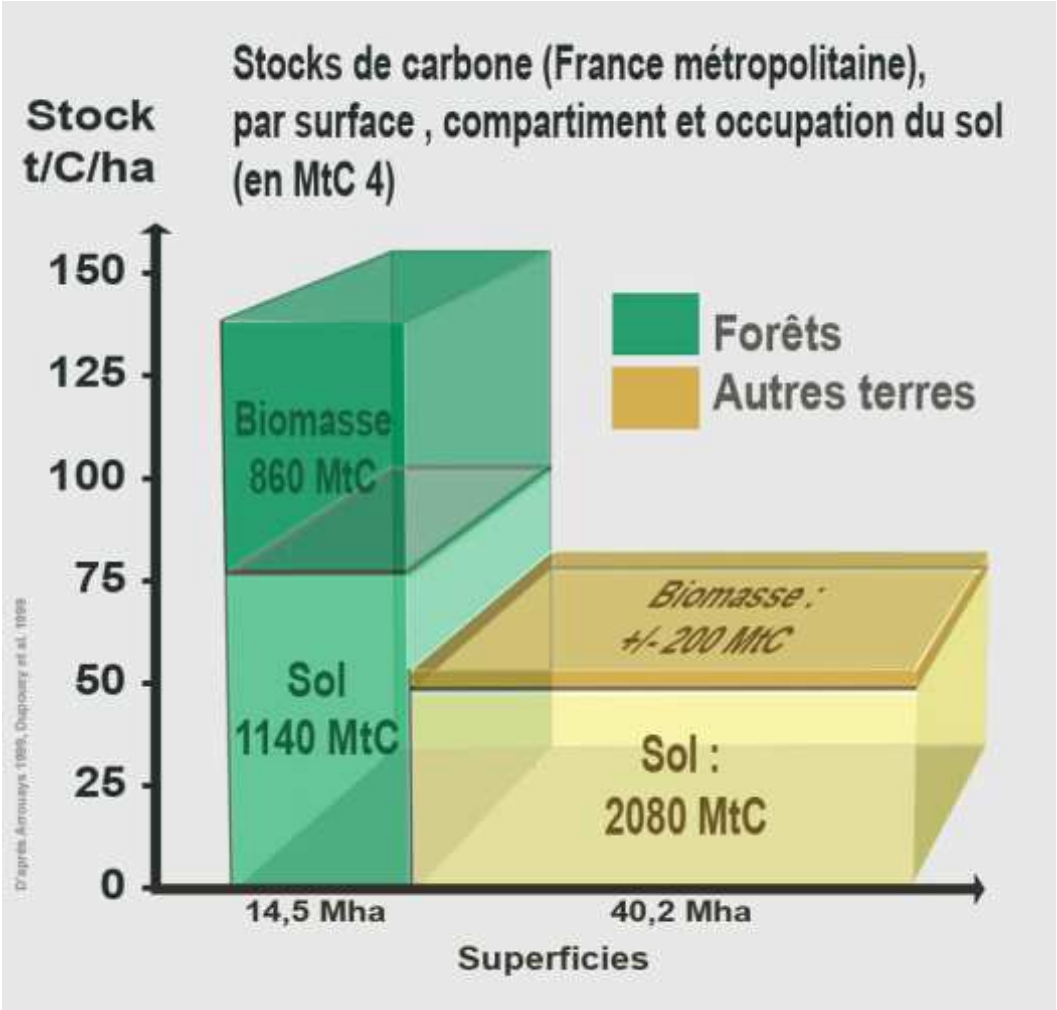
ARVALIS
Institut du végétal

Renforcer la fonction de puits de carbone en agriculture

Grandes culture et forêt: seules pompes à carbone

les grandes cultures (14,2 millions d'ha)
→ 270 millions de TECO2 /an

La forêt (16,5 millions d'ha)
→ 130 millions de TECO2/an



1ha de blé recycle 4 fois plus de C02 qu'il n'en consomme

Blé tendre d'hiver (83q), itinéraire réel (Boigneville)

-

Emissions par poste		Emissions de GES en Kg eq CO2/ha	
Travail du sol		336	10%
Semis		31	1%
Fertilisation N	fabrication	1 351	39%
	émissions au sol	1 658	48%
Protection Phytosanitaire		6	0%
Récolte		47	1%
TOTAL		**3 429**	

Labour

Carburant 61 l /ha

160 uN

X 4

+

Fixation du carbone par le Blé:

9 720 kg éq CO2 dans les grains

4 250 kg éq CO2 de paille exportée

(+ en moyenne long terme: 100kg éq CO2 /ha dans le sol)

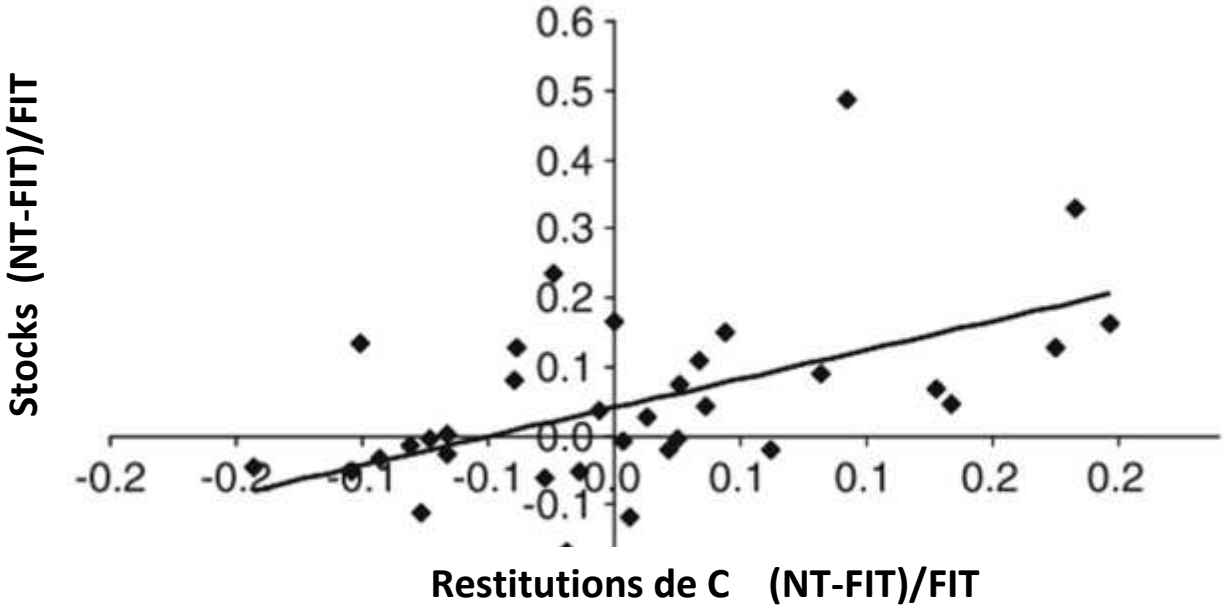
13 970 kg éq CO2 fixés

A S Institut du vegetal

« Augmenter la production de biomasse pour stocker le Carbone »

Premier facteur de stockage: la restitutions de résidus de récolte

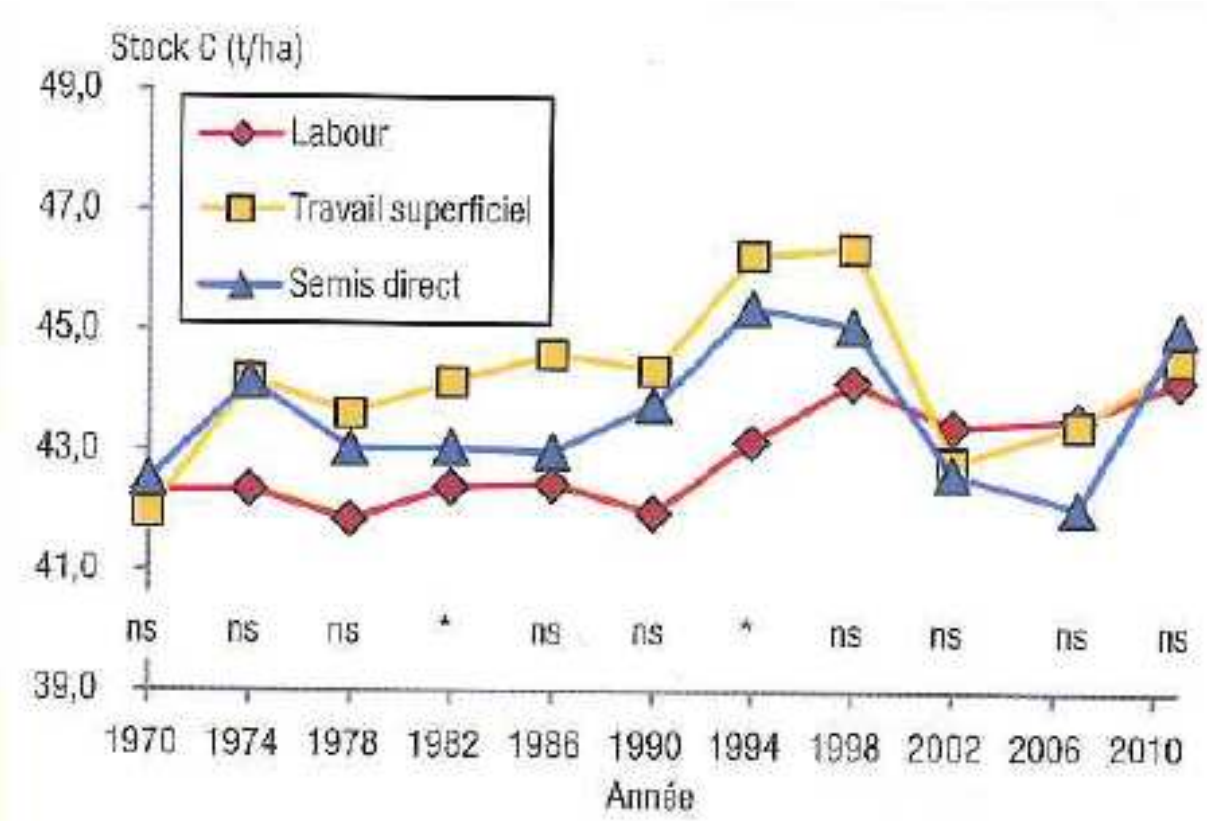
Luo et al (2010)



L'augmentation des restitutions de biomasse végétale augmente le stockage de carbone dans le sol

ARVALIS
Institut du végétal

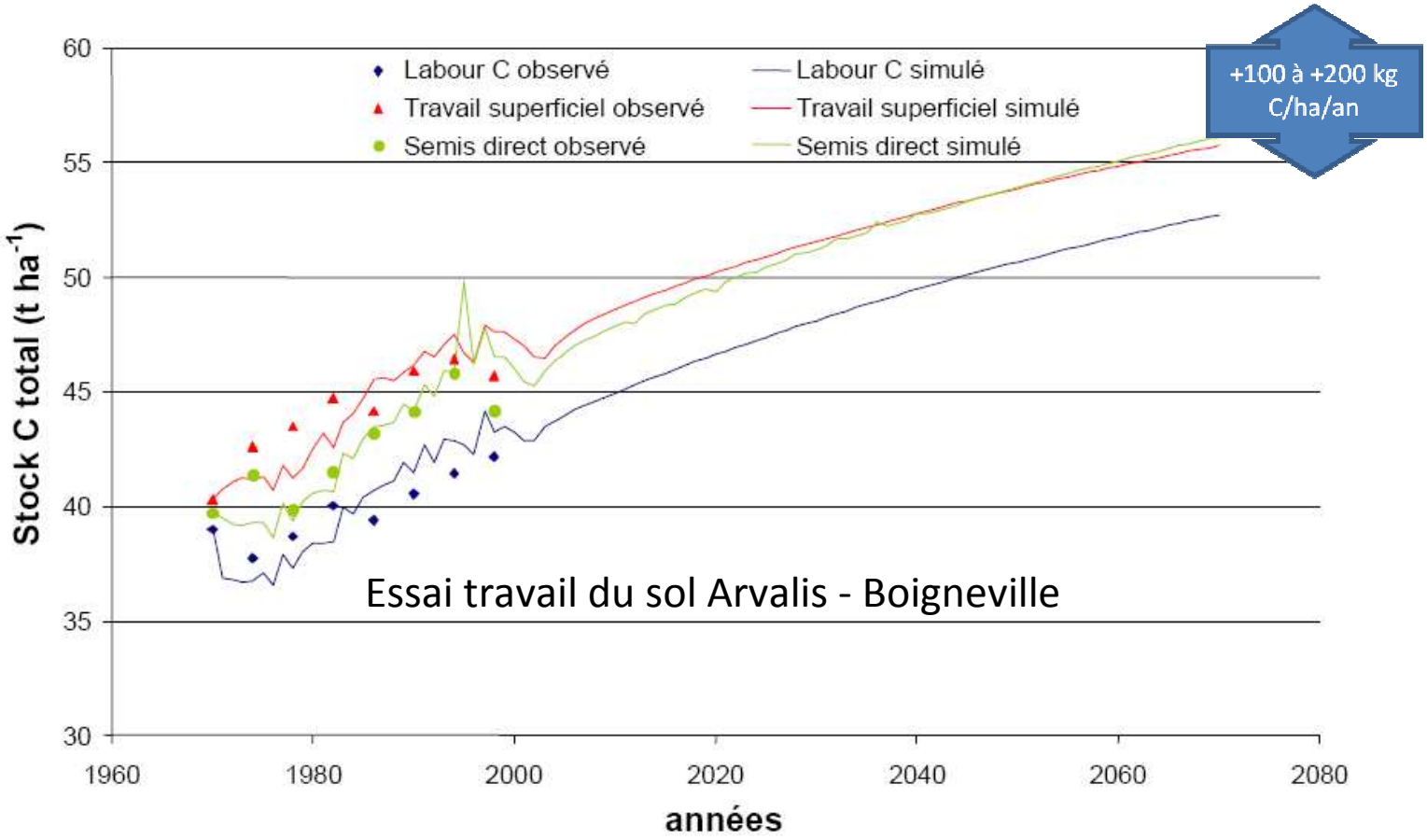
Le mode de travail du sol influe peu sur le stock de carbone dans le sol



*: modalités statistiquement différentes au seuil de 5%.
ns : modalités non statistiquement différentes.

Essai travail du sol de Boigneville (Dimassi et al 2014)

Développer le travail sans labour

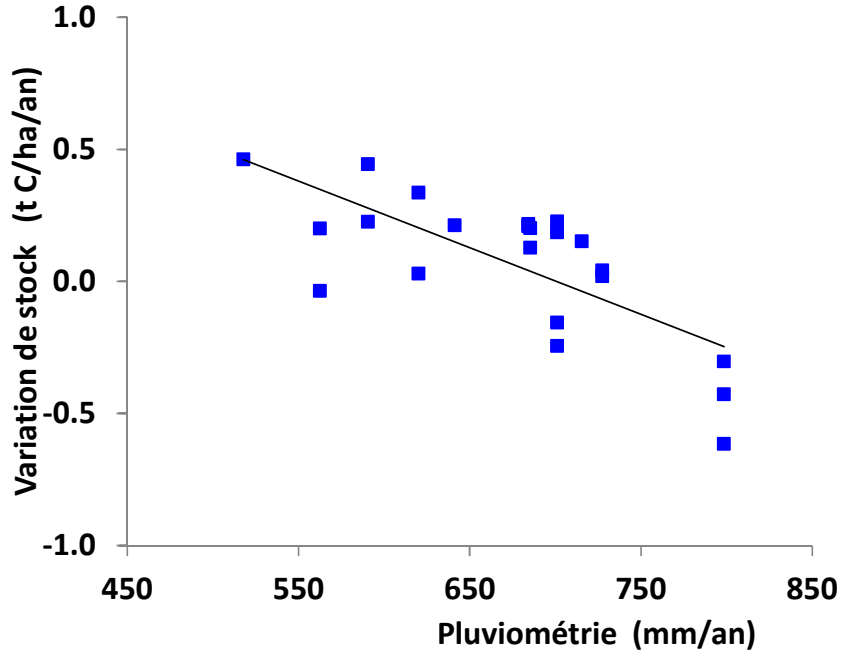


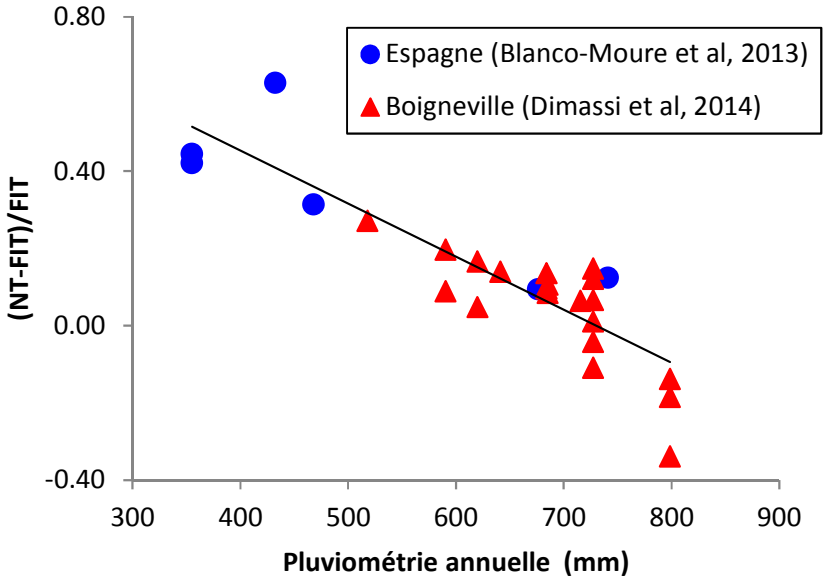
- Chiffrage
  - 30% terres labourables en TCSL : **0.5 - 1.0 MtC ?**

ARVALIS
Institut du végétal

Le climat joue un rôle dans le stockage de carbone

Dimassi et al (2014)





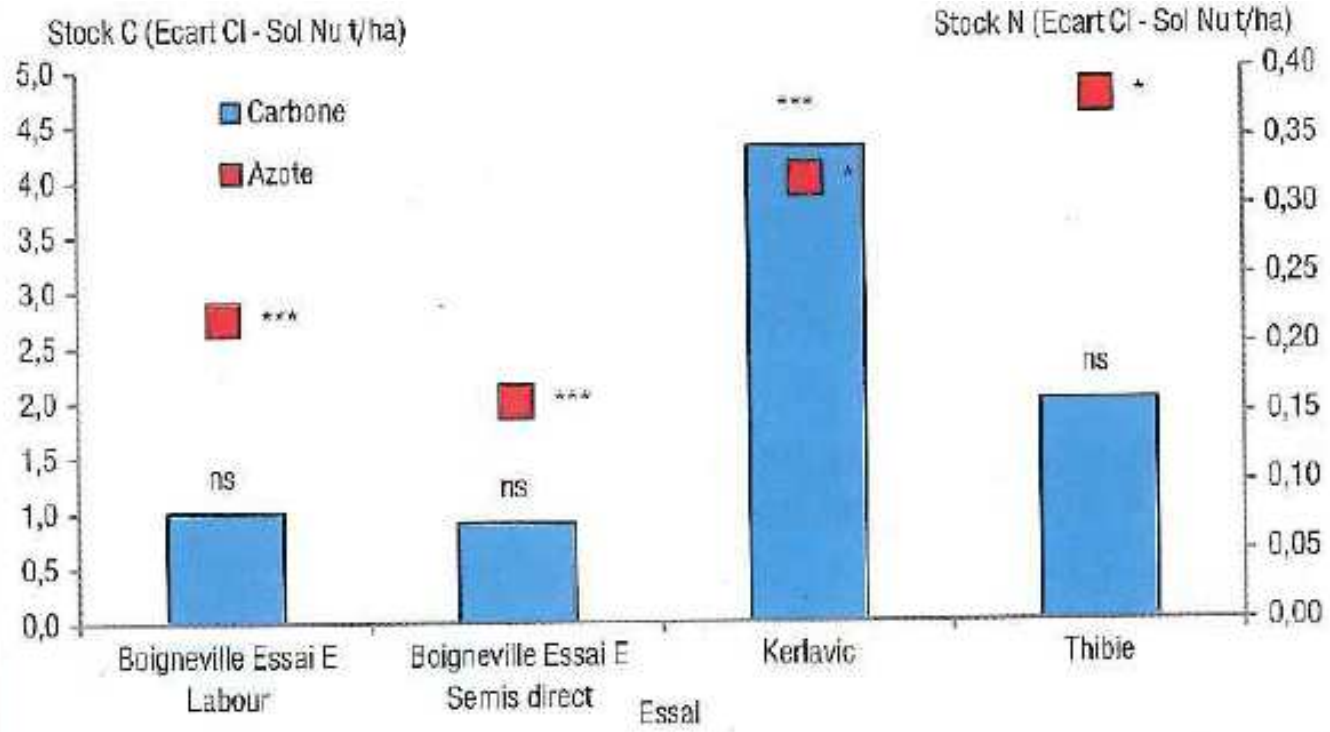
En année sèche, le travail réduit stocke du C

En période humide, il déstocke du C

Abscisse : pluie + irrigation

ARVALIS
Institut du végétal

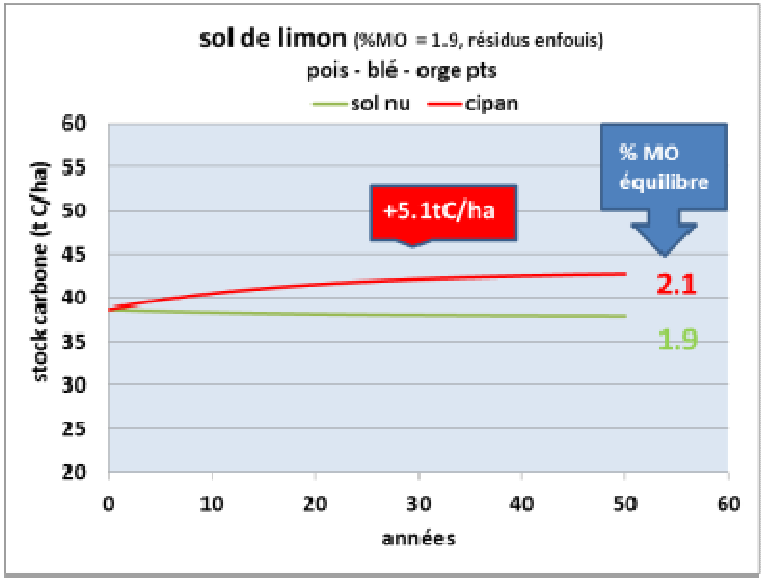
Les couverts intermédiaires: un levier essentiel sur le stock de carbone

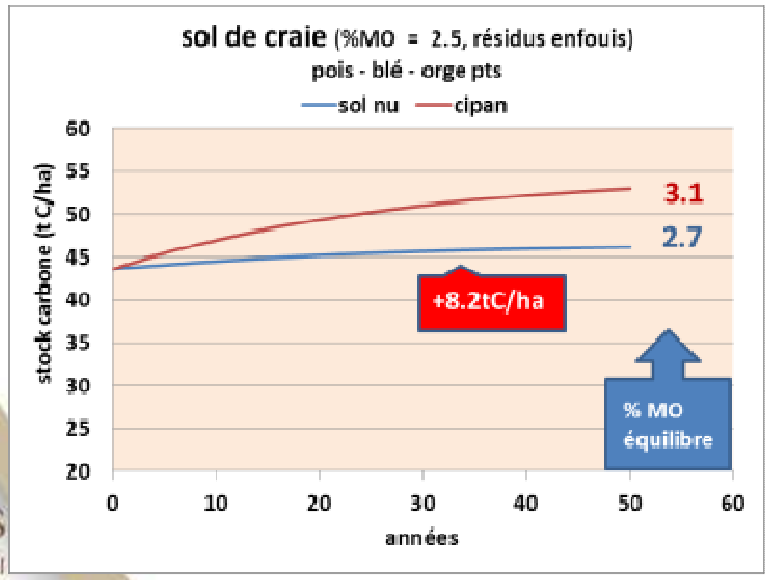


* : différence statistique significative au seuil de 10 %. *** : différence statistiquement significative au seuil de 1%. ns : différence non significative.

Figure 4 : Effet de l'introduction de couvert intermédiaire sur les stocks de carbone et d'azote organique du sol. Essai « E » de Boigneville (ARVALIS-91/16 ans), de Kerlavic (CRAB-29/13 ans) et de Thible (AREP-51/17 ans). Calculs réalisés à masse de terre équivalente correspondant à la profondeur de l'ancien labour (de 23 à 30 cm selon les essais). Données reprises de Constantin et al. 2010.

Cultures intermédiaires
2.4 MT C / an

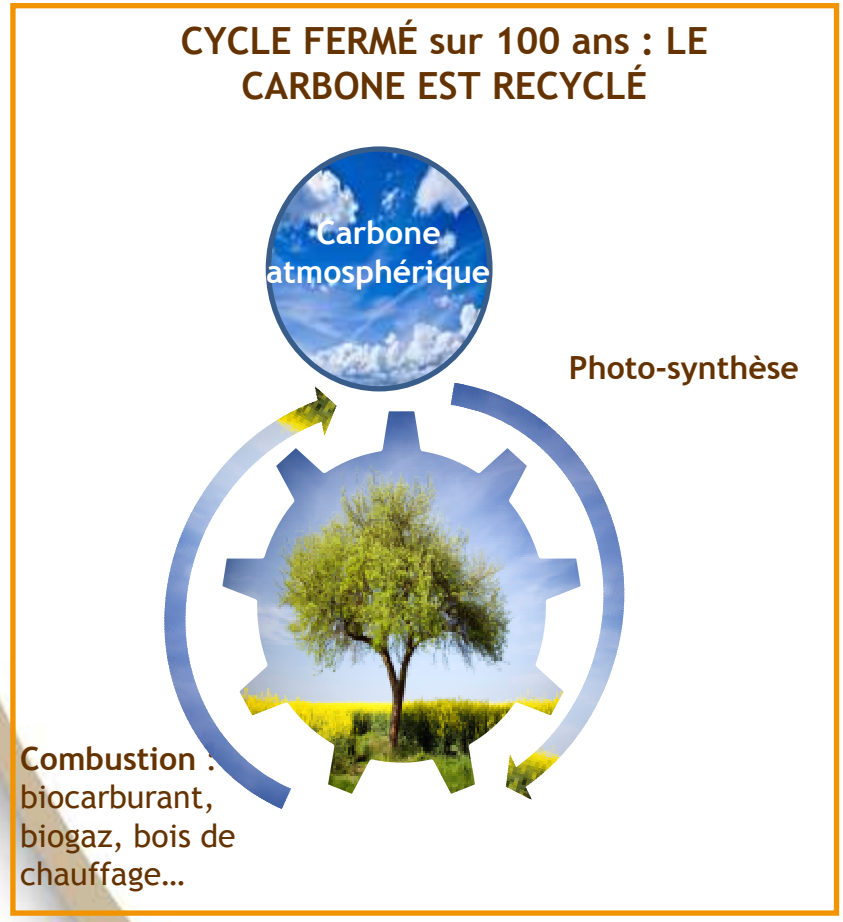




ARVALIS
Institut du végétal

Produire de l'énergie à partir de biomasse agricole économise du carbone fossile

Pourquoi ?



ARVALIS
Institut du végétal

Produire de l'énergie à partir de biomasse agricole

- Pourquoi ?
  - La biomasse (agricole et forestière) se substitue aux énergies fossiles

Année		Transfo Energie	Industrie	Résidentiel	Agric/sylv	Transport routier	Autres transport	Total
1990	Bilan du secteur	77	157	89	117	110	7.6	557
	Biomasse hors bilan	*3.4*	*7*	*31*	*0.2*			*42*
2008	Bilan du secteur	65	113	99	108	122	9.1	516
	Biomasse hors bilan	*7.2*	*8.7*	*26*	*0.2*	*7*	*0.2*	*49*

ARVALIS Institut du végétal

Produire de l'énergie à partir de biomasse agricole

Chiffrage :

- Hypothèse : 20% des tonnages produits en SCOP+Betterave ont une valorisation énergétique

- 20% des tonnages (~86 MT)équivalent

  à 240×10^9 MJ

  21 M T éq CO2

- Selon le rendement de la filière énergétique cela correspond à une économie de C fossile par substitution de

  4 M T éq CO2 (rendt de 20%) à 21 M T éq CO2 (rendt de 100%)

ARVALIS
Institut du végétal

Récapitulatif

Actions	Réduction ou émissions évitées en kg éq CO2/ha/an	Réduction ou émissions évitées total France en MTCO2/an	compatible avec
Optimisation fertilisation	30 kgN/ha	1.5-2.3	Kyoto
Cultures intermédiaires	200-300	0.8-1.0	-
Techniques sans labour	100-200 kg C/ha/an	1.8-3.6	
Sous total		4-7	
Produire de l'énergie		4-21	Kyoto (pour le secteur énergie ou transport)
TOTAL		8 à 28	

ARVALIS
Institut du végétal

Etude Atténuation des émissions de GES
(INRA, ADEME, MAAF, MEDDE)

- Identifier **10 actions** (26 sous actions) permettant de réduire les émissions de GES du secteur agricole et chiffrer le **potentiel d'atténuation et le coût**, à l'échelle du territoire métropolitain, à l'horizon 2030

- Centrées sur les **pratiques** et l'atténuation sur le périmètre **de l'exploitation agricole** (émissions induites, forêt et biomasse énergétiques exclues)

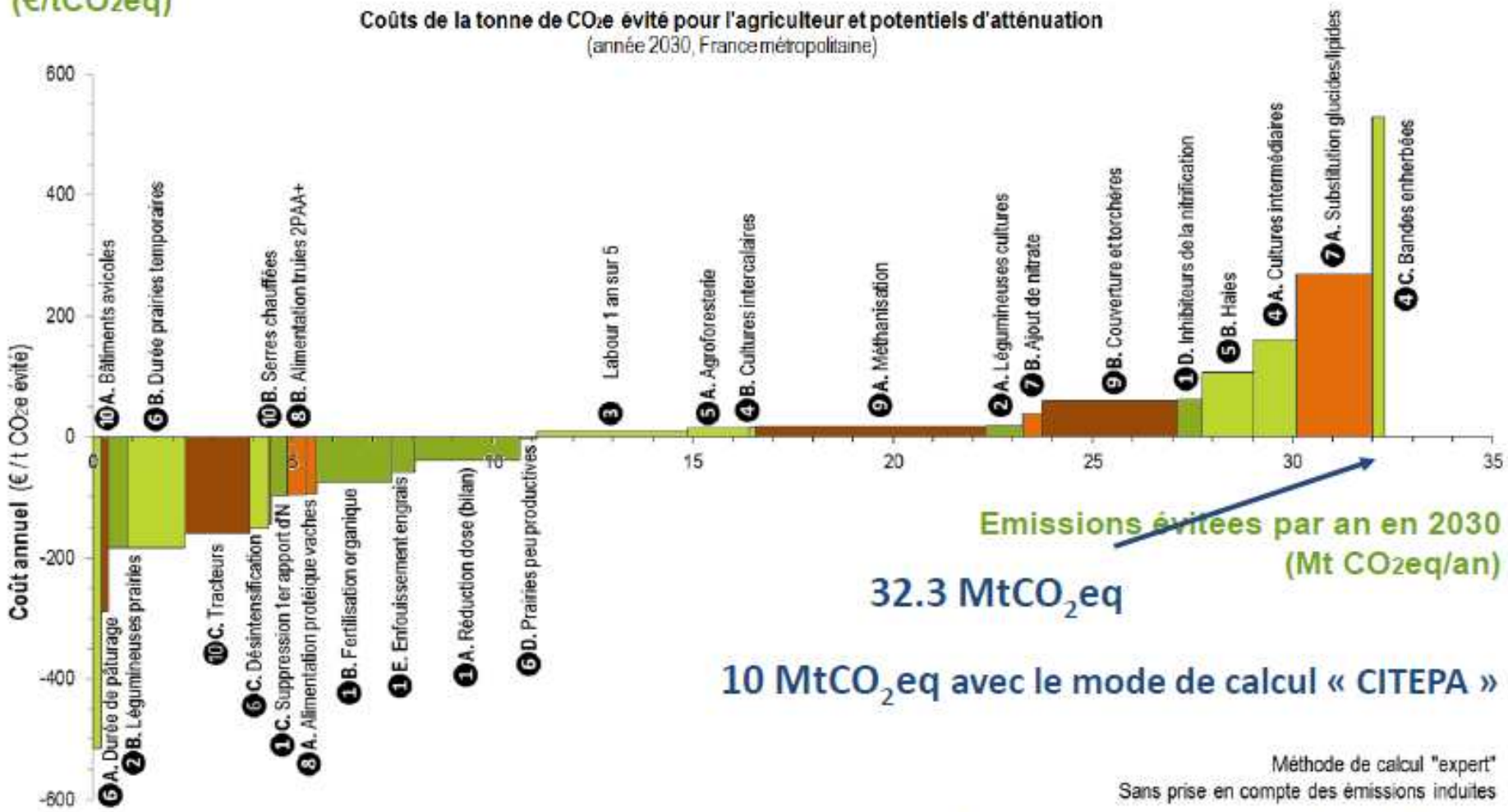
- Sans **remise en cause du potentiel productif**, des systèmes de production, de leur localisation

Les 10 propositions de l'INRA

	Actions	Sous-actions
Diminuer les apports de fertilisants minéraux azotés		
↘ N_2O	❶ Réduire le recours aux engrais minéraux de synthèse, en les utilisant mieux et en valorisant plus les ressources organiques, pour réduire les émissions de N_2O	A. Réduire la dose d'engrais minéral en ajustant mieux l'objectif de rendement
		B. Mieux substituer l'azote minéral de synthèse par l'azote des produits organiques
		C1. Retarder la date du premier apport d'engrais au printemps C2. Utiliser des inhibiteurs de la nitrification C3. Enfouir dans le sol et localiser les engrais
↘ N_2O	❷ Accroître la part de légumineuses en grande culture et dans les prairies temporaires, pour réduire les émissions de N_2O	A. Accroître la surface en légumineuses à graines en grande culture
		B. Augmenter et maintenir des légumineuses dans les prairies temporaires
Stocker du carbone dans le sol et la biomasse		
↘ CO_2	❸ Développer les techniques culturales sans labour pour stocker du C dans le sol	3 options techniques : passer au semis direct continu, passer au labour occasionnel, passer au travail superficiel du sol
↘ CO_2 ↘ N_2O	❹ Introduire davantage de cultures intermédiaires, de cultures intercalaires et de bandes enherbées dans les systèmes de culture pour stocker du carbone dans le sol et limiter les émissions de N_2O	A. Développer les cultures intermédiaires semées entre deux cultures de vente dans les systèmes de grande culture
		B. Introduire des cultures intercalaires en vignes et en vergers
		C. Introduire des bandes enherbées en bordure de cours d'eau ou en périphérie de parcelles
↘ CO_2	❺ Développer l'agroforesterie et les haies pour favoriser le stockage de carbone dans le sol et la biomasse végétale	A. Développer l'agroforesterie à faible densité d'arbres
		B. Développer les haies en périphérie des parcelles agricoles
↘ CO_2 ↘ N_2O	❻ Optimiser la gestion des prairies pour favoriser le stockage de carbone et réduire les émissions de N_2O	A. Allonger la période de pâturage
		B. Accroître la durée de vie des prairies temporaires
		C. Réduire la fertilisation azotée des prairies permanentes et temporaires les plus intensives
		D. Intensifier modérément les prairies permanentes peu productives par augmentation du chargement animal
Modifier la ration des animaux		
↘ CH_4	❼ Substituer des glucides par des lipides insaturés et utiliser un additif dans les rations des ruminants pour réduire la production de CH_4 entérique	A. Substituer des glucides par des lipides insaturés dans les rations
		B. Ajouter un additif (nitrate) dans les rations
↘ N_2O	❽ Réduire les apports protéiques dans les rations animales pour limiter les teneurs en azote des effluents et les émissions de N_2O	A. Réduire la teneur en protéines des rations des vaches laitières
		B. Réduire la teneur en protéines des rations des porcs et des truies
Valoriser les effluents pour produire de l'énergie, réduire la consommation d'énergie fossile		
↘ CH_4	❾ Développer la méthanisation et installer des torchères, pour réduire les émissions de CH_4 liées au stockage des effluents d'élevage	A. Développer la méthanisation
		B. Couvrir les fosses de stockage et installer des torchères
↘ CO_2	❿ Réduire, sur l'exploitation, la consommation d'énergie fossile des bâtiments et équipements agricoles pour limiter les émissions directes de CO_2	A. Réduire la consommation d'énergie fossile pour le chauffage des bâtiments d'élevage
		B. Réduire la consommation d'énergie fossile pour le chauffage des serres
		C. Réduire la consommation d'énergie fossile des engins agricoles

ARVALIS Institut du végétal

Coût annuel de la tonne de CO_2e évitée (€/tCO_2eq)



Source: Pellerin, Bamière et al (2013)

Contribution de l'agriculture à l'atténuation et l'adaptation au changement climatique

1- Etat des lieux: la situation française

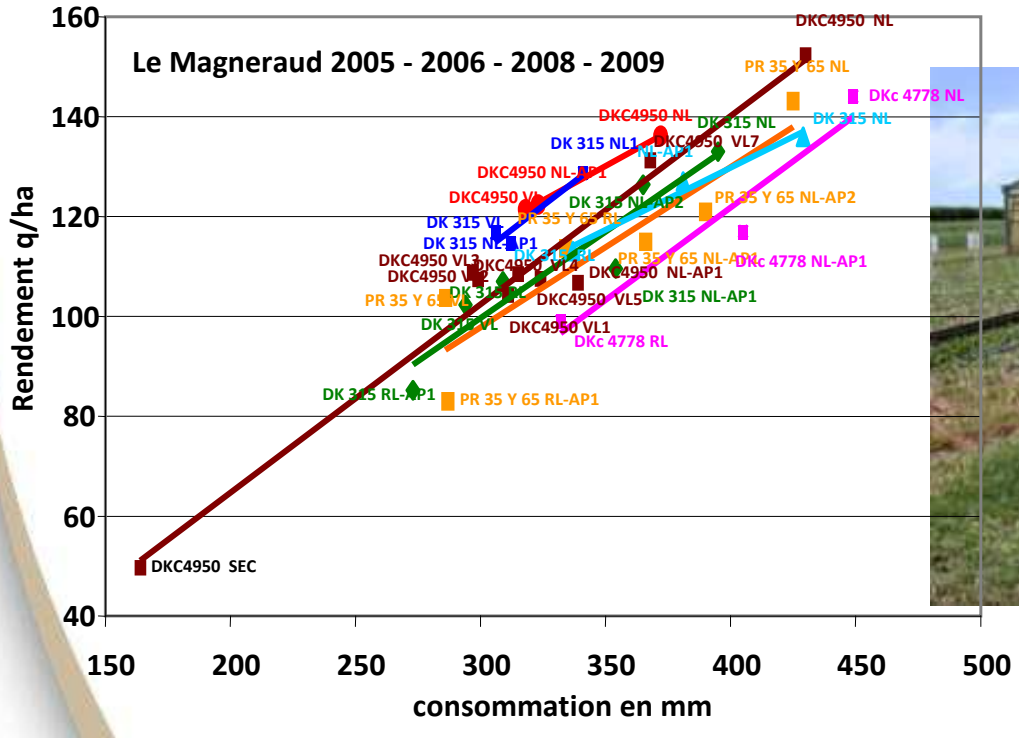
2- Stratégie d'atténuation

- Réduire l'émission de GES
- Stockage de carbone dans les sols

3- Stratégie d'adaptation

- Perspectives liées au progrès génétique
- Gestion de l'eau
- Maitrise des bioagresseurs

Phénotypage haut débit: sélectionner des variétés plus tolérantes au stress hydrique

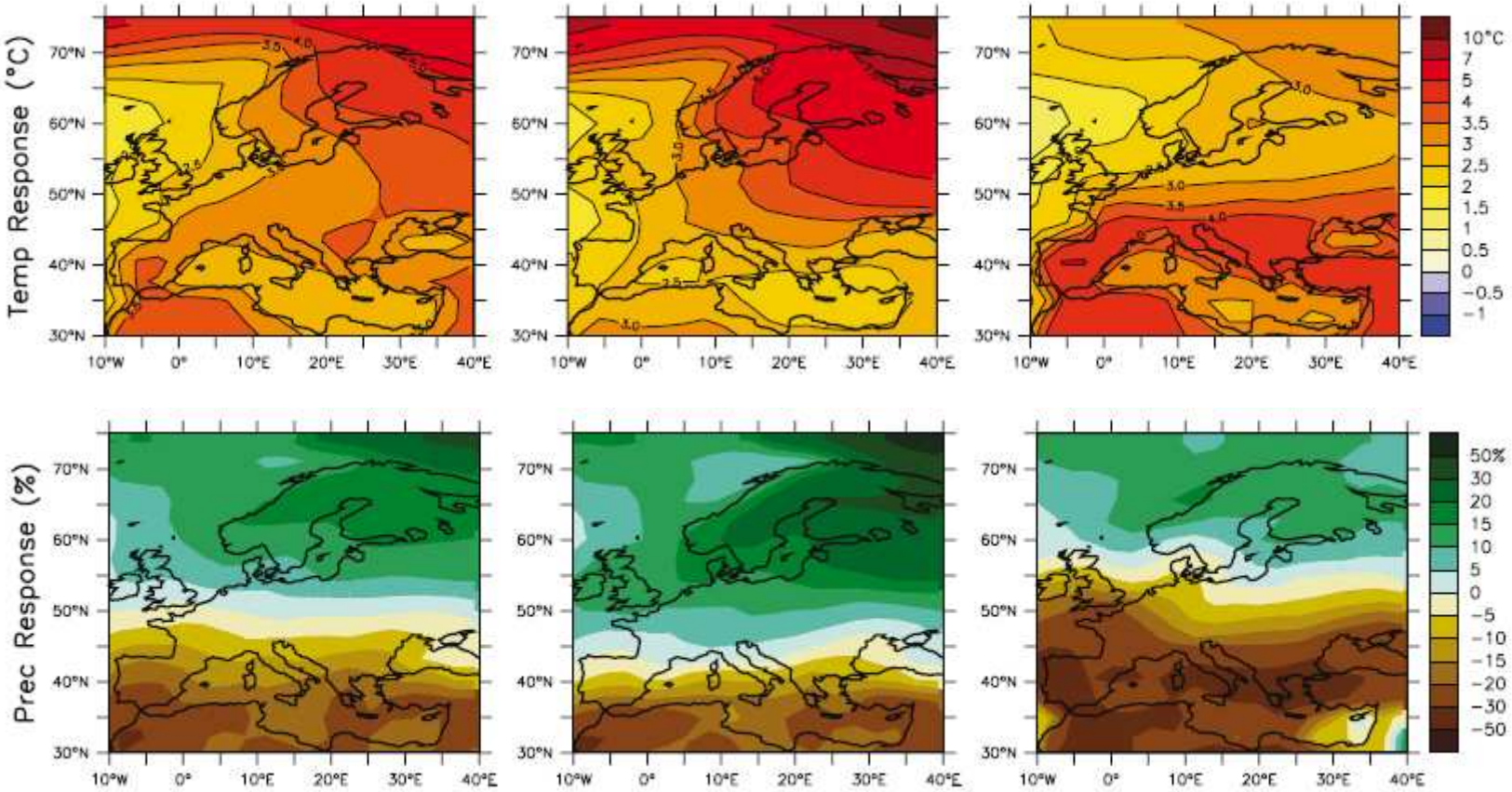


ARVALIS
Institut du végétal

AARHUS
UNIVERSITY

Projection des températures et des précipitations de1980-1999 vers 2080-2099 (A1B)

Annual Winter Summer

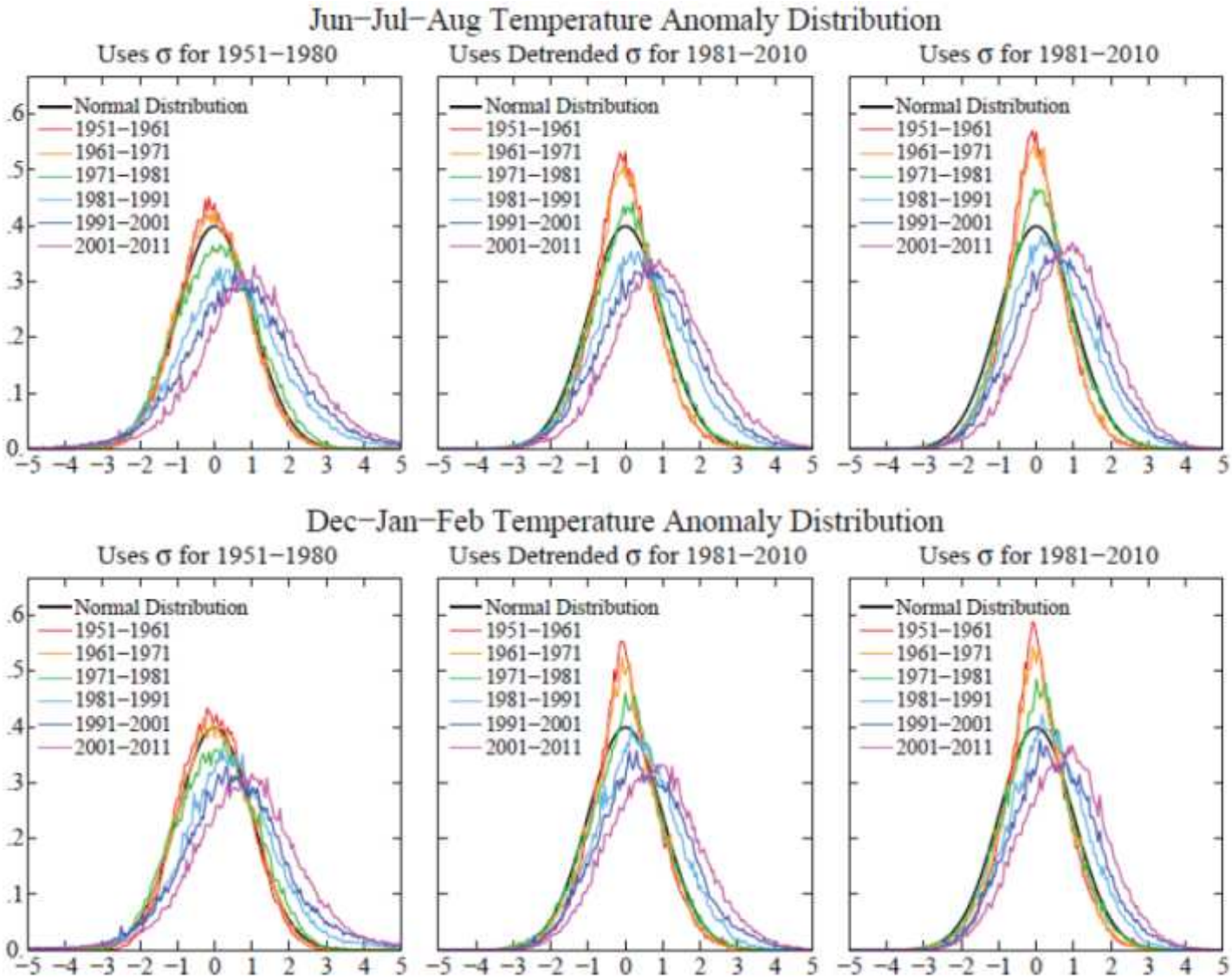


IPCC

ARVA
Institut du végétal

AARHUS UNIVERSITY

Plus forte variabilité des températures



ARVAL Institut du végétal

Hansen et al., 2011

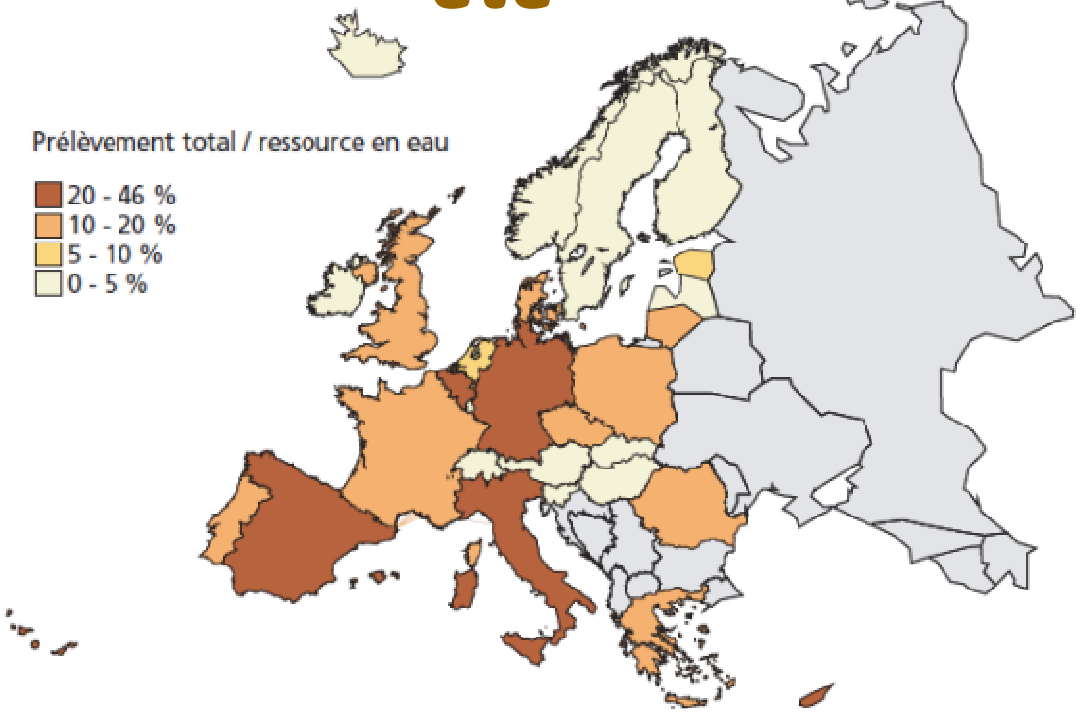
Enjeu des années futures: stocker l'eau en hiver pour mieux l'utiliser en été

Ressources en eau disponibles par habitant en Europe

Pays	Année	Ressource en eau renouvelable (milliards de m³)	Ressource en eau (m³/habitant)
Finlande	1999	110,2	21 319
Suède	2002	179,0	20 200
Estonie	-	21,1	15 391
Lettonie	-	36,2	15 296
Irlande	1994	50,3	14 568
Norvège	1996	369,0	11 979
Hongrie	2000	120,0	11 948
Slovénie	-	20,9	10 515
Autriche	1997	84,0	10 402
Portugal	1998	73,6	7 281
Grèce	1997	72,0	6 866
Lituanie	-	24,5	6 635
Pays-Bas	2001	89,7	5 788
Luxembourg	1999	1,6	3 831
France	2000	191,2	3 265
Italie	1998	175,0	3 040
Espagne	2001	111,1	2 797
Royaume-Uni	2000	143,1	2 694
Allemagne	2001	188,0	2 218
Pologne	2002	63,1	1 633
Belgique	1998	16,5	1 619
Rép. Tchèque	2002	16,0	1 556
Danemark	2001	16,0	1 165
Chypre	-	0,8	1 035
Malte	-	0,1	176
Bulgarie	-	-	-

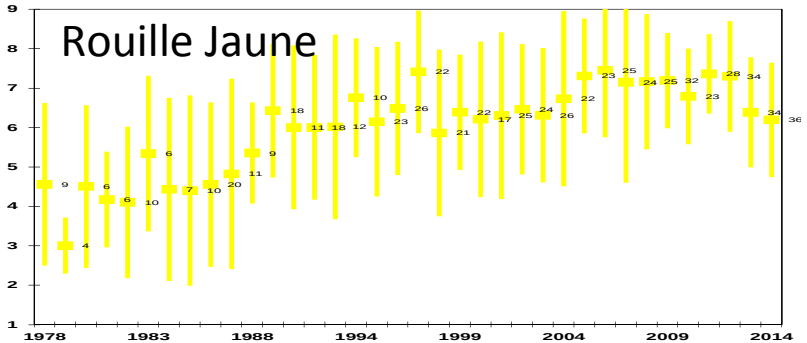
Source : Eurostat.

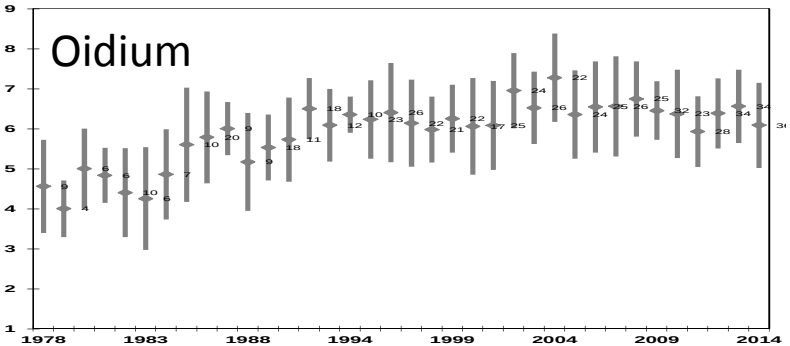
Intensité d'exploitation de l'eau en Europe

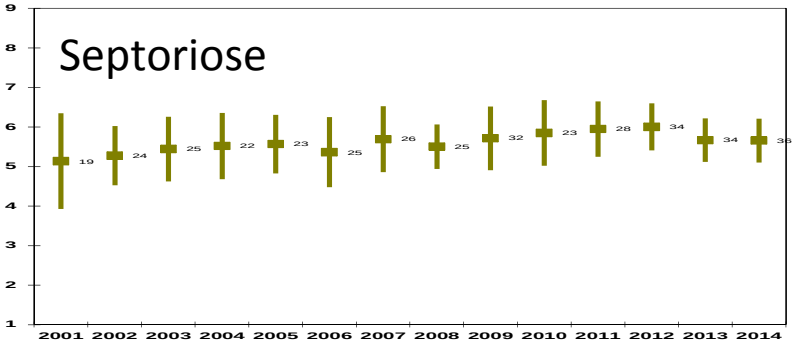


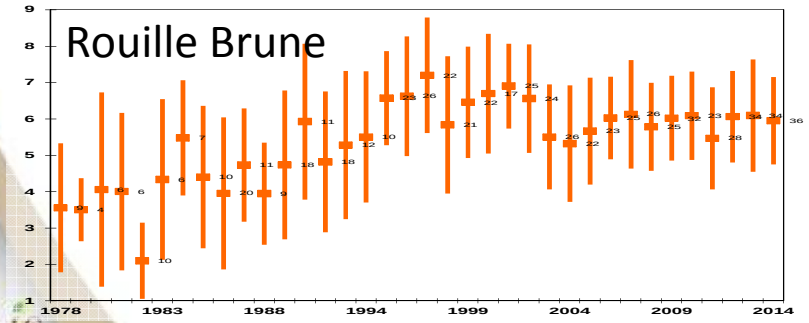
Source : Eurostat, 2005. Traitements : Ifen, 2005.

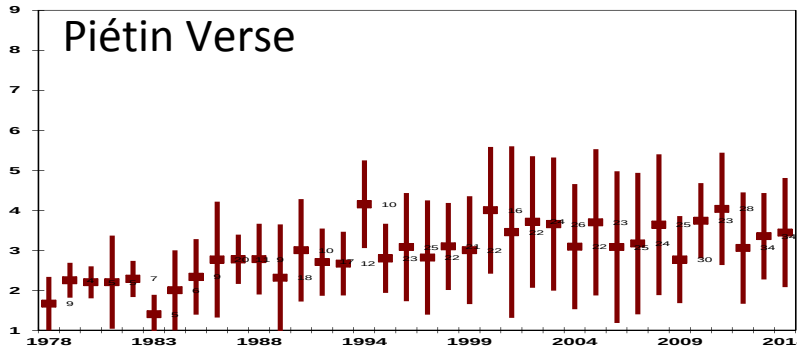
Poursuivre la sélection de variétés résistantes aux bioagresseurs











Conclusions

1- Réduire les émissions: enjeu faible = 1.2 %

→Raisonner (pilotage), économiser N (légumineuses et engrais azotés)

→Biocarburants et biocombustibles / pétrole, gaz

2- Séquestrer le carbone: enjeu = 3 à 4 Mds de t C dans la matière organique des sols

→ Augmenter la production de biomasse /ha

3- Stratégies d'adaptation:

→ Variétés résistantes (sécheresse, températures, maladies,…)

→Planifier la gestion de l'eau (création de réserves)

Merci de votre attention