

Impact sur le climat des modes de culture

Claude Aubert

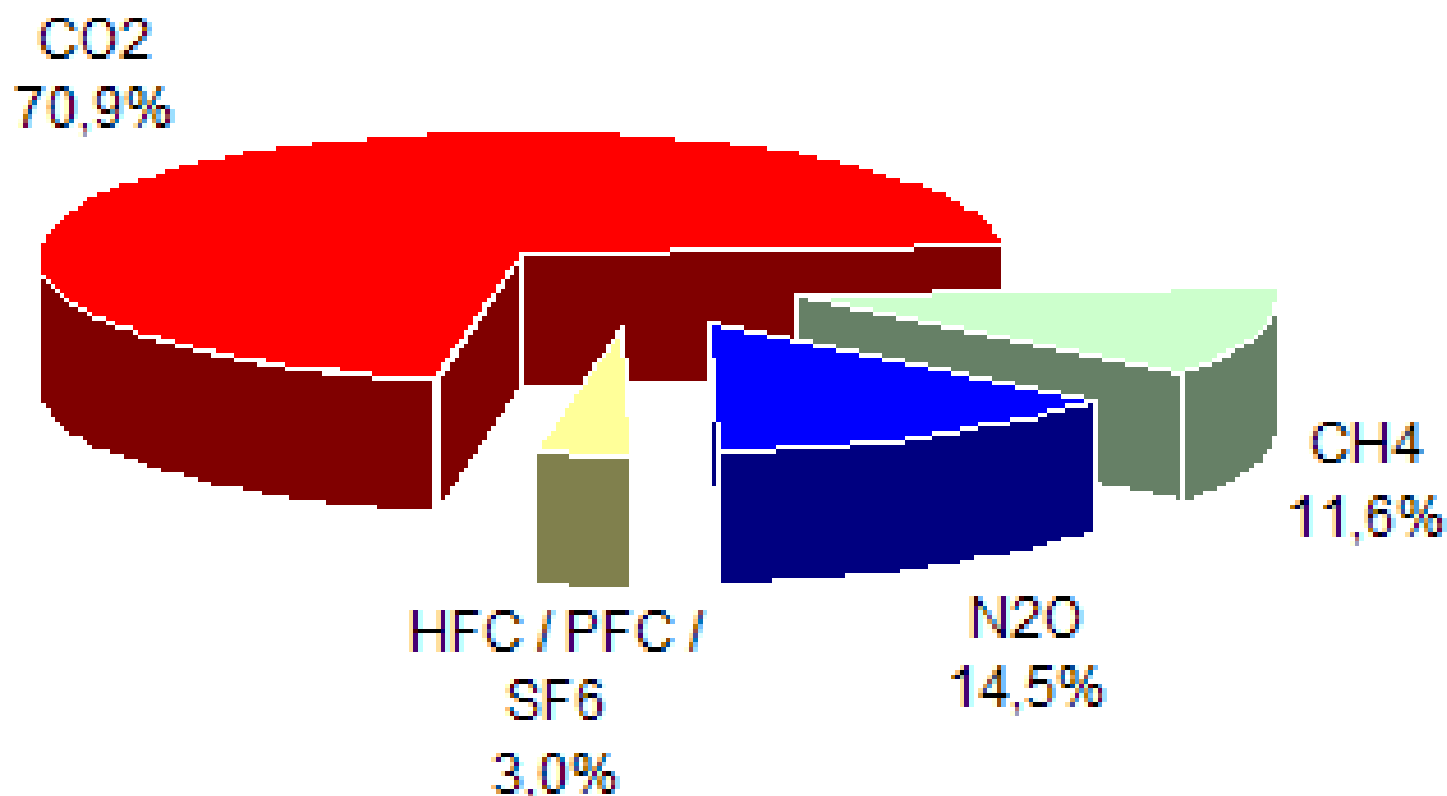
Ingénieur agronome INAPG

Université d'automne Sauvons le Climat, Autrans, 9 octobre 2009

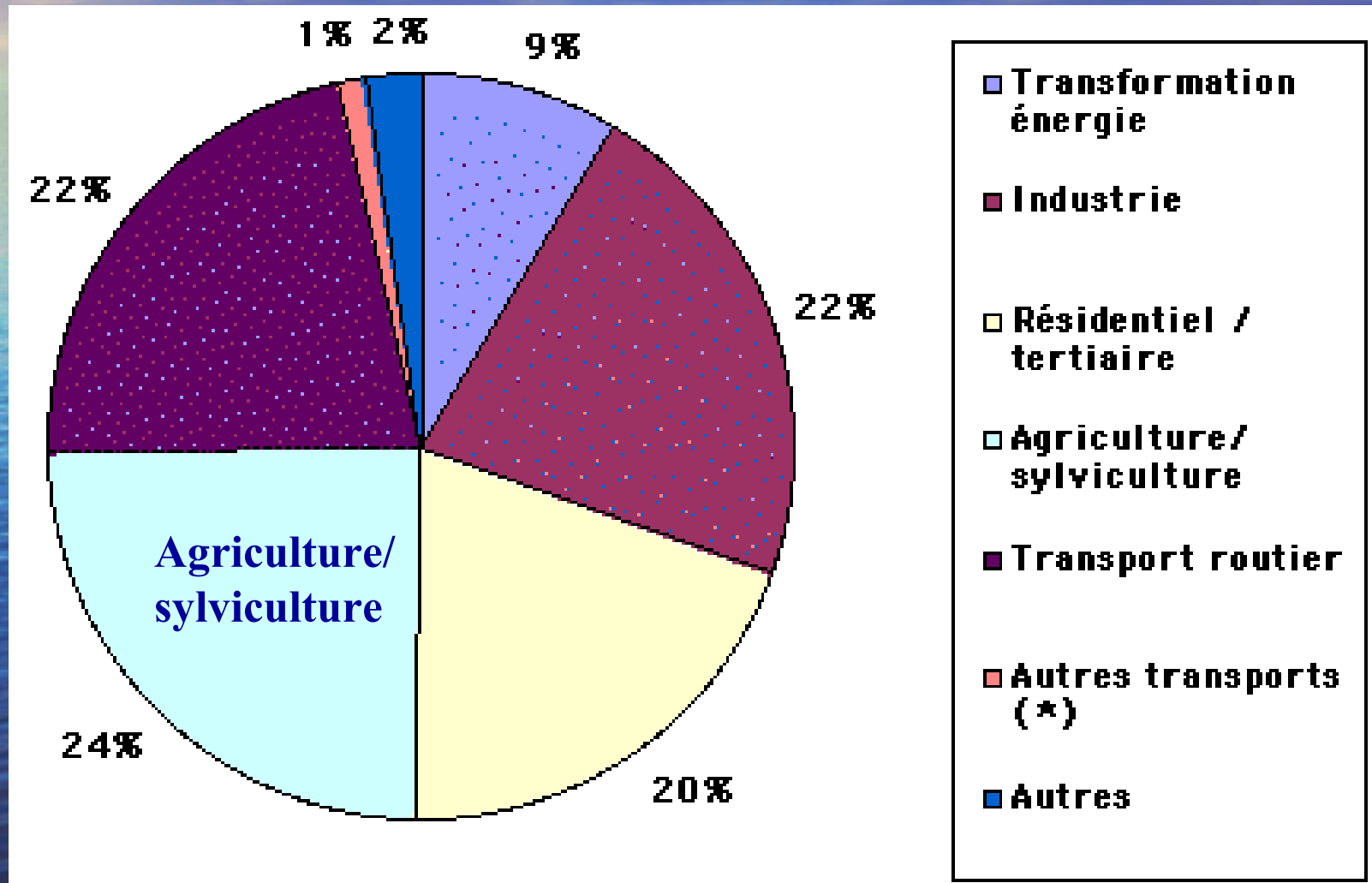
Le contenu de notre assiette,
c'est $\frac{1}{3}$ de l'effet de serre,
trois fois plus que nos voitures



Contribution du CO₂, du méthane (CH₄) et du protoxyde d'azote (N₂O) à l'effet de serre



Part de l'agriculture dans les émissions de gaz à effet de serre



LES EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE PAR L' AGRICULTURE

(en % du total des émissions en France)

- **Gaz carbonique (CO₂)**
Fabrication des engrais et des pesticides,
mécanisation agricole, transports **4%**
 - **Méthane (CH₄)**
Digestion des ruminants **5,5%**
Déjections **2,5%**
 - **Protoxyde d'azote (N₂O)**
Emissions des sols cultivés **11%**
et des déjections animales **1%**
Fabrication des engrais azotés
- Total 24%**



1kg de méthane = 25kg de CO₂ (57kg à l'horizon 2050)
1kg de protoxyde d'azote = 310kg de CO₂

1 – Réduire les consommations d'énergie

- Réduire le travail du sol
- Mieux utiliser le matériel agricole
- Utiliser les énergies renouvelables
- Produire du biogaz
- Limiter les productions sous serres chauffées
- Remplacer l'azote de synthèse par de l'azote organique

La consommation d'énergie de l'agriculture

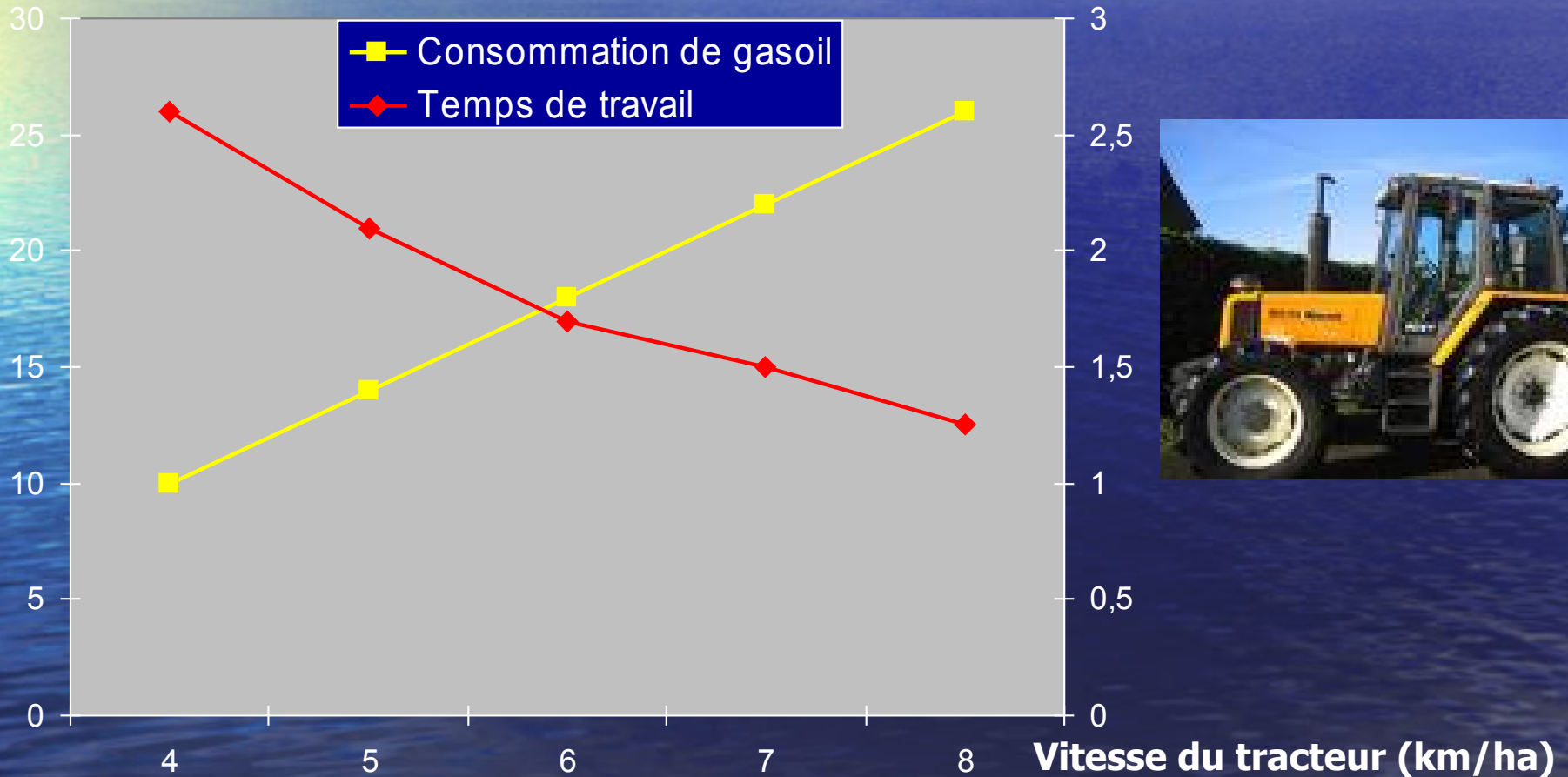
Postes de consommation	Consommation annuelle en milliers de tep
<i>Consommations directes</i>	
Tracteurs	2015
Autres véhicules à moteur	523
Serres	458
Locaux d'élevage	264
Irrigation	129
Laiteries	112
Autres	162
<i>Total consommations directes</i>	<i>3663</i>
<i>Consommations indirectes</i>	
Fabrication des engrais azotés	2500
Fabrication des produits sanitaires	500
Fabrication des aliments du bétail	700
Bâtiments et matériels	2000
<i>Total consommations indirectes</i>	<i>5700</i>
Total général	9363

Source : ADEME

Consommation de gasoil et temps de travail en fonction de la vitesse de déplacement du tracteur

Consommation de gasoil (l/ha)

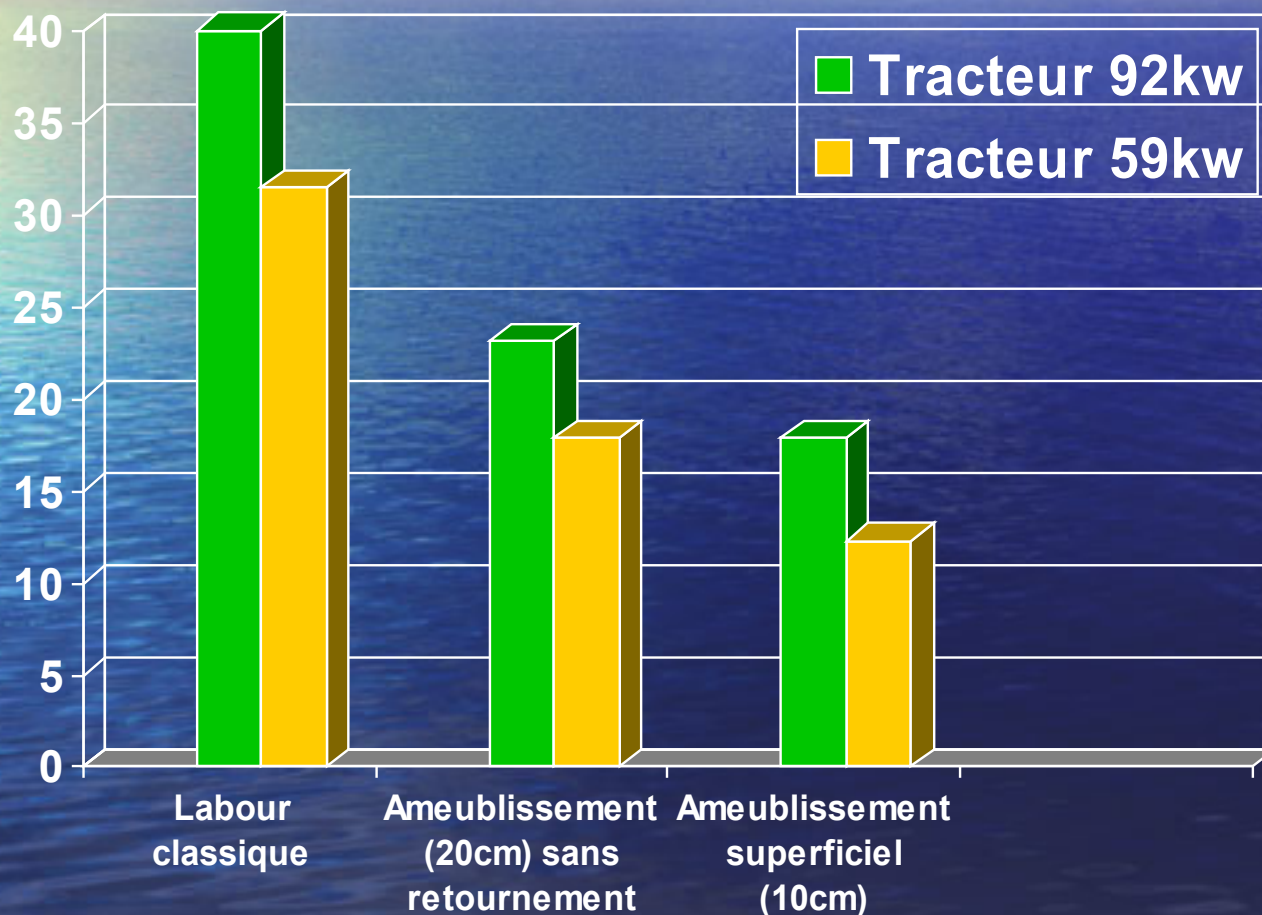
Temps de travail (h/ha)



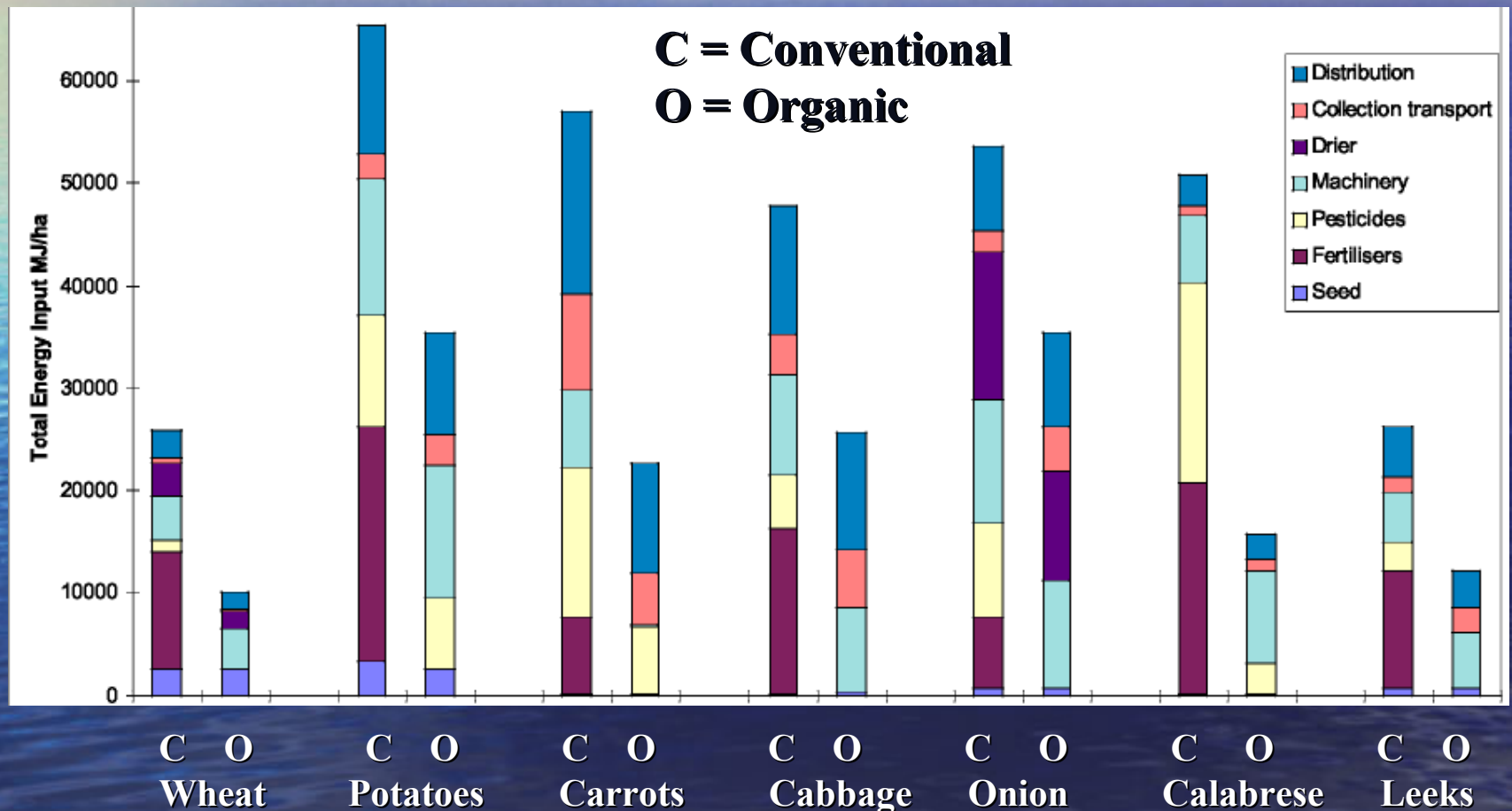
Source : Boxberger J et Moitz G, Kraftstoffbedingte CO₂-Emissionen im Ökolandbau und Reduktionspotenziale, Colloque Klimawandel und Ökolandbau, 1 et 2 décembre 2008, Göttingen

Consommation de gasoil en fonction du type de travail du sol et de la puissance du tracteur

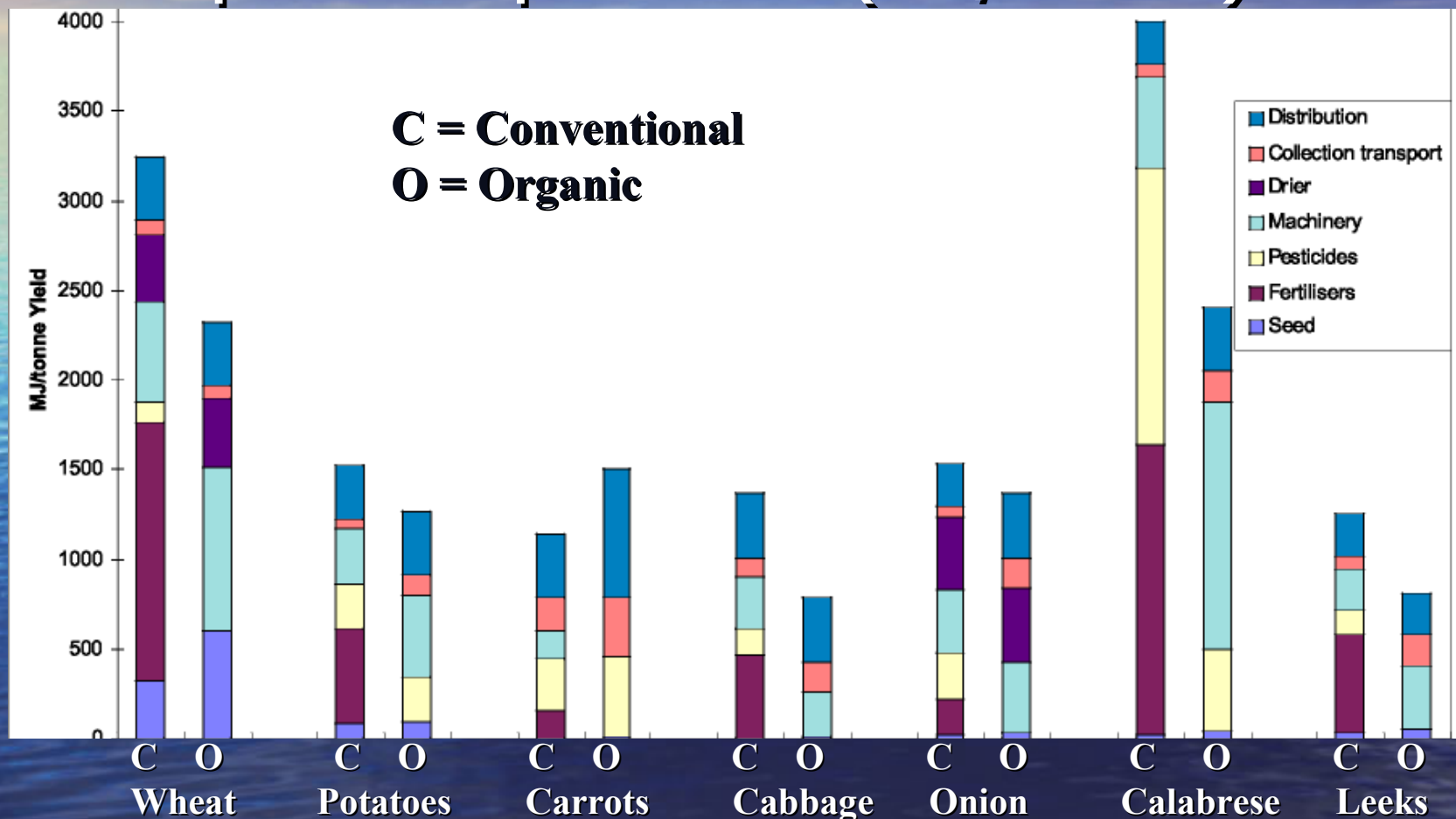
Consommation de gasoil (l/ha)



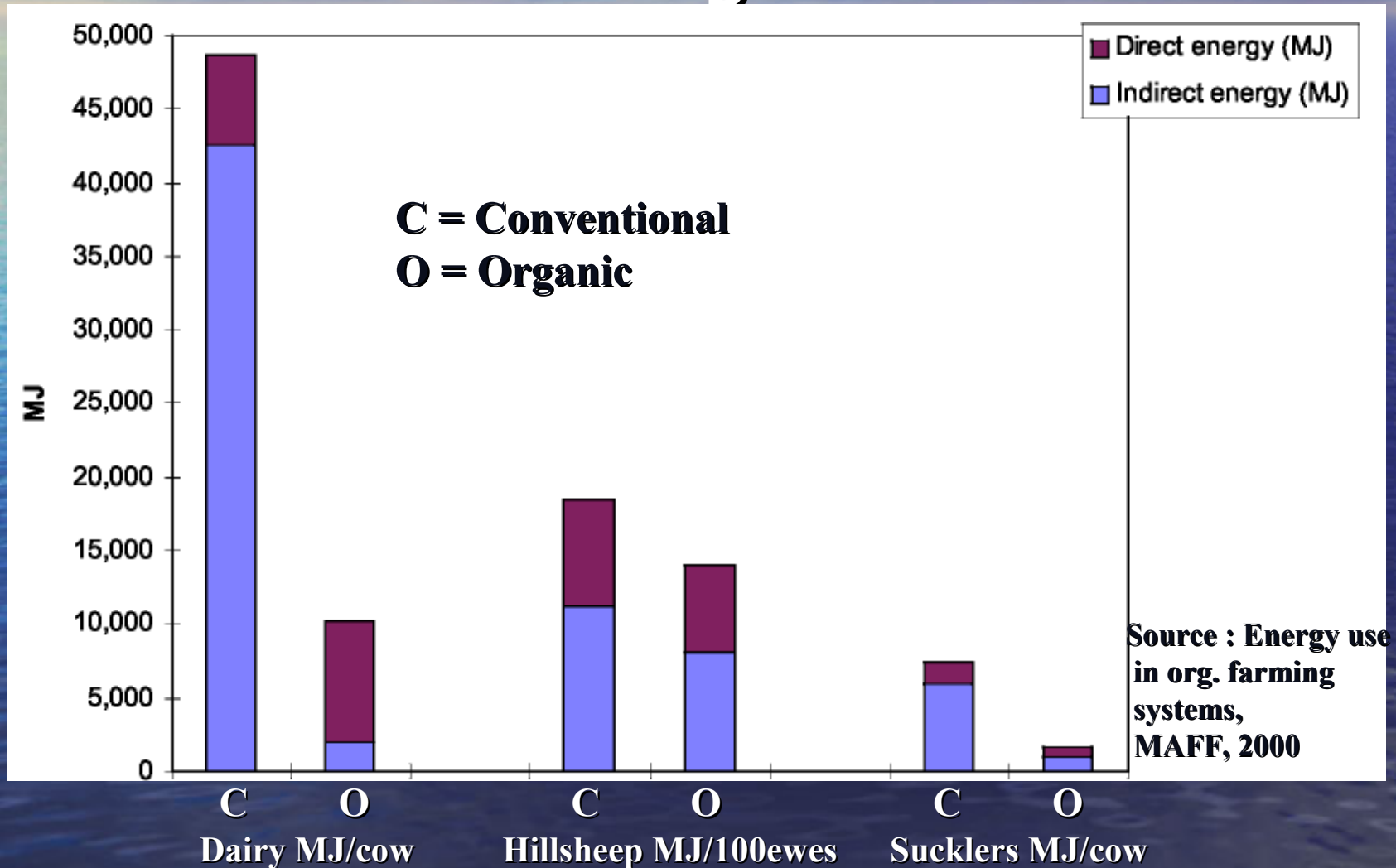
Consommation d'énergie en agriculture biologique et conventionnelle par unité de surface (MJ/ha)



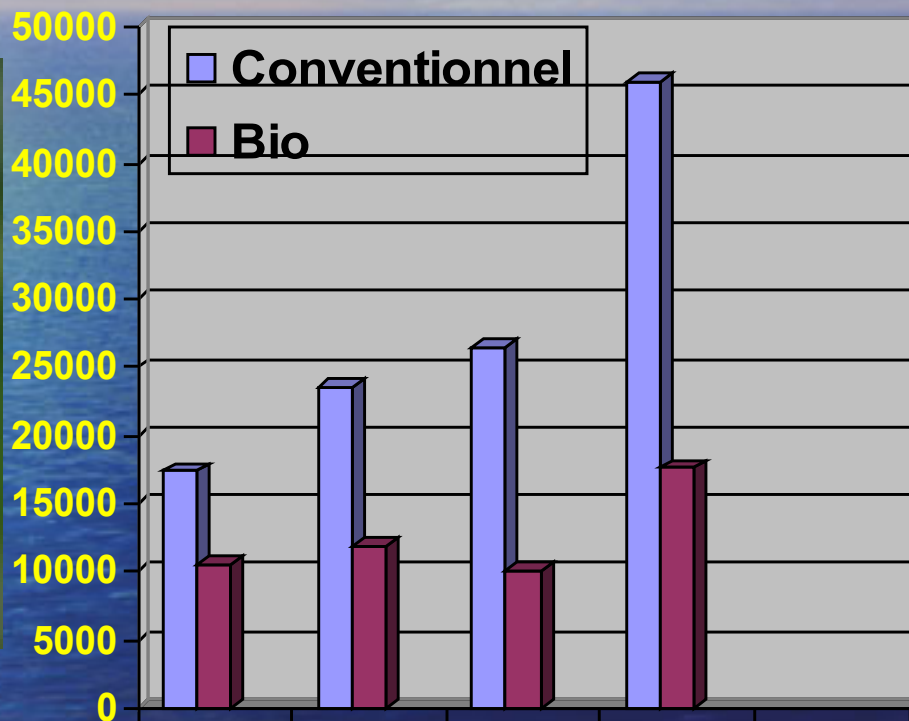
Consommation d'énergie en agriculture biologique et conventionnelle par quantité produite (MJ/tonne)



Consommation d'énergie directe et indirecte dans différents types d'élevages



Consommation d'énergie par ha en bio et en conventionnel

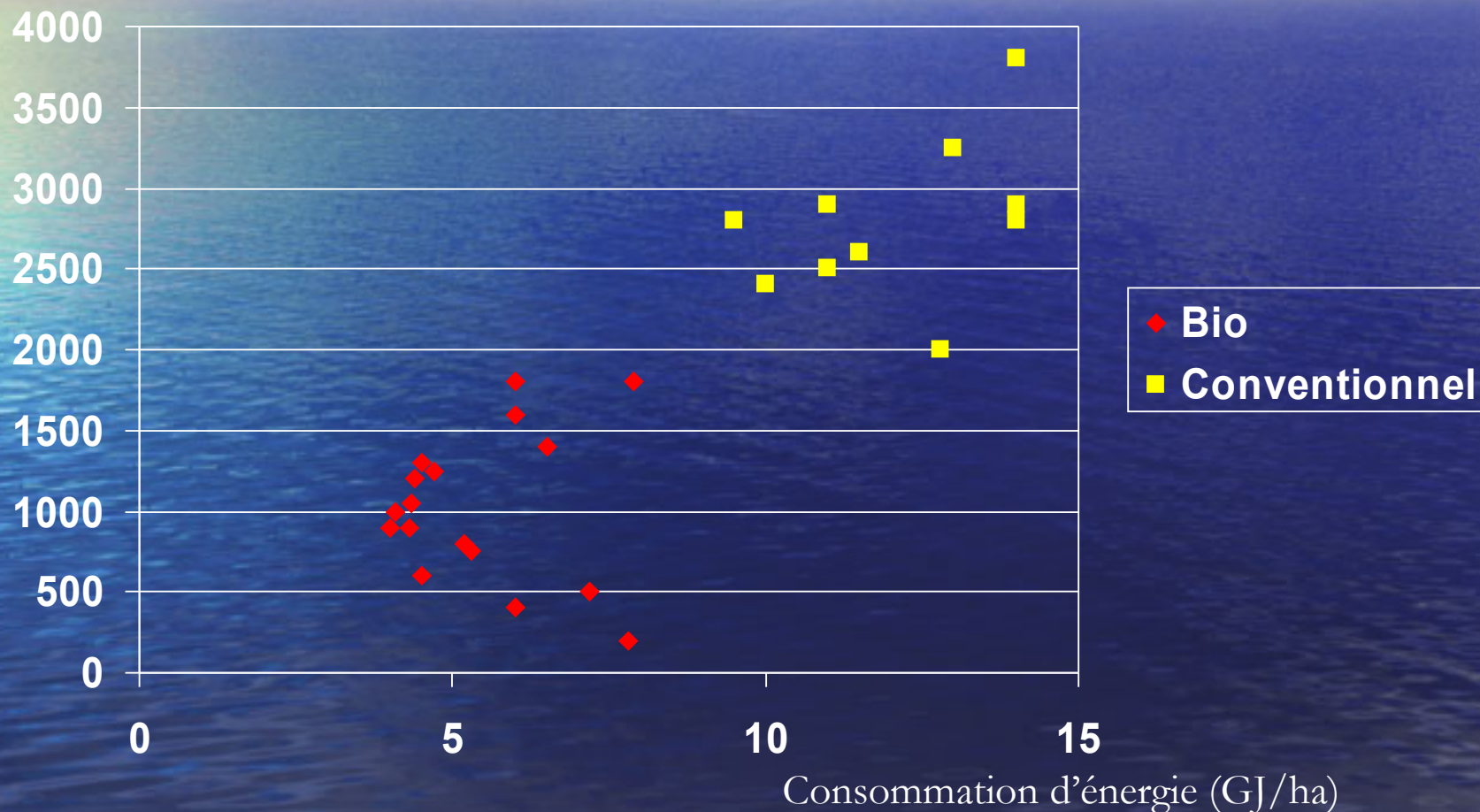


Grandes cultures France
Lait France
Blé GB
Légumes (moyenne) GB

Source : C Aubert, d'après communications au Colloque « Agriculture biologique et changement Climatique », 17-18 avril 2008, Clermont-Ferrand

Emissions de Gaz à effet de serre en fonction de la consommation d'énergie

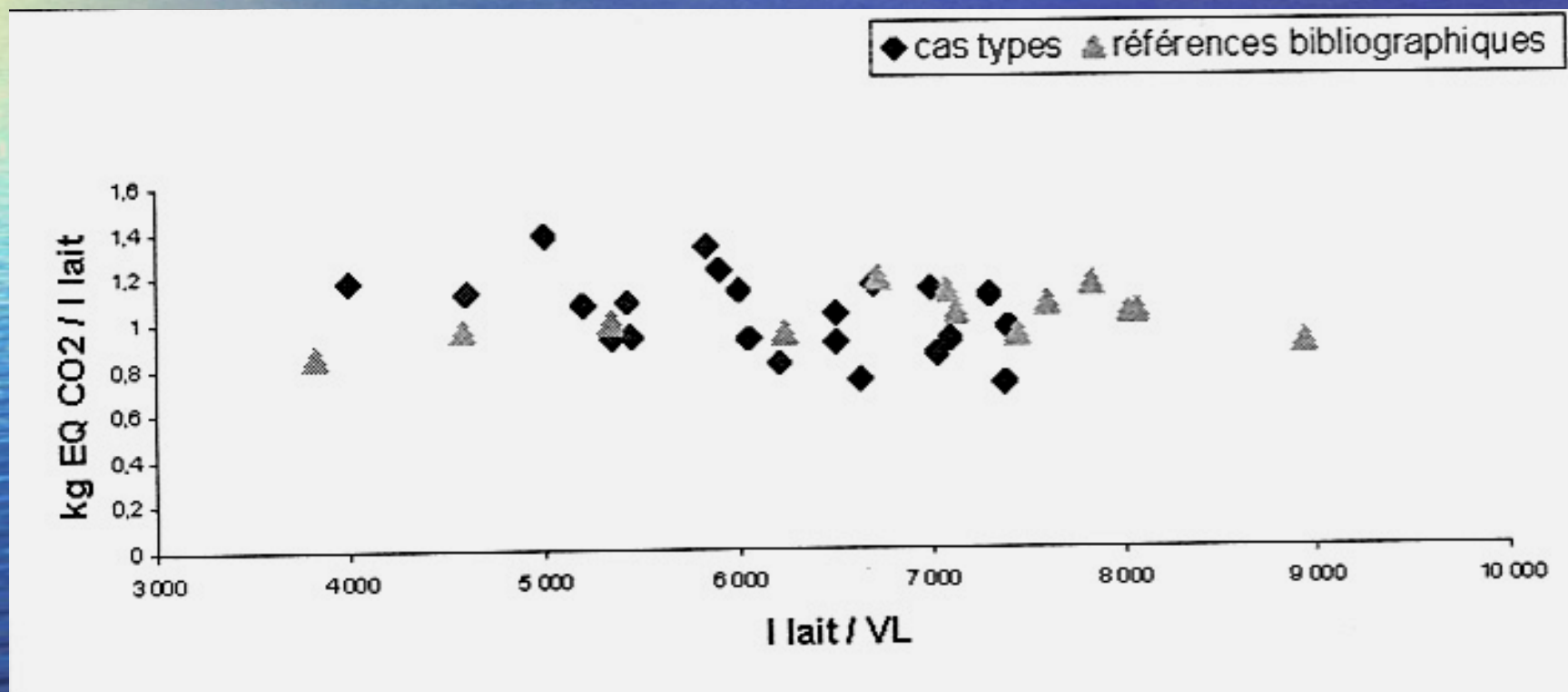
Emissions de GES
(kgCO₂eq/ha/an)



2 – Réduire les émissions de méthane

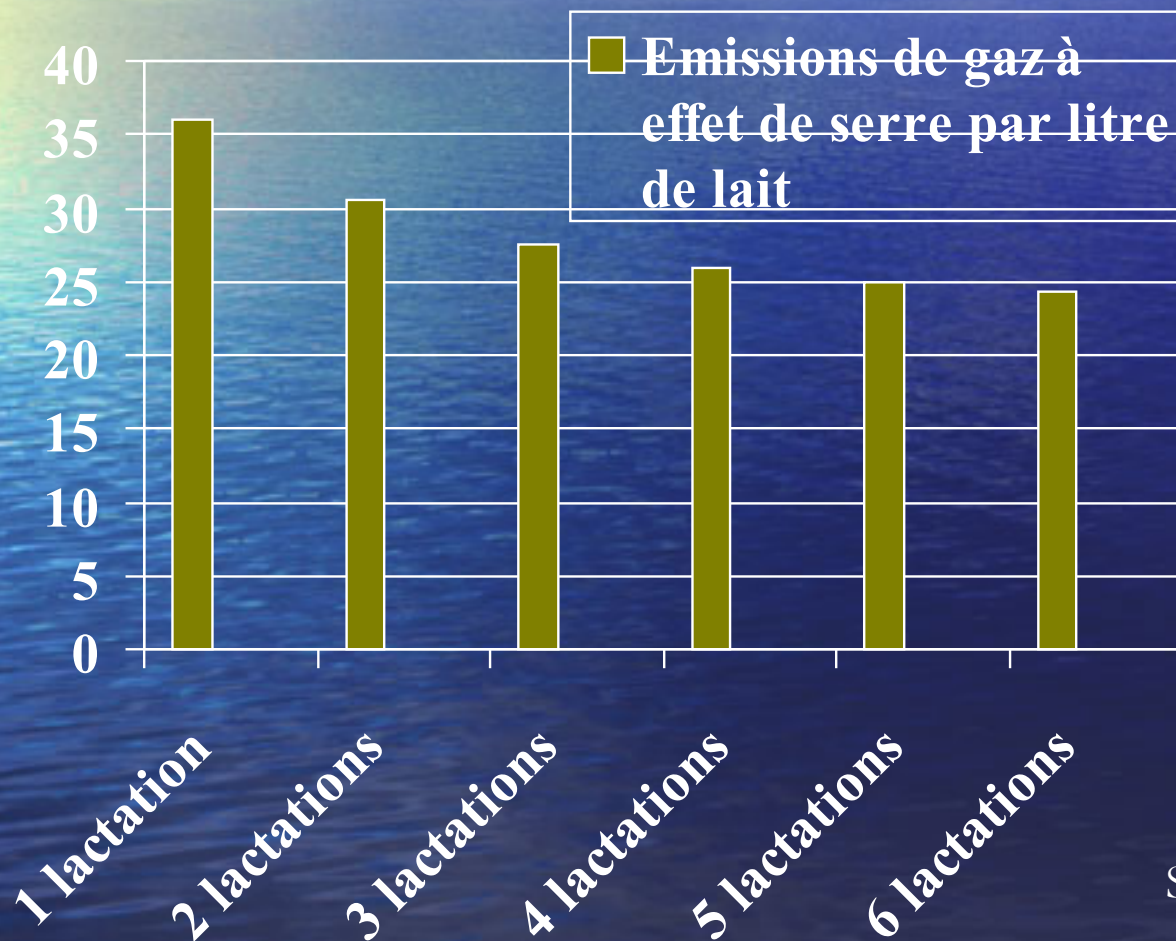
- Modifier l'alimentation des ruminants
- Augmenter la longévité des vaches laitières
- Améliorer la gestion des effluents
- Consommer moins de viande

Emissions de gaz à effet de serre par litre de lait (kg CO₂eq) selon le niveau de production



Source : S. Hacala et col., Emissions de gaz à effet de serre en élevages bovins : évaluation, perspectives d'atténuation et compensation par le stockage du carbone dans les sols prairiaux, Journées AFPF, 27-28 mars 2006

Emissions de gaz à effet de serre par litre de lait en fonction du nombre de lactations (en litres de méthane par litre de lait produit)



Source : C. Aubert

Emissions de gaz à effet de serre des effluents de porcherie selon le traitement

Gaz à effet de serre	Stockage du lisier en fosse	Séparation, compostage du solide et aération du liquide	% de réduction
CH4 (tCO2eq/porc/an)	1,02	0,004	99,6 %
N2O (tCO2eq/porc/an)	0,12	0,031	75,2%
Total (tCO2eq/porc/an)	1,14	0,035	96,9%

Emissions de gaz à effet de serre selon le mode de traitement du lisier de porc (en tCO₂eq)

	Filière classique	Traitement aérobie	Méthanisation
Emissions totales (CH ₄ + N ₂ O)	487	207	132
Emissions économisées	0	0	- 60
Bilan émissions	487	207	72

Emissions de CH₄ et N₂O par du fumier de bovins laitiers en tas ou composté

	Fumier en tas	Compost
CH₄ (T CO ₂ eq/tête/an)	0,416	0,080
N₂O (T CO ₂ eq/tête/an)	0,272	0,393
CH₄ + N₂O (T CO ₂ eq/tête/an)	0,688	0,473

Source : Quantification de la réduction des émissions de gaz à effet de serre produite par le compostage du fumier de bovins de boucherie et laitiers, Pattey E et al. *Nutrients Cyclings in Agroecosystems* n° 72, 2005

Bilan des émissions de CO2 en pâturage intensif et extensif (kg eq CO2/ha/an)

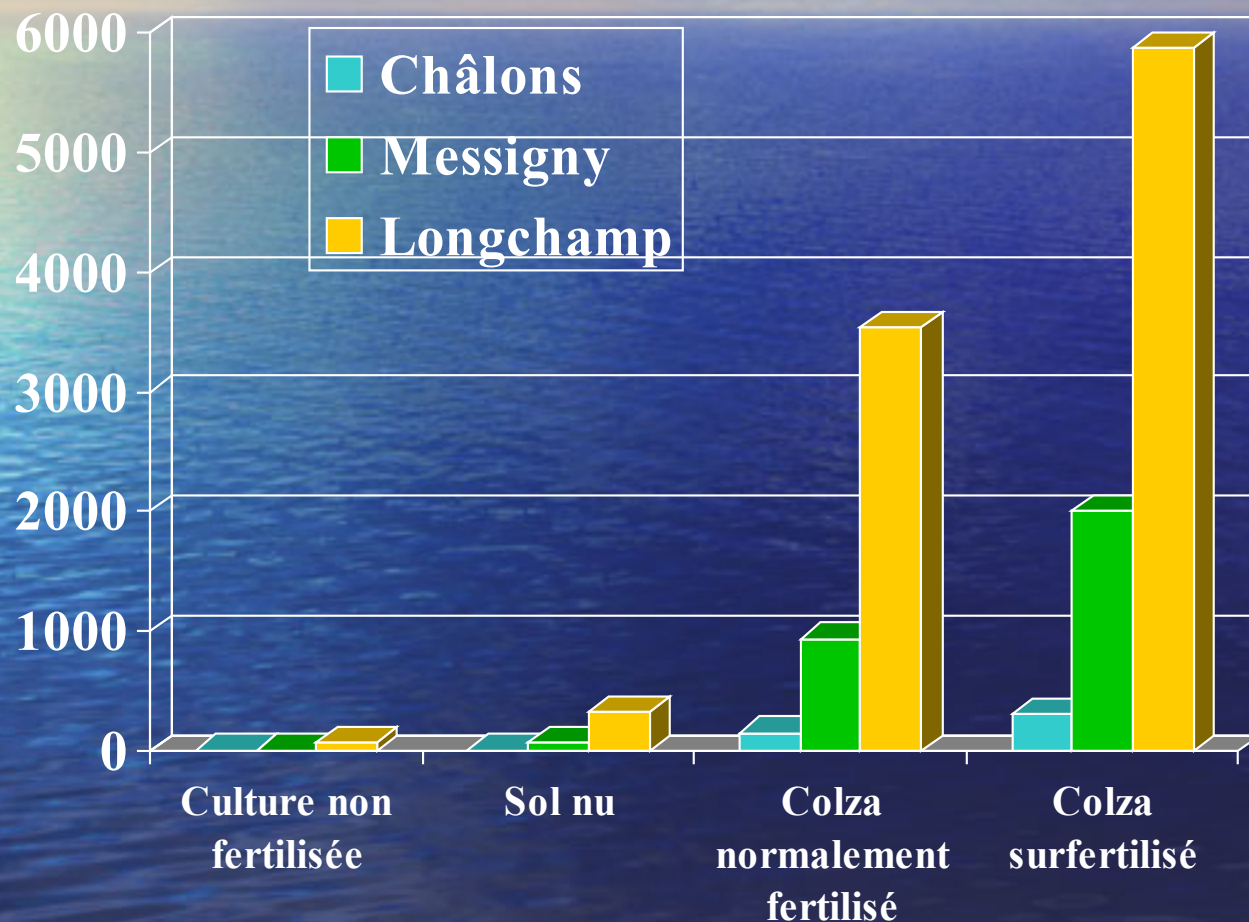
Gaz à effet de serre	Pâturage intensif	Pâturage extensif
CO2	- 376	-1395
N2O	+ 130	+ 20
CH4	+ 887	+ 456
Bilan	+ 641	- 919

Source : Soussana JJ, Sources et puits de gaz à effet de serre en prairie pâturée et stratégies de réduction, INRA, 2004

3 – Réduire les émissions de protoxyde d'azote

- Réduire les apports d'azote
- Eviter en particulier les excès d'azote
- Remplacer l'azote de synthèse par de l'azote organique
- Augmenter les cultures de légumineuses

Emissions de N₂O (en g N/ha) en 5 mois selon le lieu, l'occupation du sol et la fertilisation



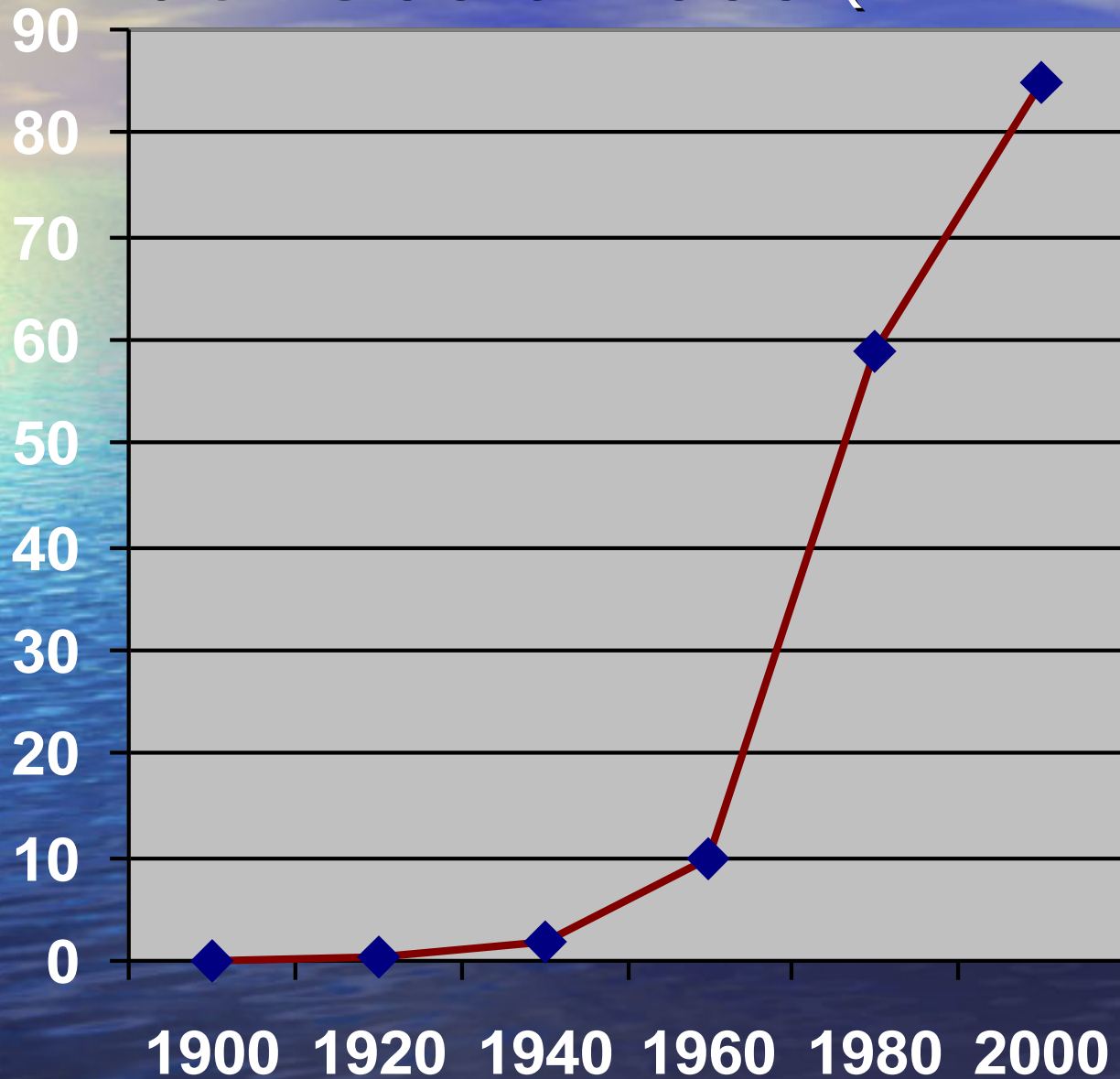
Source : Germon JC et col., 1999

Emissions de N₂O en fonction des apports d'azote (station de Scheyern, Allemagne)

Culture	Apport d'azote minéral (kg N/ha)	Emissions de N ₂ O en % de l'apport d'azote
Blé	90	3%
Blé	180	2%
Maïs	65	2%
Maïs	130	1,8%
Pomme de terre	50	11,8%
Pomme de terre	150	4,5%

Source : Flessa H et col. Integrated evaluation of greenhouse gas emissions (CO₂, CH₄, N₂O) from two farming systems in Germany, *Agriculture, Ecosystems and Environment* 91 (2002) 175-189

Production mondiale d'engrais azotés de 1900 à 2000 (en millions de tonnes)



Les émissions de gaz à effet de serre par les engrais azotés

- Energie consommée lors de la fabrication : 2,7 t CO₂eq/t N
 - Emissions de N₂O lors de la fabrication : 4,0 t CO₂eq/t N
 - Emissions directes de N₂O : 4,9 t CO₂eq/t N
 - Emissions indirectes de N₂O: 4,1 t CO₂eq/t N
- Total :** **15,7 t CO₂eq/t N**

Les engrais azotés de synthèse = environ 6%
du total des émissions de gaz à effet de serre
en France

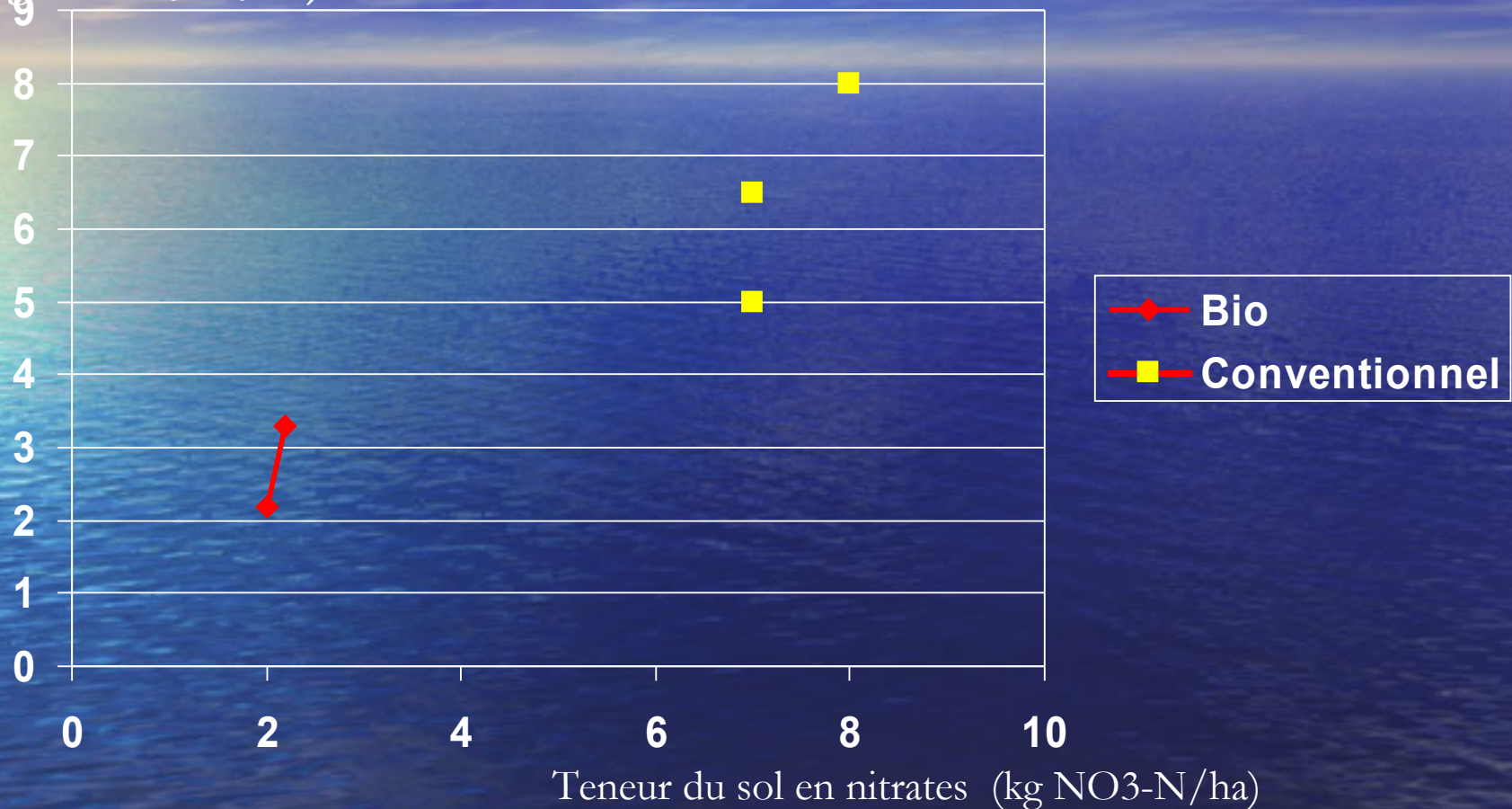
Emissions de N₂O par les cultures de légumineuses

Type de culture	Nombre d'études (lieu-années)	Emissions de N ₂ O (kg N/ha/an)	
		moyenne	Écart-type
Pérenne (pure)	16	1.8	1.3
Pérenne (avec une graminée)	5	0.4	0.3
Annuelle sans N	31	1.0	0.9
Annuelle avec N (162 kg N/ha/an)	16	1.5	1.3

Rochette P & Janzen HH. Emissions de N₂O par les légumineuses, colloque « Agriculture biologique et Changement climatique, 17-18 avril 2008, Clermont-Ferrand

Emissions de N₂O en fonction de la teneur du sol en nitrates

Emissions de N₂O
(kg N₂O-N/ha/an)



Source : Sehy U (2004) N₂O Freisetzungz landwirtschaftlich genutzter Böden unter den Einfluss Von Bewirtschaftung- Witterungs- und Standort Faktoren. Dissertation TU-München-Weihenstephan, Institut für Bodenbiologie, 173 p.

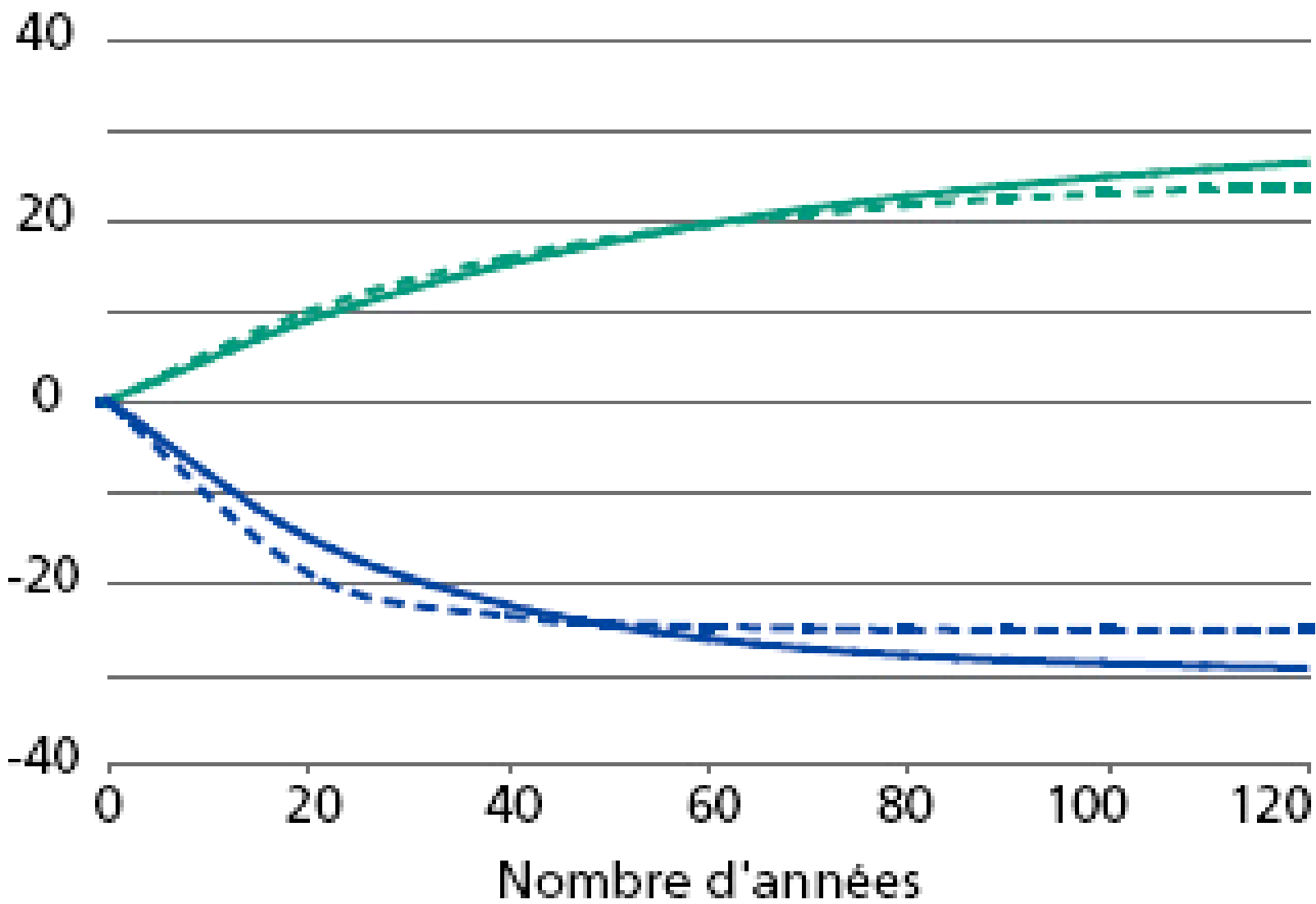
Stocker du carbone dans le sol, clé d'une agriculture durable

- Augmente la fertilité du sol
- Améliore sa capacité de rétention en eau
- Améliore le bilan CO₂ de l'agriculture
- Pour cela, il faut plus de forêts et de prairies
- Il faut aussi des pratiques agricoles adéquates
- L'agroforesterie, un potentiel important

Potentiel de stockage de carbone de différentes pratiques agricoles

- **Non labour** 0 à 0,2 tC/ha/an
- **Engrais vert** 0,15 tC/ha/an
- **Enherbement (vignes et vergers)** 0,1 tC/ha/an
- **Conversion de terres labourées en prairies permanentes** 0,5 tC/ha/an
- **Rotations plus variées** 0,2 tC/ha/an
- **Plantation de haies** 0,1 tC/ha/an
- **Conversion à l'agriculture biologique** 0,1 à 0,7 tC/ha/an
- **Agroforesterie** 0,2 à 0,5 tC/ha/an
- **Régénération de prairies tropicales dégradées** > 1tC/ha/an

Stockage de carbone (tC/ha)



— Culture -> forêt

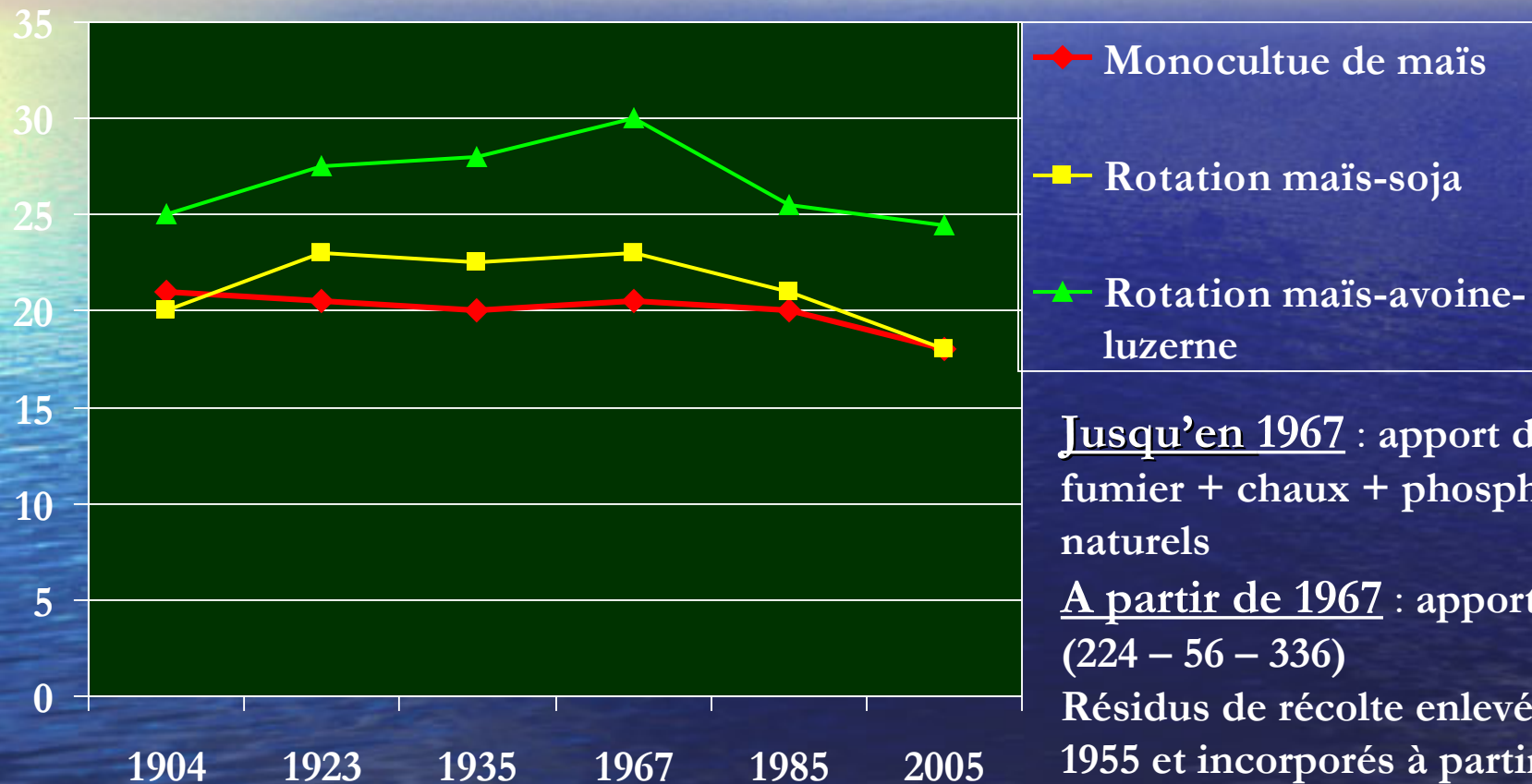
- - - Prairie -> culture

- - - Culture -> prairie

— Forêt -> culture

Impact de la fertilisation sur le stock de carbone du sol

Carbone en g/kg de sol
dans les 15 premiers cm



Jusqu'en 1967 : apport de fumier + chaux + phosphates naturels

A partir de 1967 : apport de NPK (224 – 56 – 336)

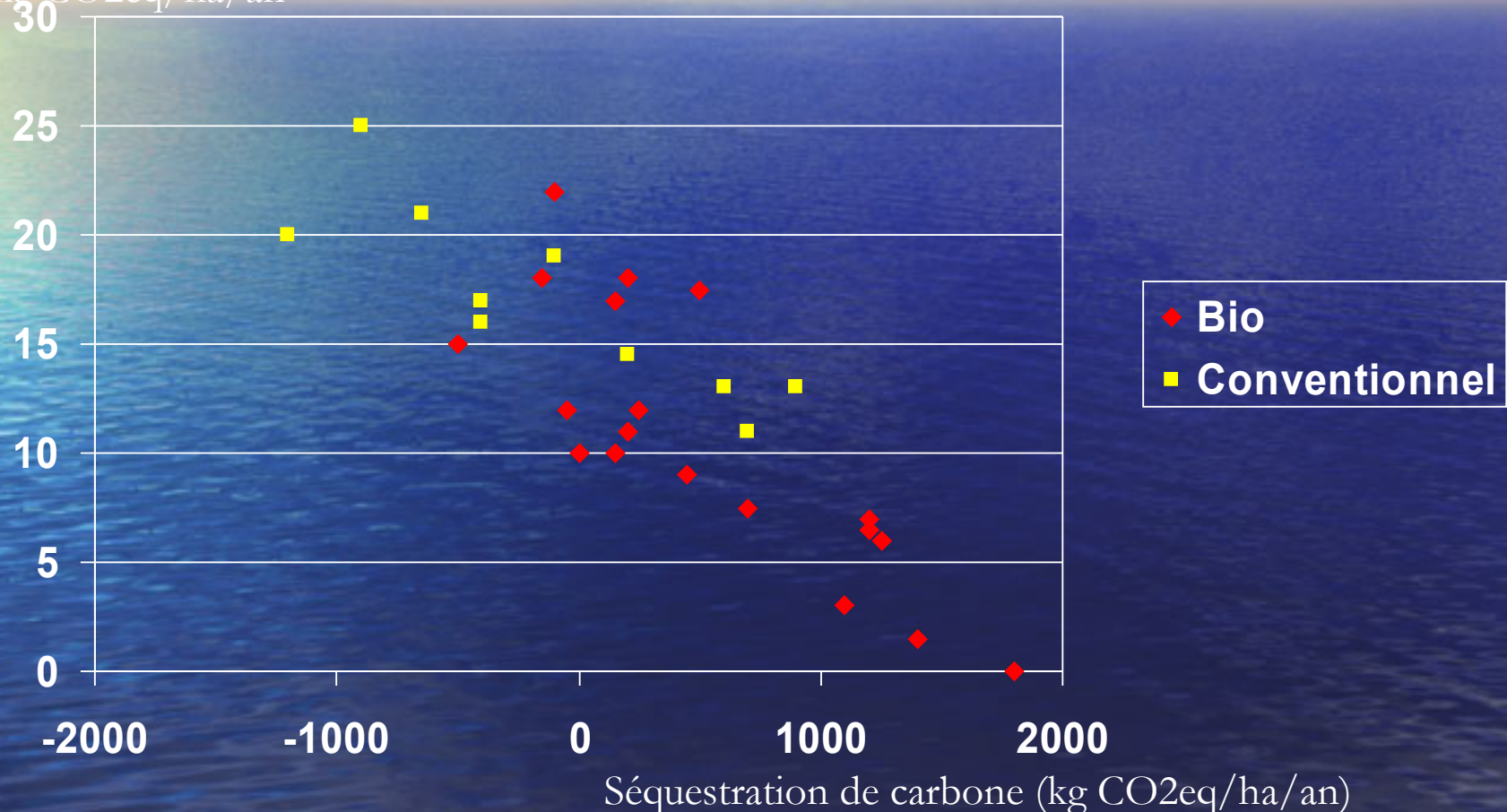
Résidus de récolte enlevés jusqu'en 1955 et incorporés à partir de cette date

Teneur du sol en carbone au Costa Rica (région subtropicale de Pocora)

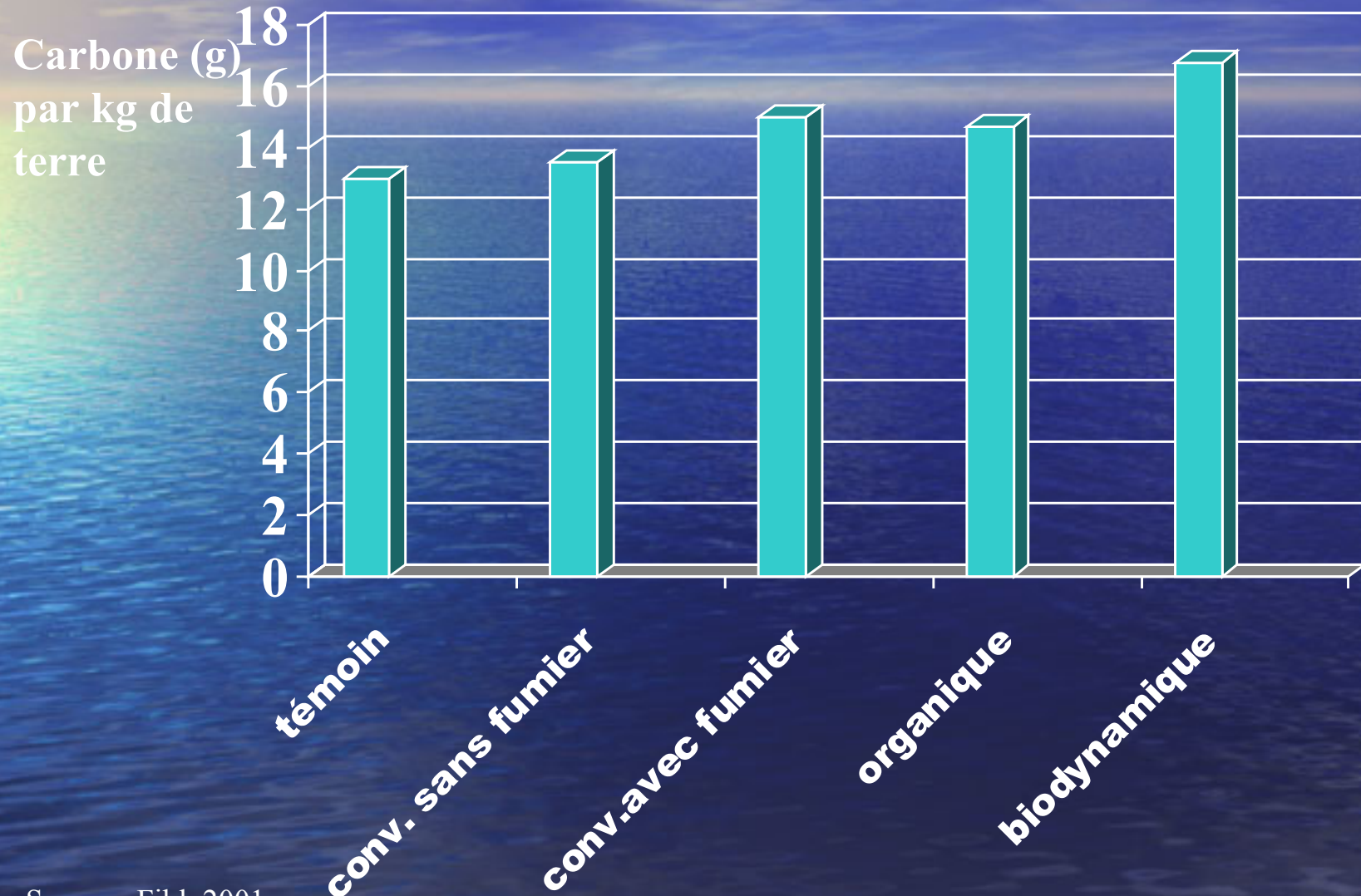
- Forêt primaire : 136 t C/ha
- Prairies dégradées : 95 t C/ha
- Prairies régénérées : 134 à 181 t C/ha

Emissions de GES et séquestration de carbone dans des fermes bio et conventionnelles

Emissions de GES
(kg CO₂eq/ha/an)



Quantité de carbone dans le sol en fonction du mode de culture



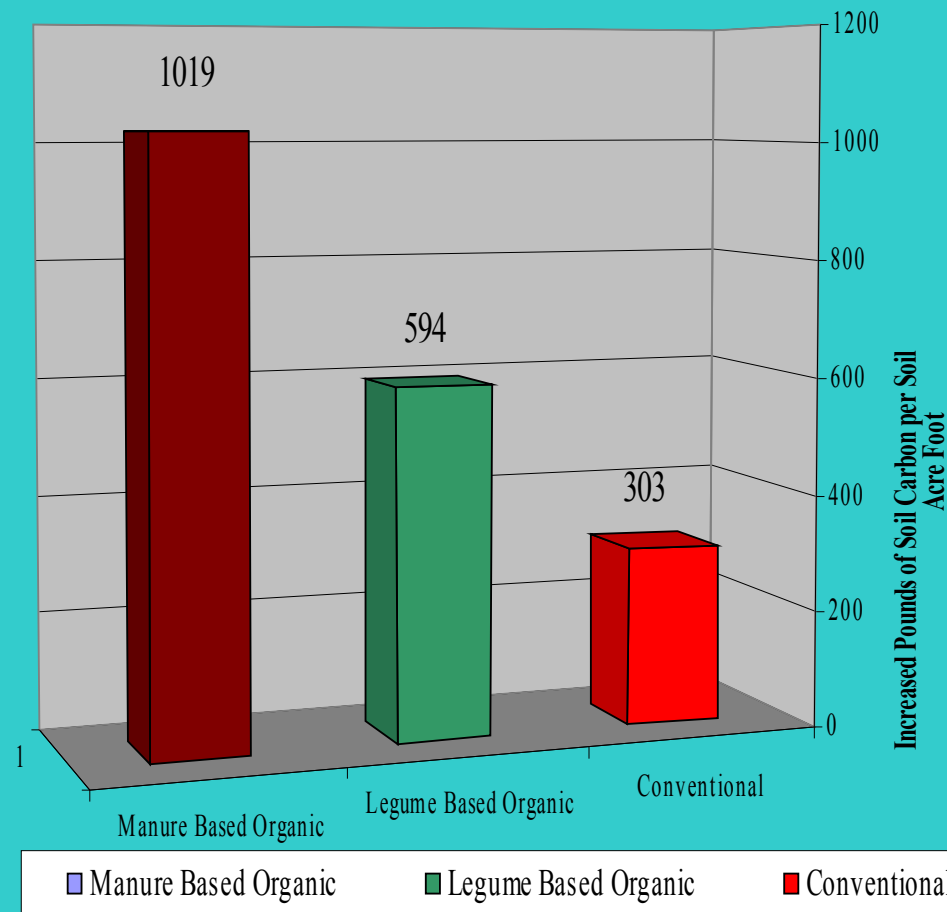
Séquestration de carbone en agriculture biologique

Expérimentation	Traitement	Résultats
DOK. Essai 1978-1998 (Fließbach <i>et al.</i> , 2007)	Compost (bio-dyn.) Fumier (PI) Vs. fertilisation minérale	287 kg C/ha/an 119 – 142 kg C/ha/an
Exploitations biologiques bavaroises (Hülsbergen et Küstermann, 2007)	Exploit. Scheyern 18 exploit. biologiques 10 exploit. conventionnelles	368 kg C/ha/an moy.= + 110 kg C/ha/an moy.= - 55 kg C/ha/an
Expérimentation de Rodale (Pimentel <i>et al.</i> , 2005)	Fumier A base de légumineuses Vs. fertilisation minérale	688 kg C/ha/an 281 kg C/ha/an
Expérimentation USA (Marriott et Wander, 2006)	9 essais de systèmes de culture	+ 14% en systèmes biologiques

Fließbach A. Contribution of organic agriculture to mitigate and adapt to climate change colloque
« Agriculture biologique et Changement climatique, 17-18 avril 2008, Clermont-Ferrand

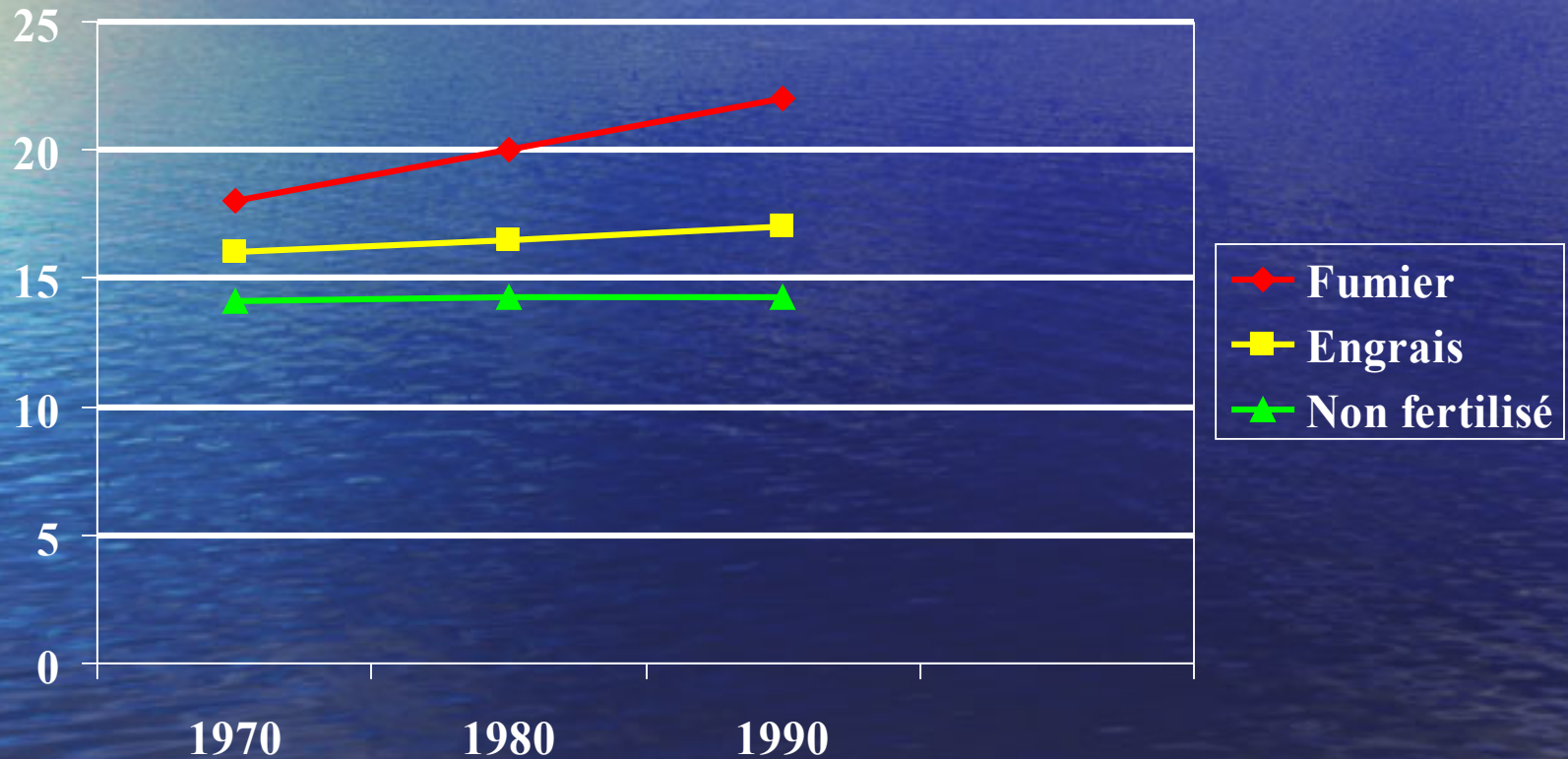
Séquestration de carbone dans le sol en agriculture biologique et conventionnelle

Yearly Accumulation of Soil Carbon in The Rodale Institute's® Farming Systems Trial® in 3 farming systems over 21 years 1981-2002.



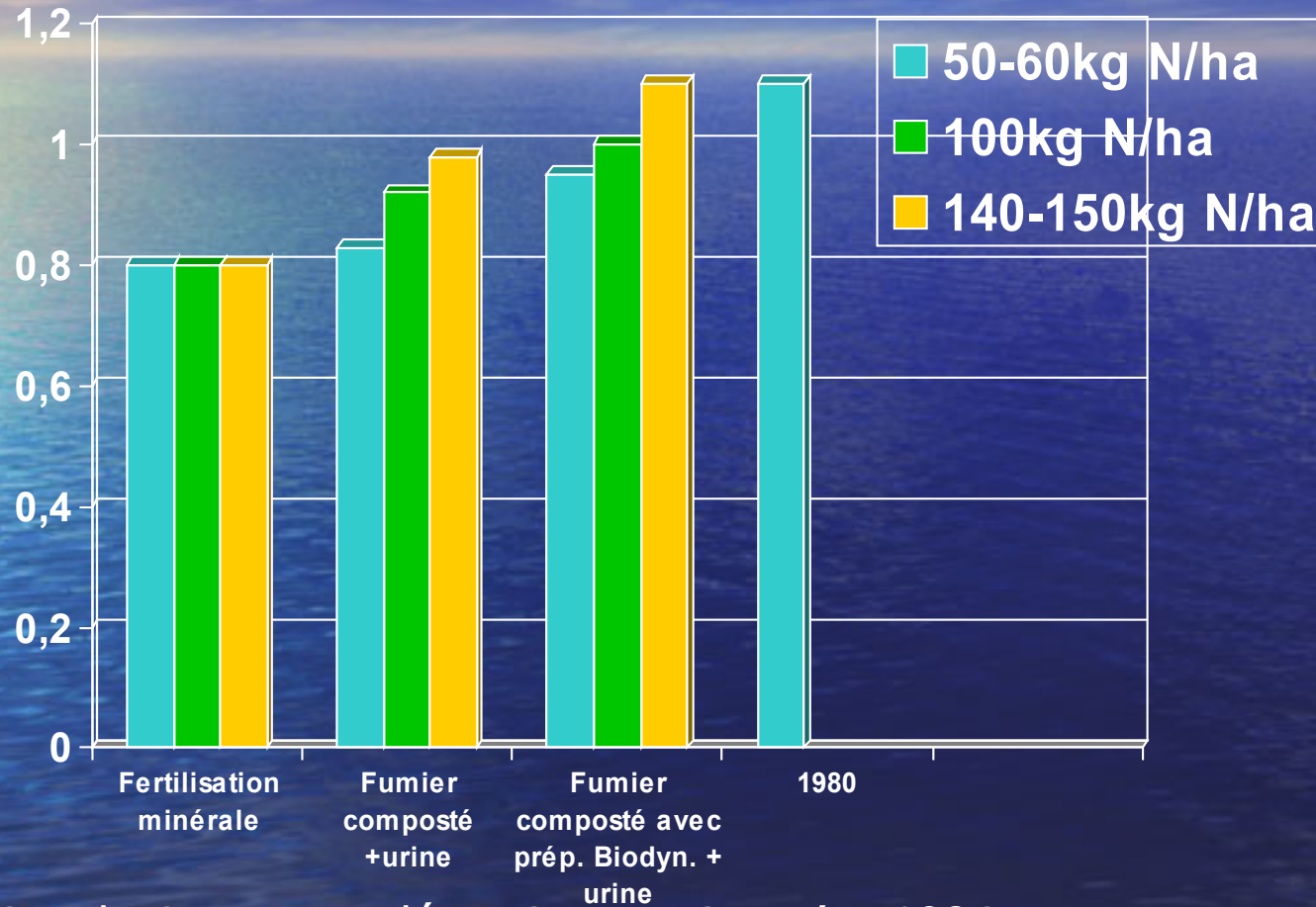
Source: Rodale Institute

Teneur du sol en carbone selon la fertilisation (g/kg de sol) (rotation céréale-fourrage)



Teneur du sol en carbone en 2000 par rapport à 1980 selon divers modes de fertilisation

Teneur du sol en Carbone en %



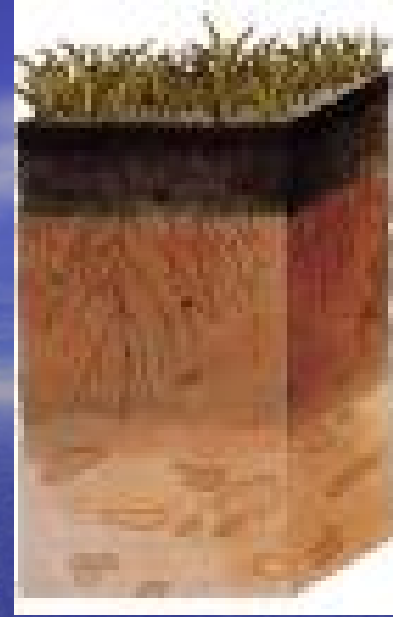
Rotation de 4 ans, sans légumineuses jusqu'en 1984, avec une année trèfle depuis

Changement de teneur en carbone de sols de prairies (prof.0-60cm) entre 1993 et 2003 selon le mode d'exploitation

- Prairies non pâturées : - 9t C/ha
- Pâturage extensif : + 1t C/ha
- Pâturage intensif : - 30t C/ha

Source : Schuman GE et al, Influence of Management on Soil Organic Carbon Dynamics in Northern Mixed-Grass Rangeland, dans Soil Carbon Sequestration and The Greenhouse Effect par R Lal et RF Follett

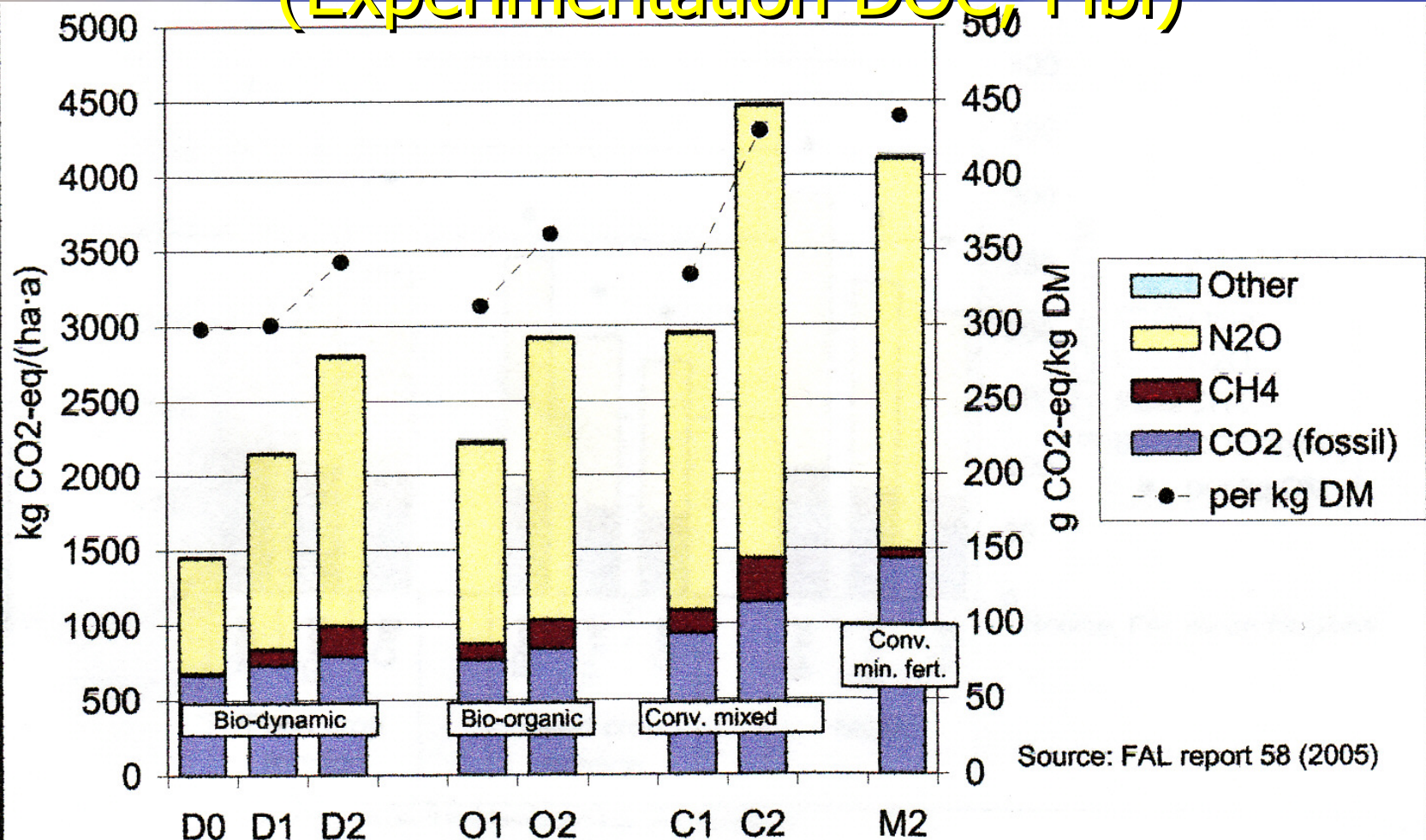
Enrichir les sols français en matière organique



- 7 millions d'hectares (sur 19,5 cultivés) manquent de matière organique (teneur moyenne de 1,61% contre un minimum souhaitable de 2%) (1)
- Pour ramener cette teneur à 2% il faudrait pendant 25 ans apporter chaque année environ 140 millions de tonnes de fumier en plus des apports actuels (1)
- La généralisation de l'agriculture biologique (rotations, engrais verts, culture de légumineuses, fertilisation organique, etc.) permettraient d'atteindre le même objectif (2)

Sources : (1) O. Roussel, INRA
(2) C. Aubert

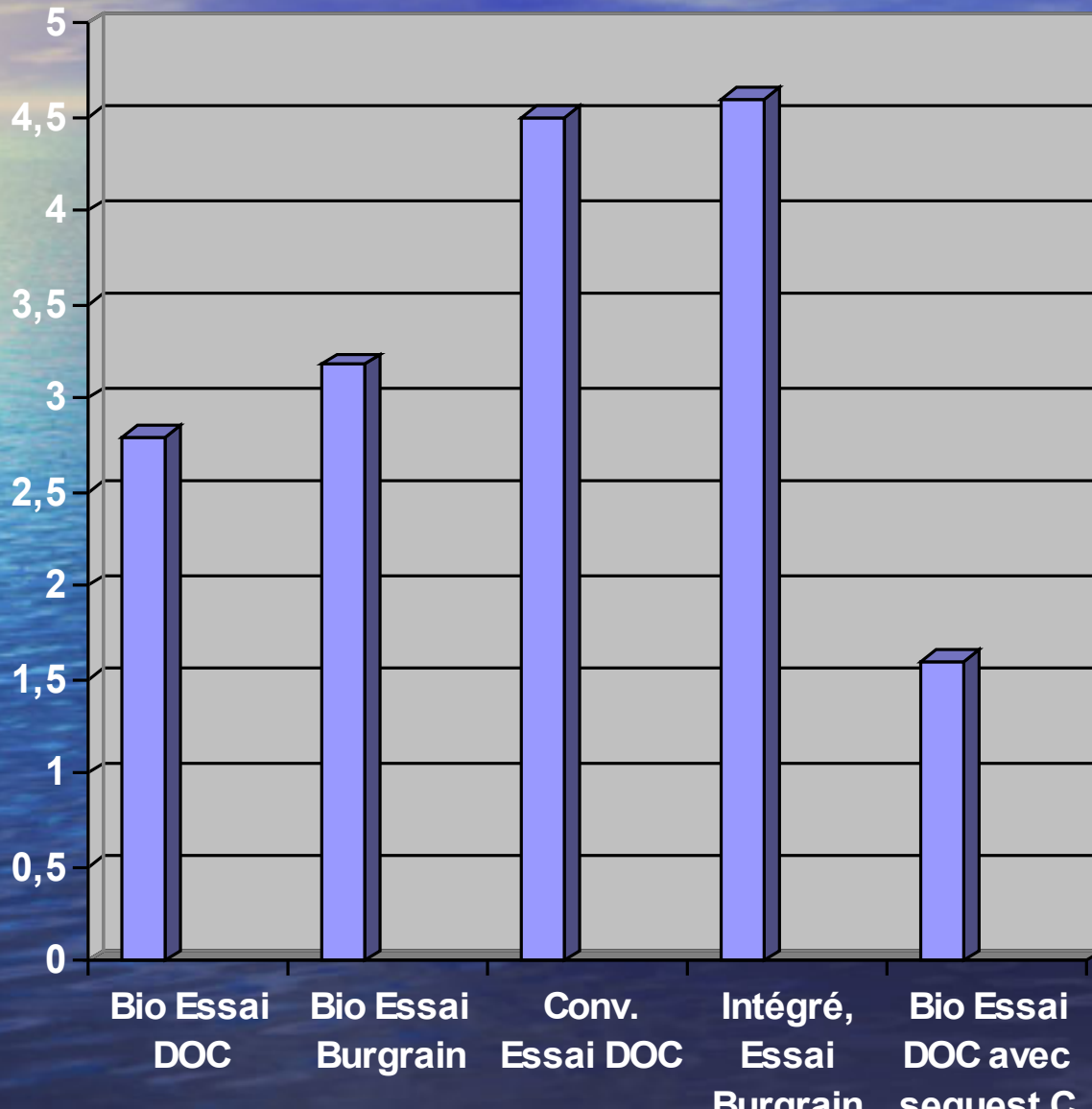
Emissions de GES dans des systèmes de production conventionnels et biologiques (Expérimentation DOC, Fibl)



Source: FAL report 58 (2005)

Source : Nemecek T et al. Life cycle impact of Swiss arable cropping systems in the global warming potential, Conférence Agriculture biologique et changement climatique, 17-18 avril 2008, Clermont-Ferrand

Emissions de gaz à effet de serre en bio et en conventionnel



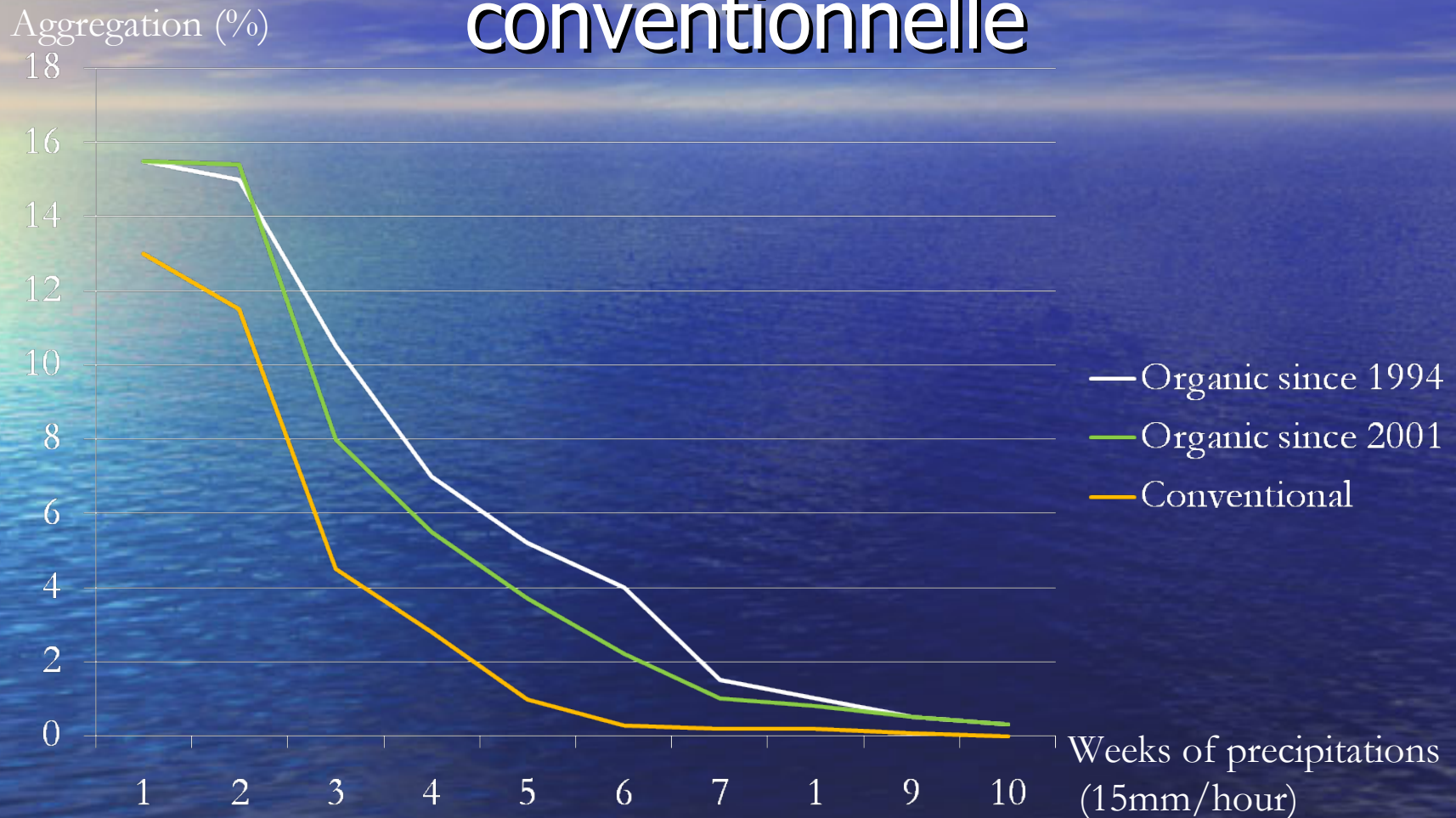
Source : adapté de : Nemecek T et al. Life cycle Impact of Swiss arable cropping systems in the global warming potential, Colloque "Agriculture biologique et changement climatique", 17-18 avril 2008, Clermont-Ferrand

Vitesse d'infiltration de l'eau dans des sols en agriculture biologique et conventionnelle

	Conventionnel	Biologique
Infiltration (%)	100	200
Nb de vers de terre	100	142
Teneur en humus (%)	3,3	2,8

Source : Lilienthal H Hochwasserschutz durch ökologische Bodenbewirtschaftung,
Paper presented at the KTBL Conference « Klimawandel und Ökolandbau, »
1-2 December 2008, Göttingen, Germany

Stabilité des agrégats dans des sols en agriculture biologique et conventionnelle



Source : Fohrer N. Nutzung des Bodenspeicherungspotenzials als Vorsorgemöglichkeit für Starkregenereignisse und Trockenperioden. Paper presented at the KTBL Conference « Klimawandel und Ökolandbau, » 1-2 December 2008, Göttingen, Allemagne

De la fourche à la fourchette, la contribution de nos assiettes à l'effet de serre

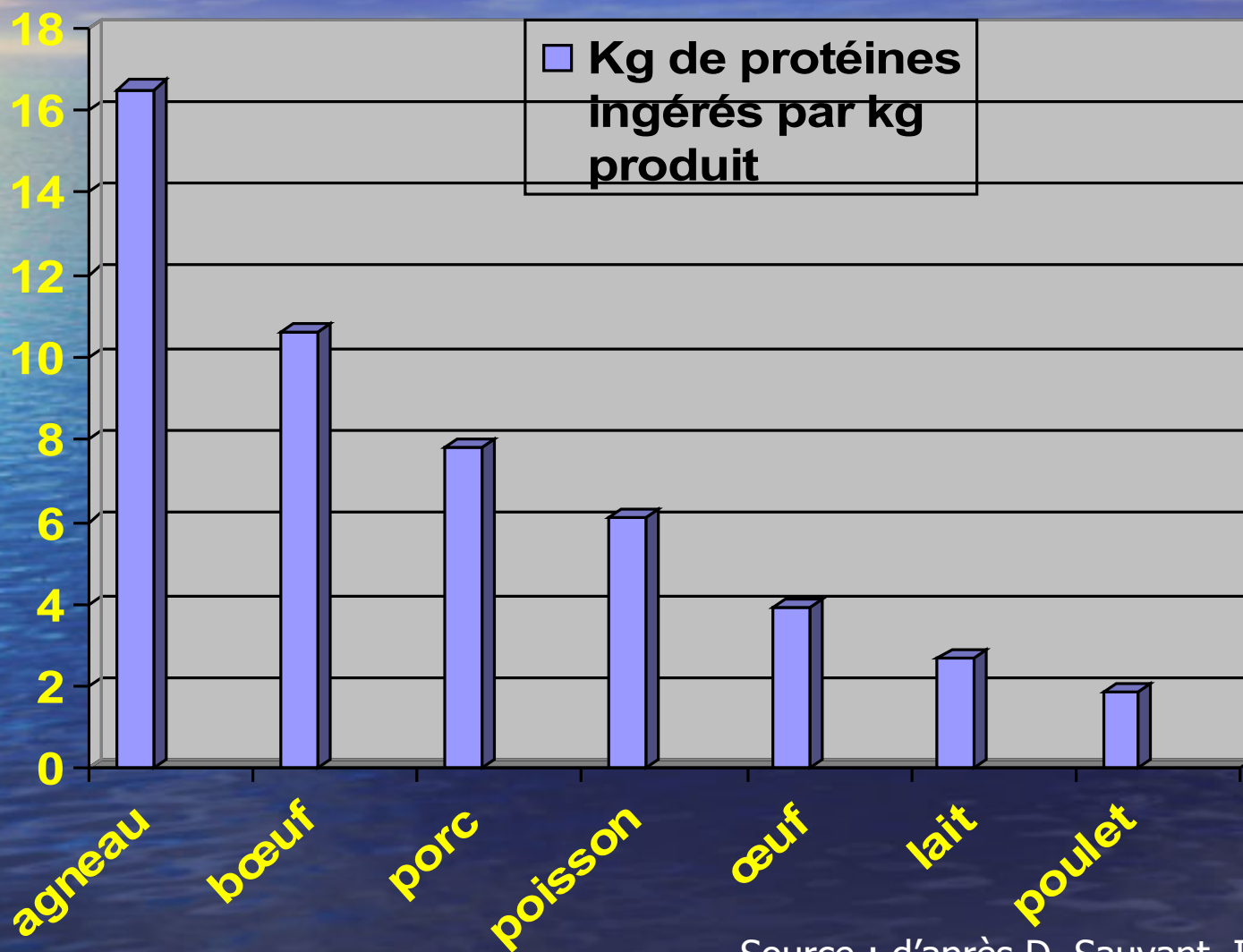
● Agriculture :	24%
● Transports agricoles et alimentaires :	3%
● Industrie agro-alimentaire :	3%
● Distribution :	2%
● Réfrigération et cuisson domestiques :	1%
Total :	33%



Combien de gaz à effet de serre pour produire 1 kg de protéines ?



Combien de protéines végétales pour faire un kg de protéines animales ?



Source : d'après D. Sauvant, INRA

Emissions de gaz à effet de serre par kg d'aliment

Aliment	CH4 Kg CO2eq/kg	N2O Kg CO2eq/kg	CO2 Kg CO2eq/kg (1)	Total Kg CO2eq/kg
Agneau	25	4	21	50
Bœuf	8	5	21	34
Porc	2	2	7	11
Volaille	1	1	5	7
Saumon	-	-	12	12
Carpe	-	-	3	3
Soja	-	-	2	2

(1) Incluant le CO2 émis par la quantité de pétrole équivalente en énergie à celle de la biomasse qui aurait pu être produite sur la surface correspondante.

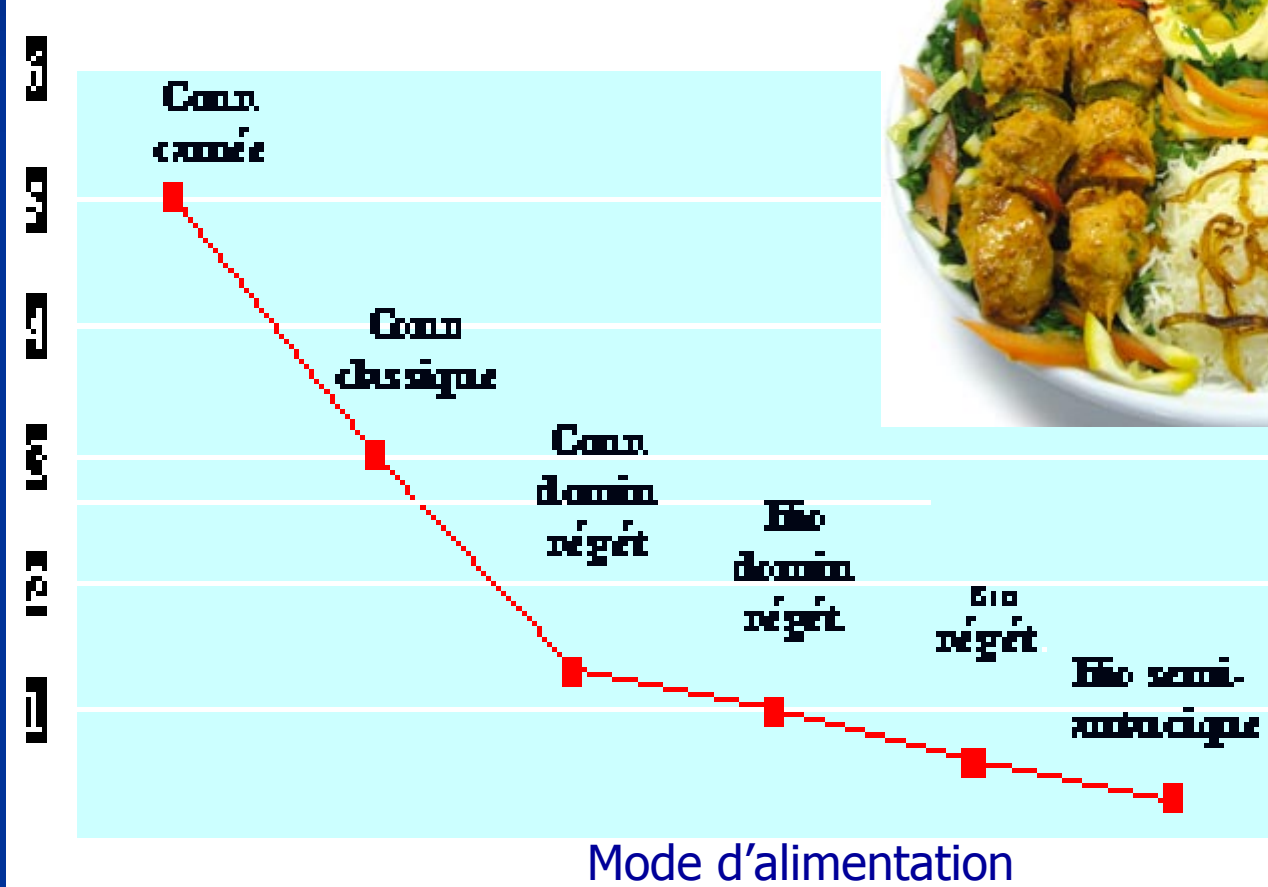
Source : Gielen DJ et al., 1999

REDUCTION POSSIBLE DES EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE EN GENERALISANT L'AGRICULTURE BIOLOGIQUE ET EN CHANGEANT D'ALIMENTATION

- Réduction des émissions de N₂O (émissions par les sols et par la fabrication des engrais azotés) : - 4%
 - Réduction de émissions de CO₂ en supprimant la fabrication des engrais chimiques et en réduisant les transports et les cultures sous serre chauffée : - 2%
 - Réduction des émissions de méthane par le compostage : - 1%
 - Stockage de carbone dans le sol : - 3%
 - Division par deux de la consommation de produits animaux : - 7%
- Total : - 17%

Combien de gaz à effet de serre dans notre assiette ?

Tonnes d'eq CO2 émises
par personne et par an.



Source :
C. Aubert