

BIOMÉTHANISATION, DIGESTAT, ET FERTILISATION

Philippe DELFOSSE
Jérôme GENNEN
Jean KESSLER

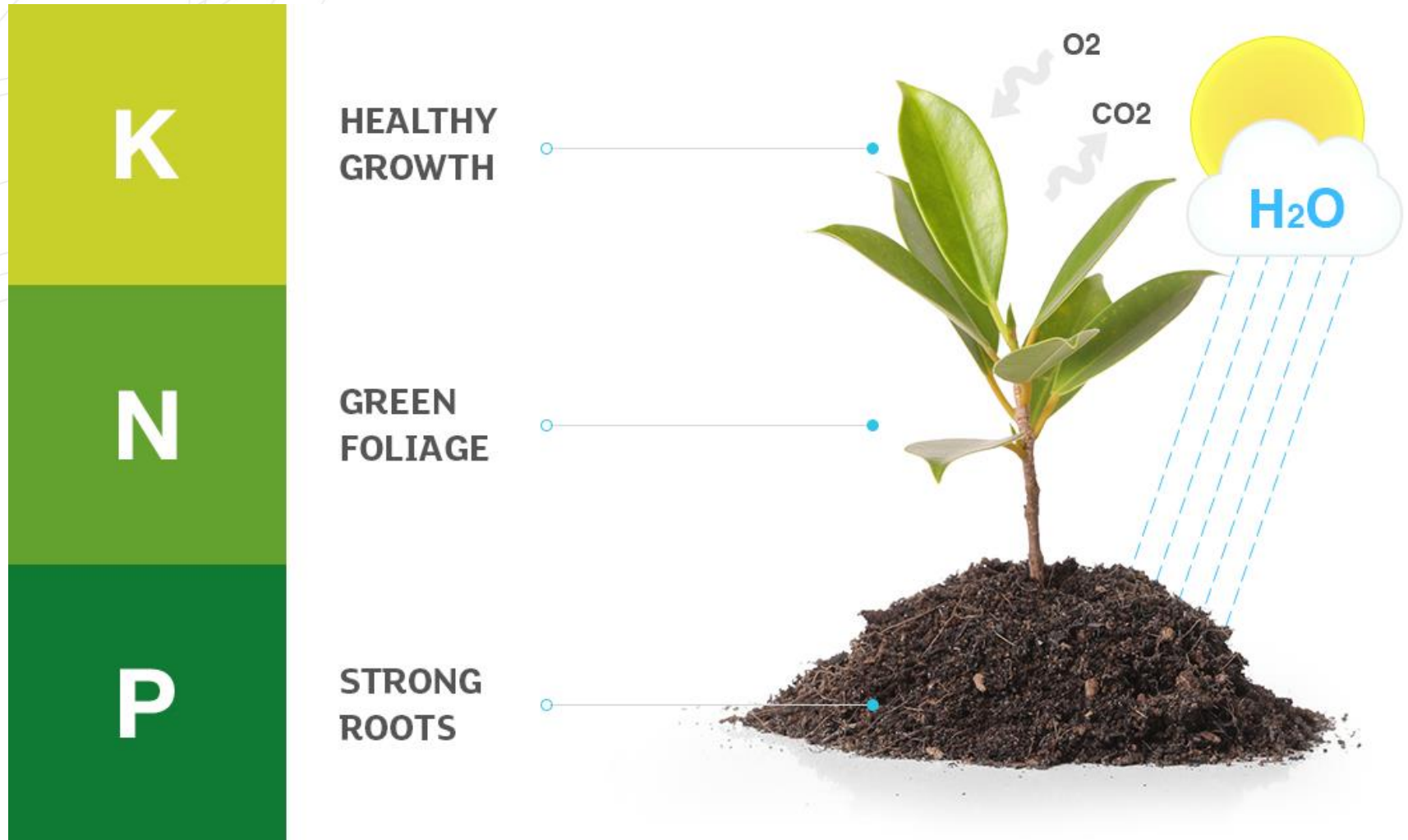


LUXEMBOURG
INSTITUTE
OF SCIENCE
AND TECHNOLOGY



AGRICULTURE

Les rôles : Nourrir, Vêtir, Chausser, Soigner, Industries, Paysage,...



Les 4 mamelles de l'Agriculture = **NPK + Eau !**



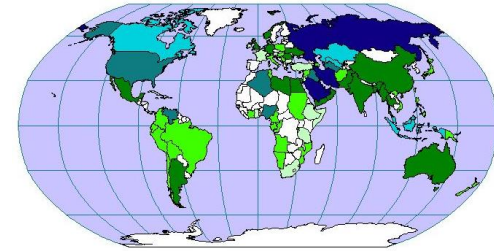


ETAT DES RÉSERVES MONDIALES EN FERTILISANTS

Pas encourageant mais il y a des solutions !

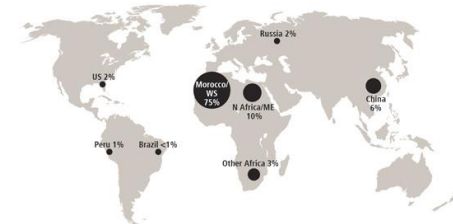
• AZOTE – N Gaz Nat: 1 000 m³ / t NH₃

- Synthèse à partir de N₂ atmosphérique et Gaz = 60-100 ans BAU
- 50% des réserves en GN appartiennent au triangle **Russia** (26%) **Iran** (18%) **Qatar** (13%)
- Les STEP actuelles sont un non-sens planétaire ! NH₄⁺ → N₂
- La moitié de la population mondiale est nourrie grâce au procédé Haber-Bosch !!!



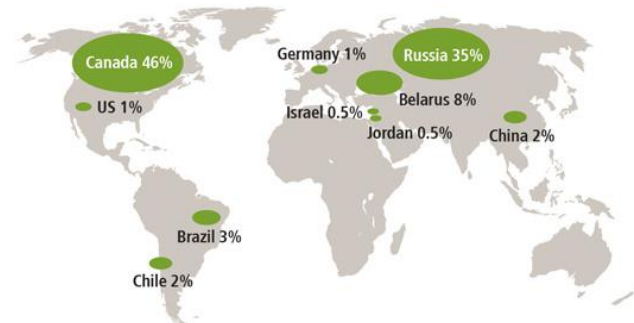
• PHOSPHORE - P

- Non-recyclé ! 86 % du P finissent dans les océans
- Réserves mondiales = 100 – 260 ans BAU
- Maroc (70%), Chine (5%), Algérie, Syrie, Finlande (3% chacun), autres < 2% !!!



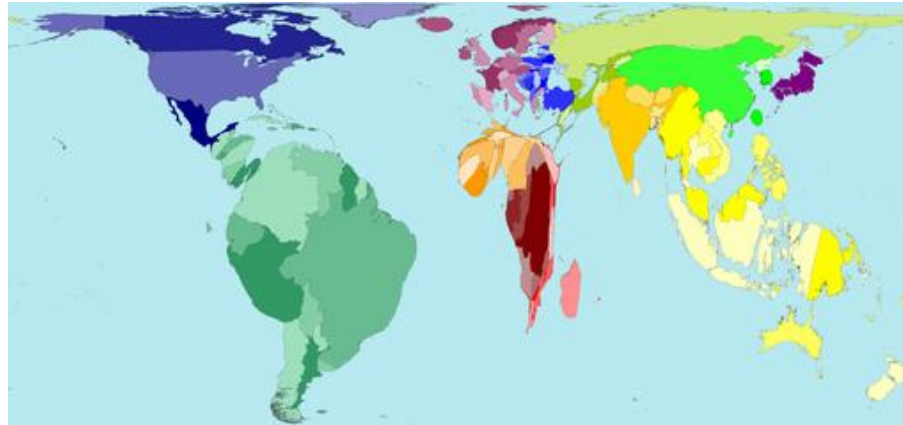
• POTASSIUM - K

- Mines sont localisées dans deux pays !
- Réserves mondiales = 200-300 ans BAU
- **Canada** (46%) et **Russie** (35%)



ETAT DES RÉSERVES MONDIALES EN EAU POTABLE

World Health Organization



**WORLD
MAPPER**

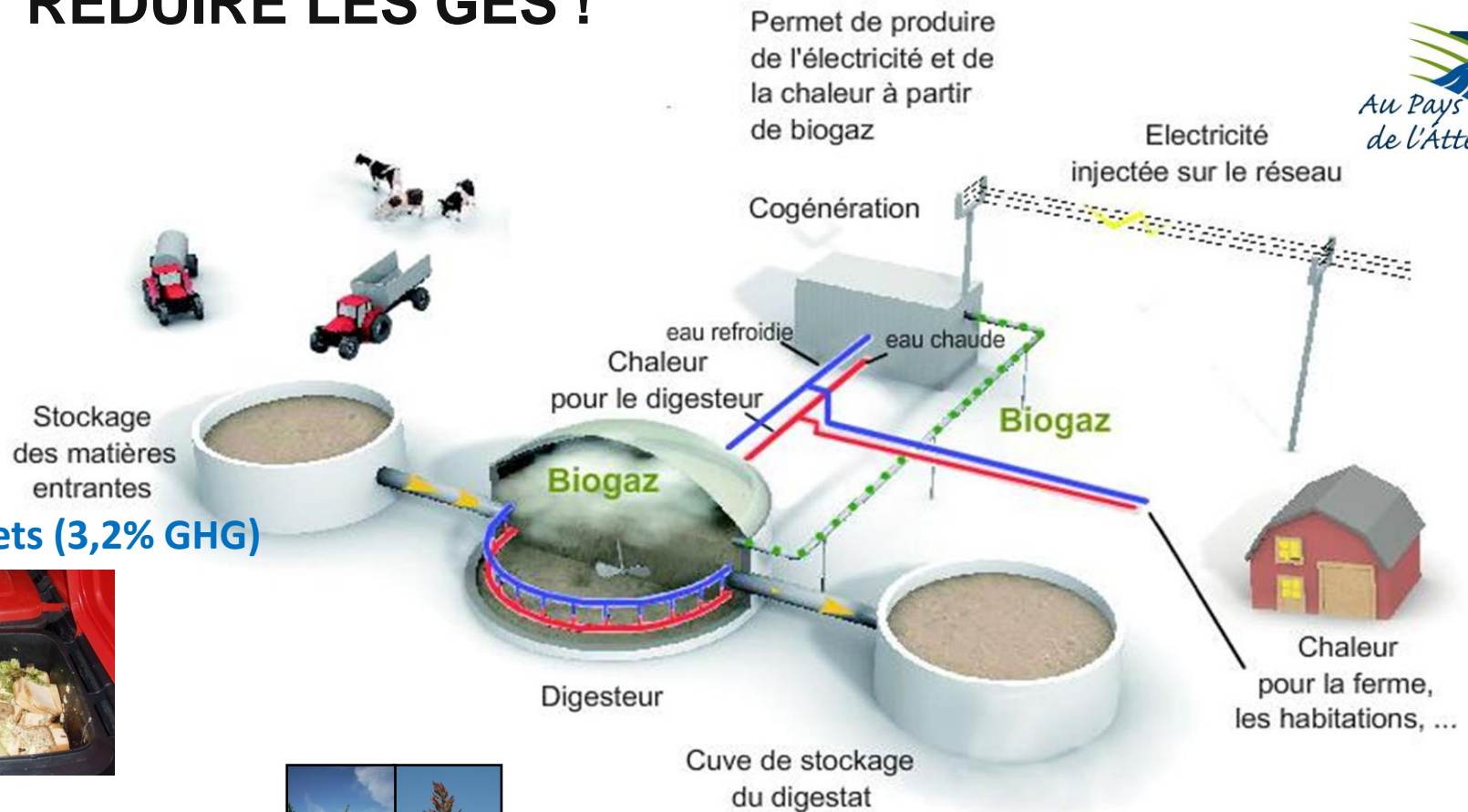
the world as you've never seen it before

- **Faits:**
 - En 2015, **91%** de la population mondiale a accès à l'eau potable !
 - Mais **1.8 Mrd** utilise comme eau de boisson de l'eau contaminée avec des fèces.
 - L'eau contaminée cause **502 000 morts chaque année**.
(diarrhée, cholera, dysenterie, typhoïde and polio)
 - 2025, **50%** de la population mondiale sera exposée à une carence en eau.

Message → préserver et recycler l'eau douce !

COMMENT FERMER LES CYCLES ? ET RÉDUIRE LES GES !

Electricité + Chaleur (29% GHG)



Biodéchets (3,2% GHG)



Fumier (3,2% GHG)



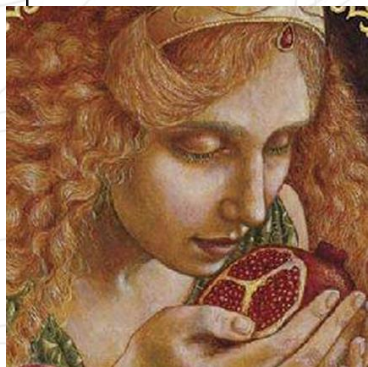
Résidus de culture
(1,3% GHG)

Fertilisants (1% GHG)

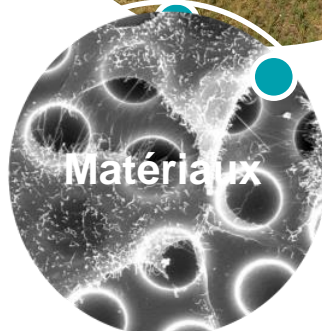


Transport (27% GHG)

BIOECONOMIE, ECONOMIE CIRCULAIRE, et BIORAFINAGE



PERSÉPHONE



Interreg 
Grande Région | Großregion
Perséphone
Fonds européens de développement régional | Europäischer Fonds für regionale Entwicklung

LUXEMBOURG
INSTITUTE
OF SCIENCE
AND TECHNOLOGY
LIST 

STAND H3.15

Interreg 
Grande Région | Großregion
Fonds européens de développement régional | Europäischer Fonds für regionale Entwicklung



LE GOUVERNEMENT
DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG
Ministère du Développement durable
et des Infrastructures

Ostbelgien 

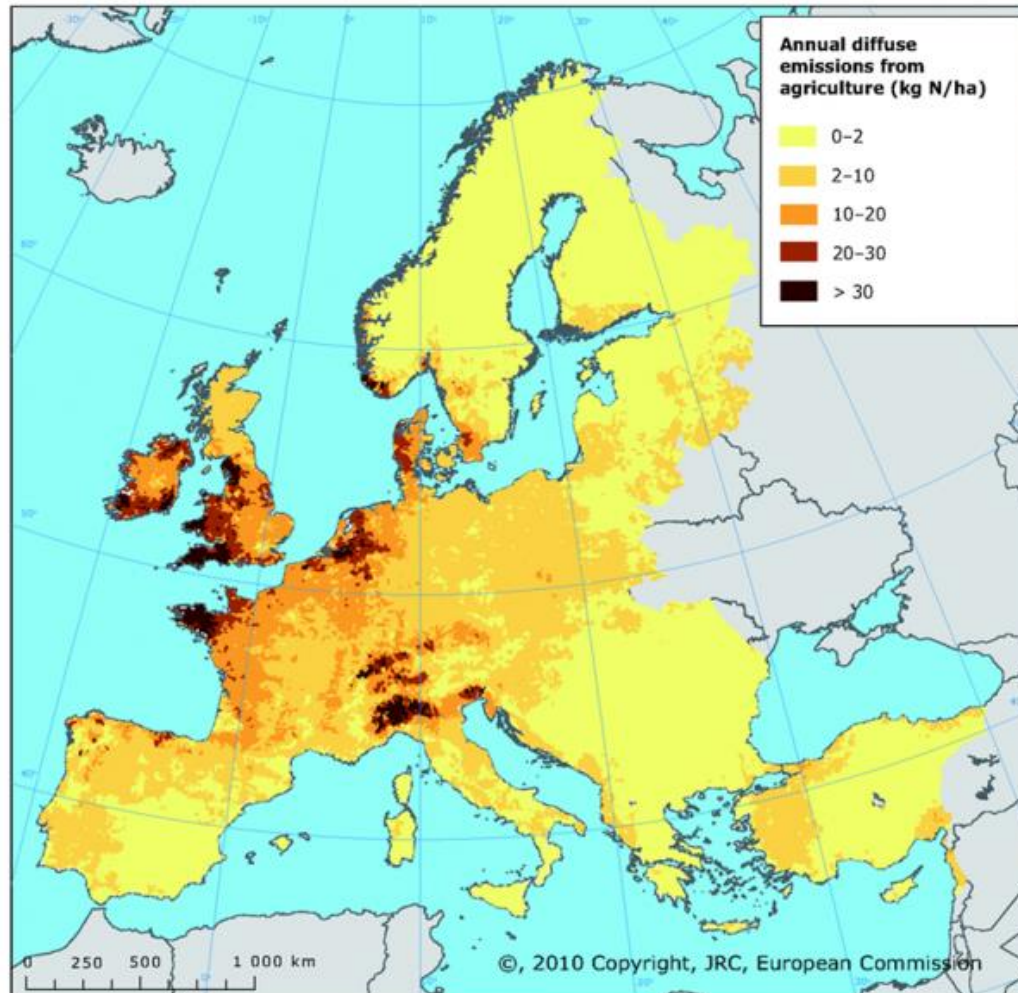
Grand Est
ALSACE CHAMPAGNE-ARDENNE LORRAINE

* Ministerium für
Wirtschaft, Arbeit,
Energie und Verkehr
SAARLAND



CAS PARTICULIER DE L'AZOTE !

Nitrate et élevage ou Nitrate et formes d'azote utilisées ?



L'AZOTE : ORIGINES ET DIFFÉRENTES FORMES

Echanges dynamiques entre le vivant et l'atmosphère



- **Atmosphère:** 78% de N_2 (azote non-réactif) + N_2O + NH_4NO_3
air



eau



sol



Décomposition de la MO et
minéralisation

Fixation microbienne et
organisation



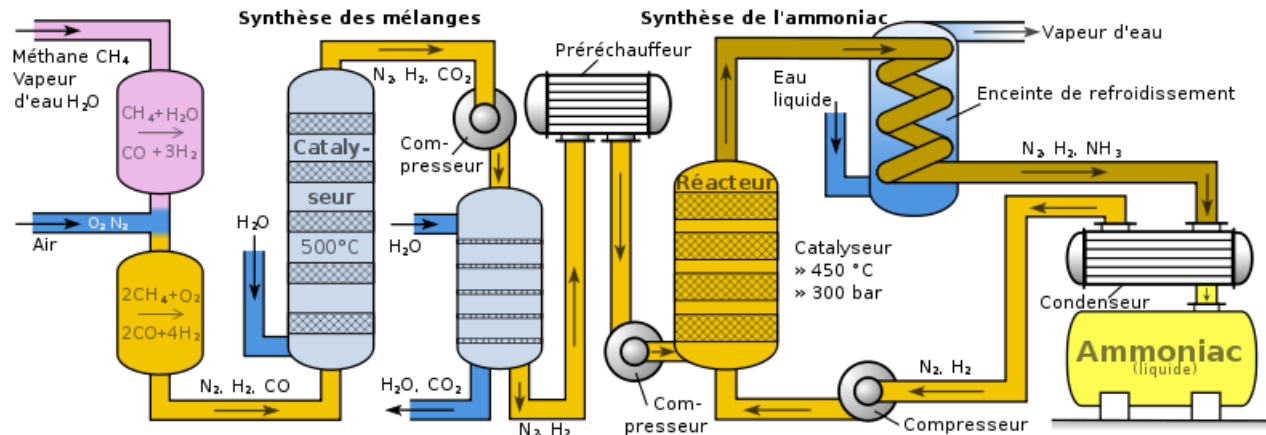
- **Le vivant:** Acides Aminés, Protéines, Urée
Azote "organisé" lié au Carbone

L'AZOTE : ORIGINES ET DIFFÉRENTES FORMES

Intervention humaine: procédé Haber-Bosch = 63% du N réactif



- **Atmosphère:** 78% de N_2 = azote non-réactif



1t NH_3 coûte 1tep



- **Ammoniac** = azote réactif → Industrie, Explosif, Agriculture

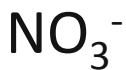
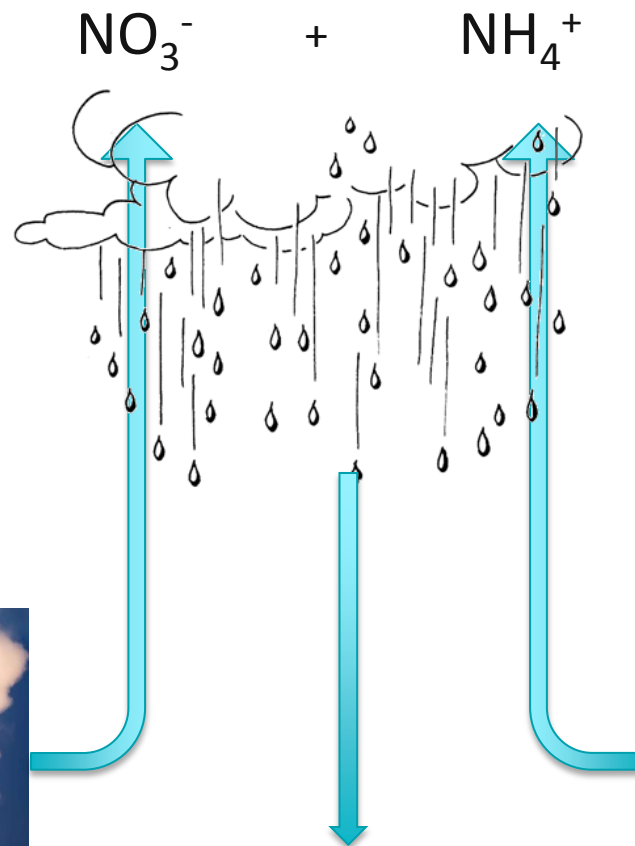


L'AZOTE : ORIGINES ET DIFFÉRENTES FORMES

Intervention humaine: transport, combustion, élevage intensif



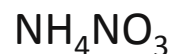
• Atmosphère



+



Particules fines
Effet de serre



Ammoniac

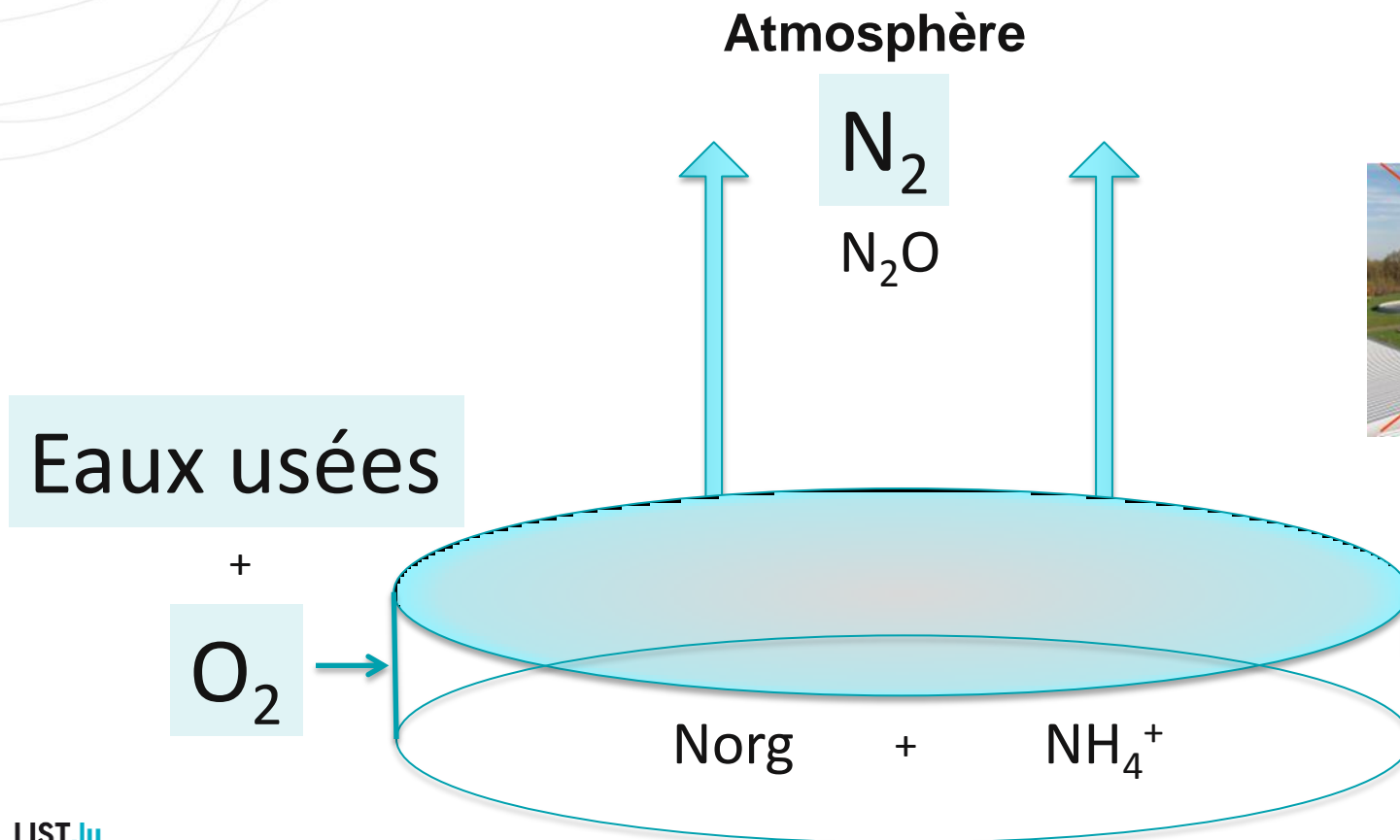


L'AZOTE : ORIGINES ET DIFFÉRENTES FORMES

Intervention humaine: épuration des eaux usées

- Grand gaspillage planétaire de l'azote réactif !!!
- Consommation d'énergie
- Émission de N_2O → Effet de serre = 300 x CO_2

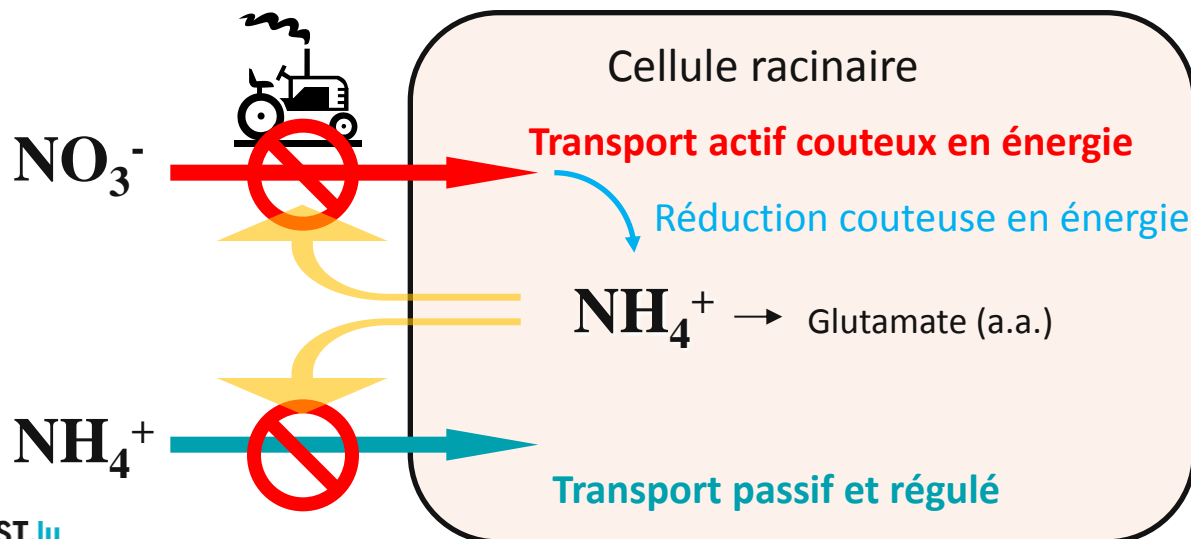
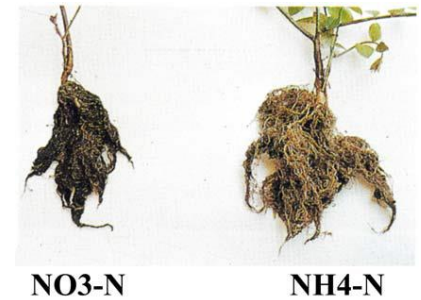
1t NH_3 coûte 1tep



L'AZOTE ET LA PLANTE (MICROBES)

Absorbction et assimilation racinaire par la plante

- Il est faux de dire que les plantes n'assimilent que le nitrate !
- Les plantes assimilent directement l'Urée, le NH_4^+ , le NO_3^- , et même pour certaines des acides aminés.
- L'assimilation du nitrate (NO_3^-) requiert un investissement en énergie par la plante
- Les plantes photo-respirent leur réserves pour réduire NO_3^- en NH_4^+
- L'assimilation de NH_4^+ se fait par transport passif et régulé
- NH_4^+ stimule le développement racinaire et contrôle l'absorption de NO_3^- et NH_4^+
- A concentration égale la plante assimile préférentiellement NH_4^+
- Lorsque la cellule est à saturation en NH_4^+ elle inhibe l'absorbction des deux formes



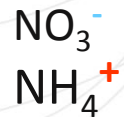
- NH_4NO_3 ?
- NO_3^- et Organique ?
- Directive Nitrate ?

Bloom *et al*, 1992 - Jackson *et al*, 2008

L'AZOTE ET LE SOL

Le sol stocke le N sous forme : minérales et organiques

Formes minérales:



Formes organiques:

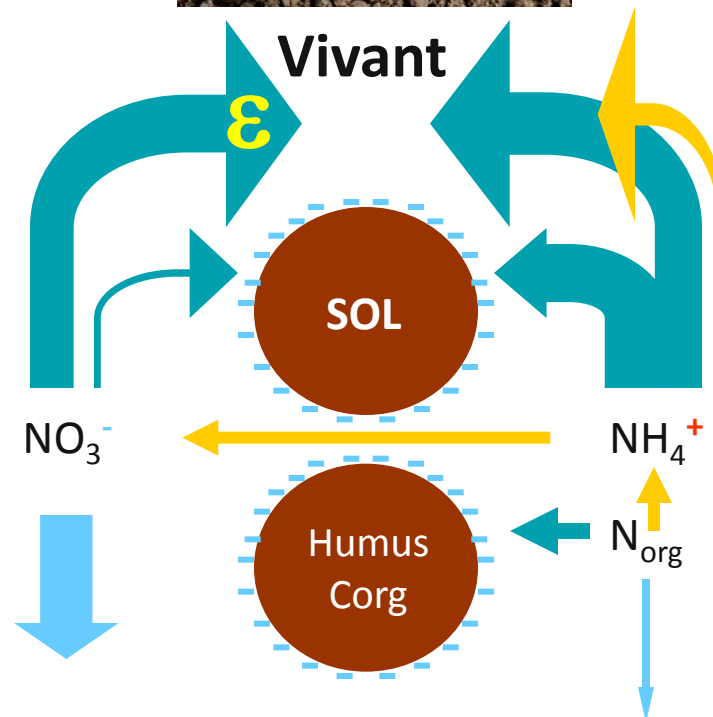
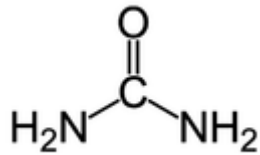
R-NH₂ (MO morte)

Urée

Microbes

Animaux

Végétaux



MESSAGE:

Assurer un couvert
végétal du sol !

T° > 10° C

**Minéralisation
synchrone avec la
Croissance du végétal**

DEVENIR DE L'AZOTE AU COURS DE LA BIOMÉTHANISATION

Qu'est ce la biométhanisation ?



- Définition: Biométhanisation est une minéralisation naturelle de la matière organique, par des microorganismes en absence d'oxygène

- La MO = CHONS + microéléments (K, P, Ca, Mg, ...)

- CHONS → CH₄, H₂, CO₂, NH₃, H₂S + C organique récalcitrant

Gaz

Liquide et solide

Vecteurs énergétiques flexibles

Indigestible = Engrais à haute valeur agronomique
Minéraux combinés à une matrice organique !
(Humus + fertilisants)



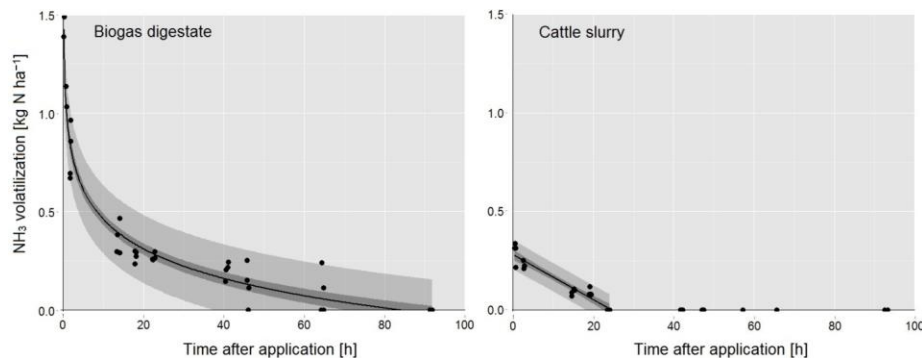
DIGESTAT



L'ÉPANDAGE DES DIGESTATS REQUIERT UN ÉQUIPEMENT ADAPTÉ !

NH₃/NH₄⁺ et pH “basique” du digestat

- Il faut rapidement mettre le digestat en contact avec le sol généralement faiblement acide (pH 6.5) NH₃ → NH₄⁺ (problèmes sur sol calcaire basique)
- Bannir la vieille tonne à lisier !
- Préférer un enfouissement avec tuyaux trainés ou patins ! (→80% valorisation)



- L'inverse pour les odeurs !



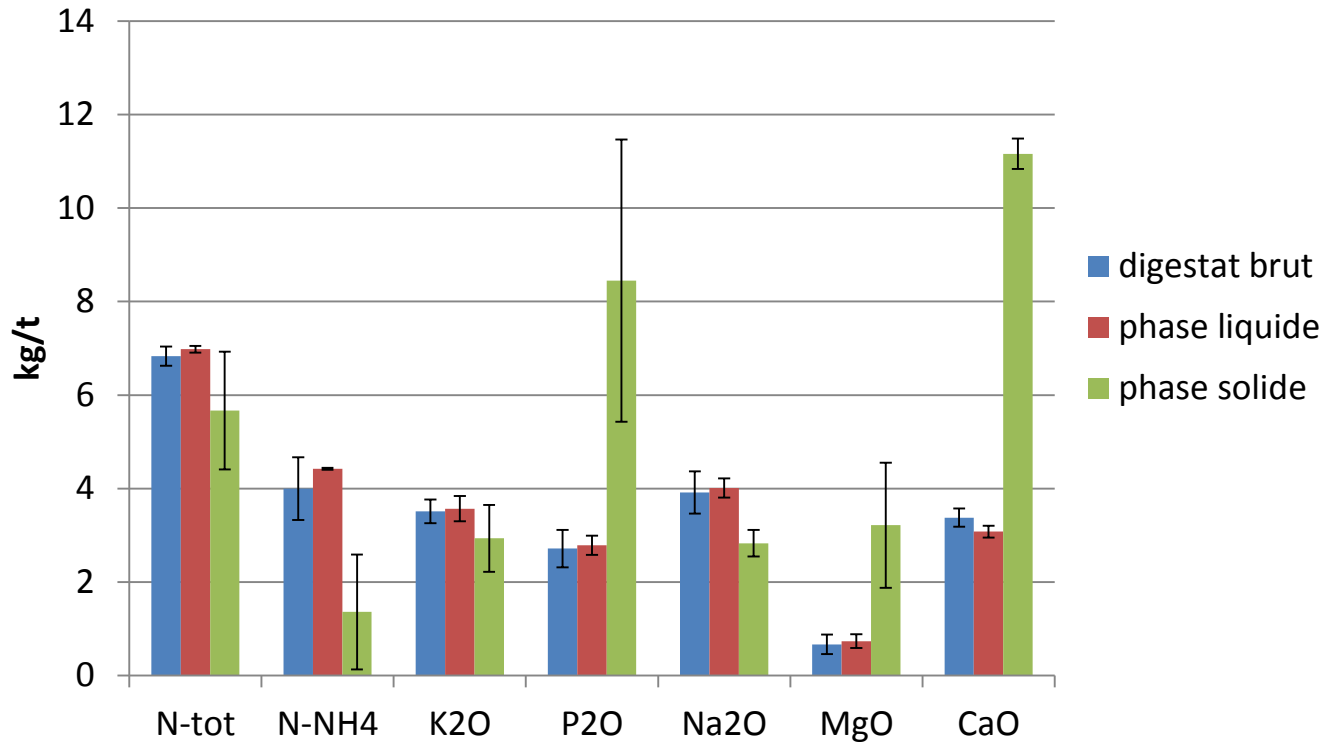
Fractionnement

Le presse à vis sépare la fraction solide de la fraction liquide

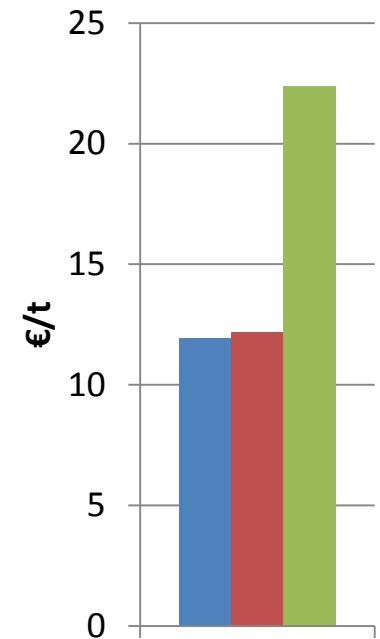


Fractionnement: presse à vis

Contenu en éléments nutritifs



Valeur agronomique



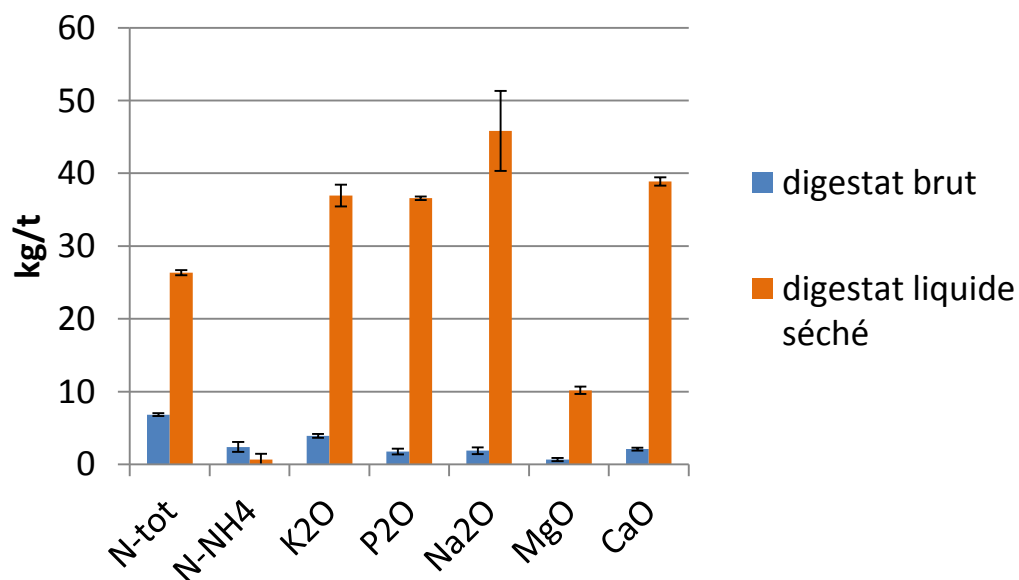
Fractionnement: séchage

- Séchage de la phase liquide

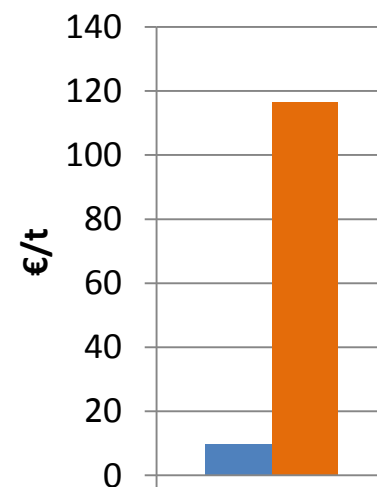


Source: Jansen Poultry Equipment

Contenu en éléments nutritifs



Valeur agronomique



Fractionnement: nanofiltration et osmose inverse

Avantage par rapport au séchage: On récupère l'azote ammoniacal et l'eau

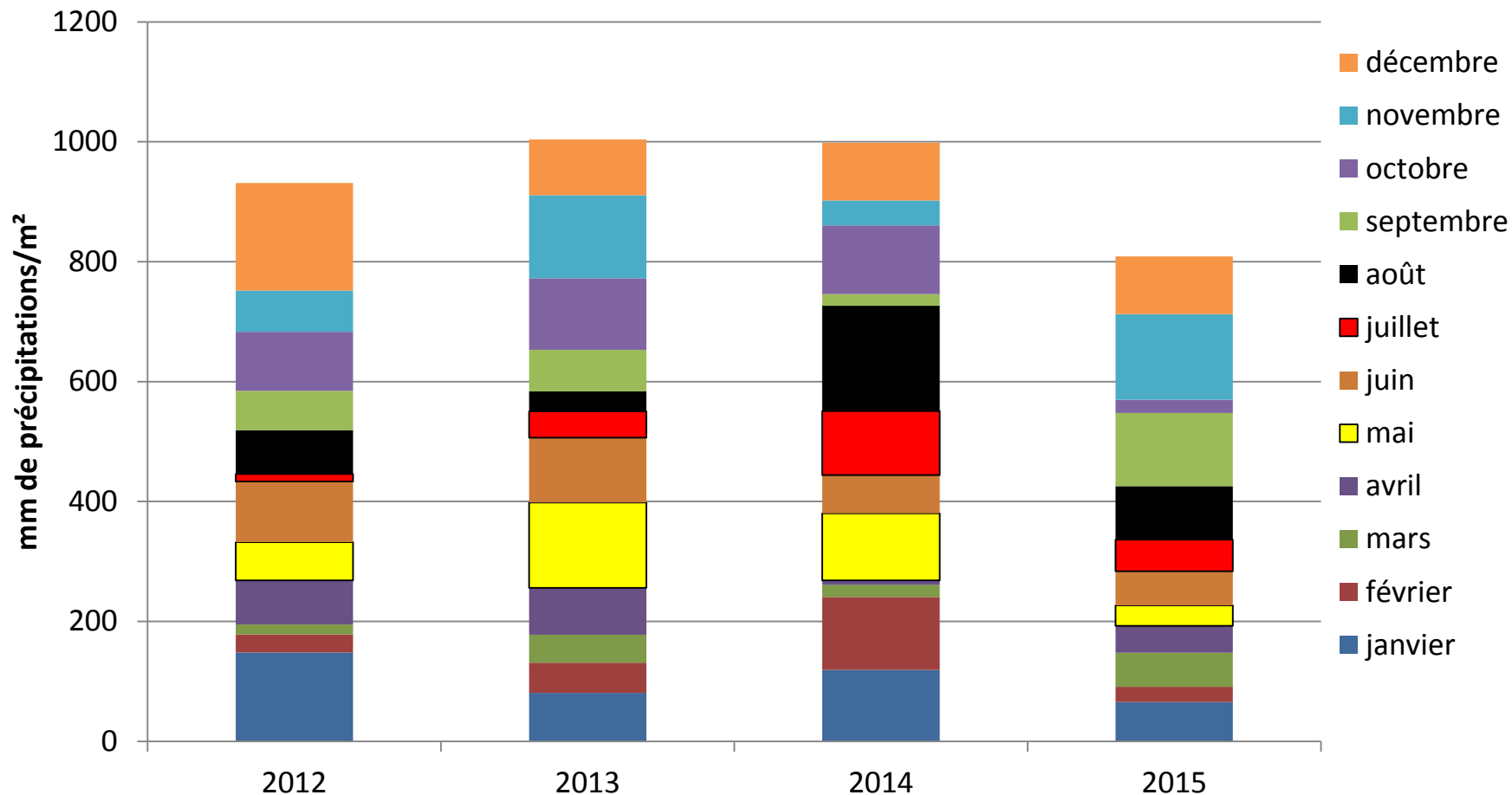
	MO (%)	N-tot (kg/t)	N-NH ₄ (kg/t)	N-org (kg/t)	K ₂ O (kg/t)	P ₂ O ₅ (kg/t)	Na ₂ O (kg/t)	MgO (kg/t)	CaO (kg/t)
digestat Grendel	4,36	6,85	4,27	2,58	3,54	3,01	4,26	0,83	3,61
phase solide	21,23	8,73	3,5	5,23	3,05	10,97	3,53	4,44	9,04
concentrat NF	3,93	6,46	3,74	2,72	2,81	2,49	3,46	0,55	2,92
concentrat OI	0,2	3,85	3,35	0,5	3,45	0,25	0,39	0,02	0,06

Le Défi: coût de traitement et consommation électrique réduite

→ Aller chercher des molécules à haute valeur €

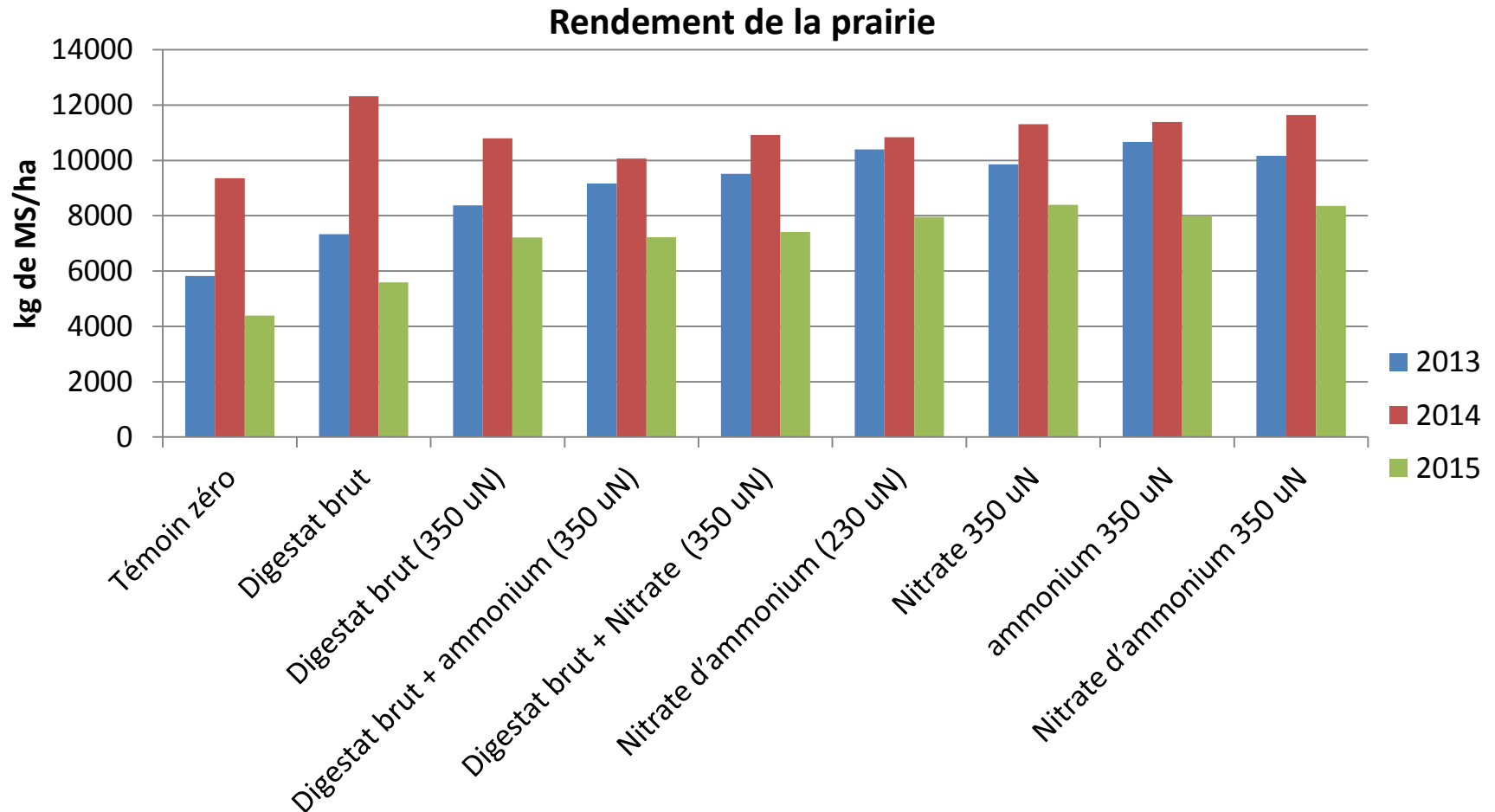
Résultats du projet Ecobiogaz Interreg-IVa

précipitations par mois



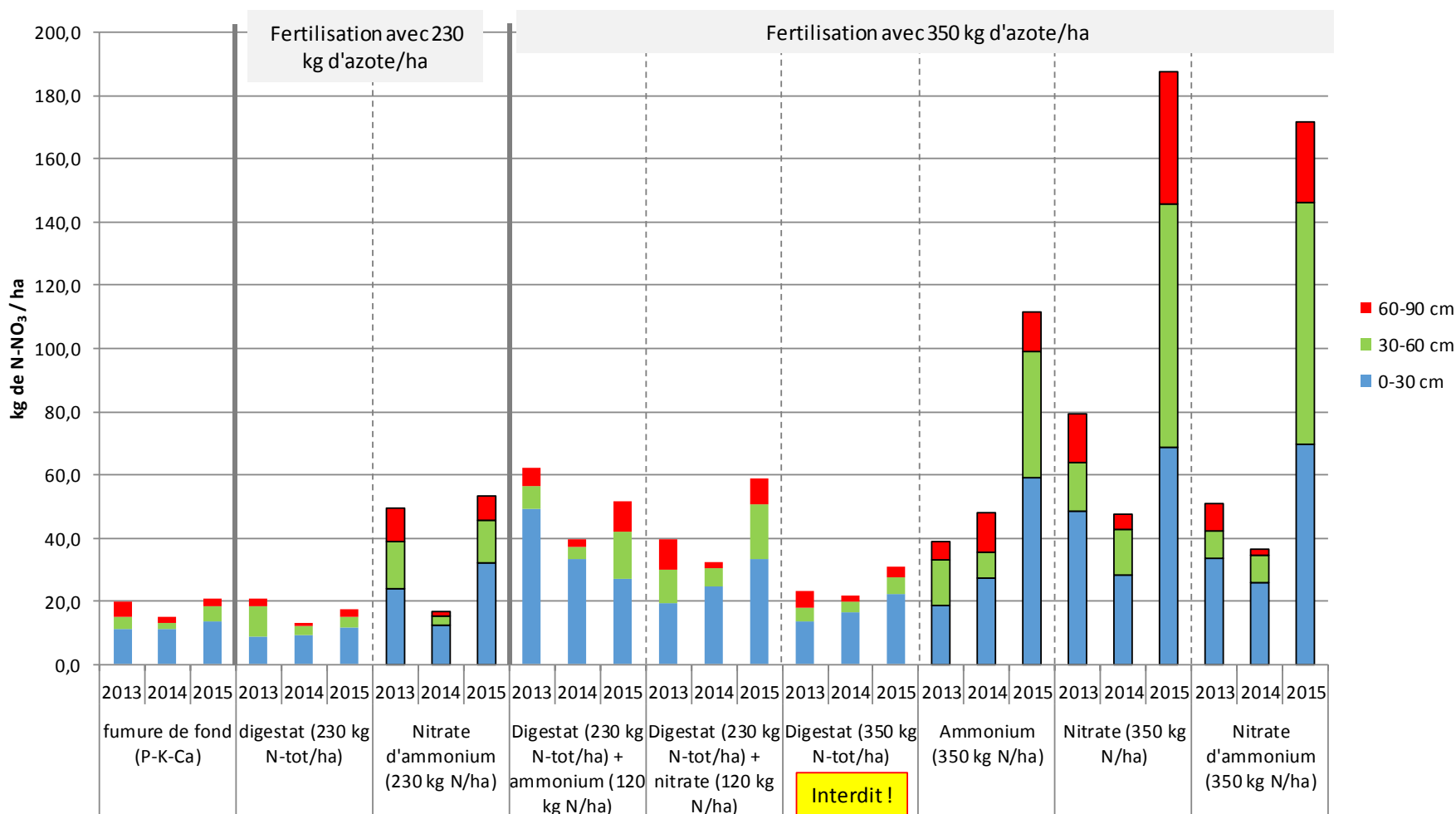
Résultats du projet Ecobiogaz

Interreg-IVa



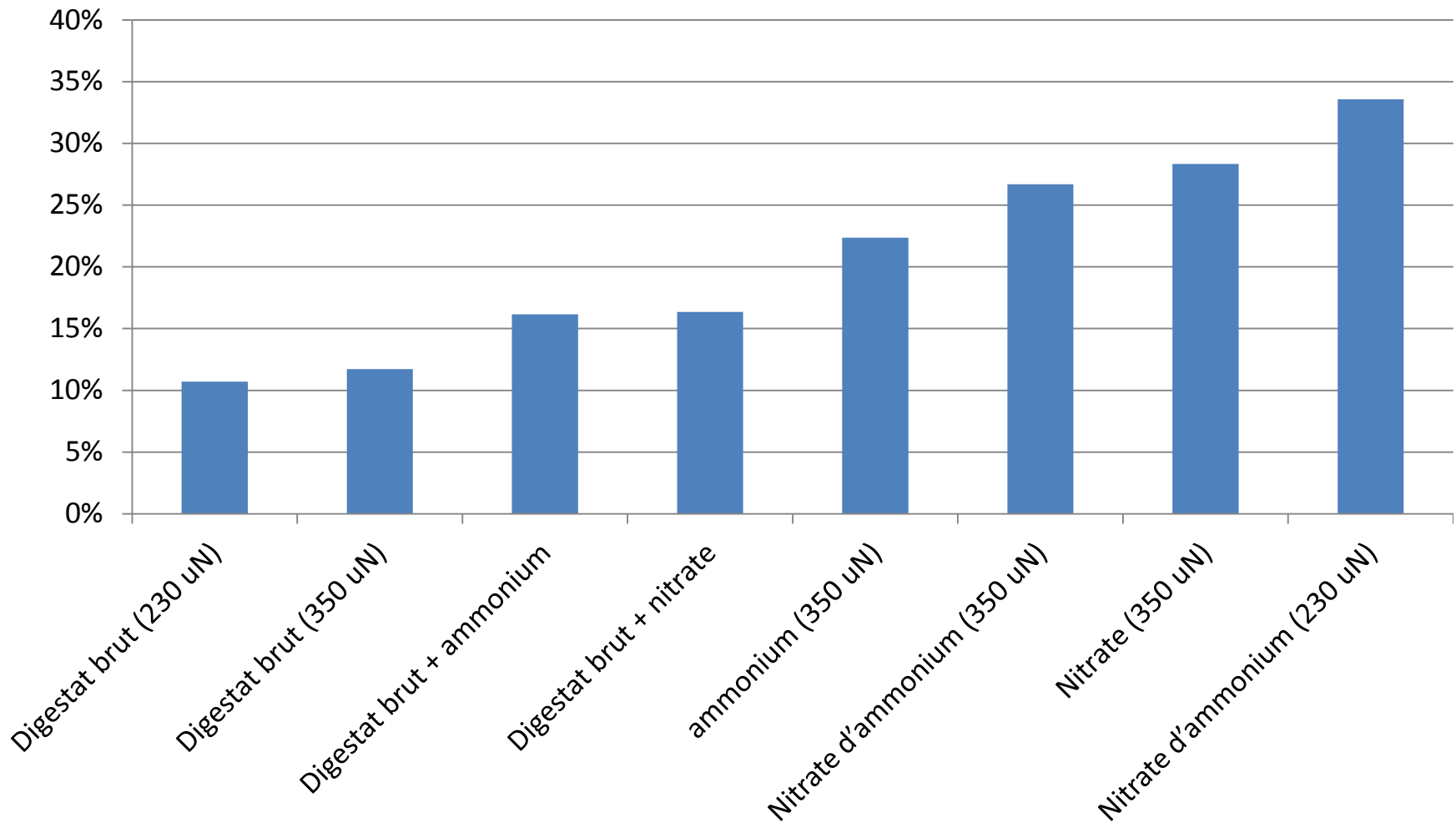
Résultats du projet Ecobiogaz

Concentration de l'azote potentiellement lessivable (NO_3^-) mesuré dans 3 horizons de sol sous prairie suite à la fertilisation avec du digestat, des engrais chimiques, ou une combinaison des deux



Effizienz agronomique

coefficient d'utilisation apparent de l'azote (moyenne 2013 à 2015)



Perspectives: Projet Perséphone

La question qui pique:

Qu'est devenu l'azote qui n'a pas été valorisé?

- Perdu par volatilisation (NH_3) ou dénitrification (NO_x) ?
- Perdu par lessivage au cours de l'année ?
- Transformé en N-organique dans le sol ?

5 vitrines agricoles en GR !

Perséphone

Fonds européen de développement régional | Europäischer Fonds für regionale Entwicklung

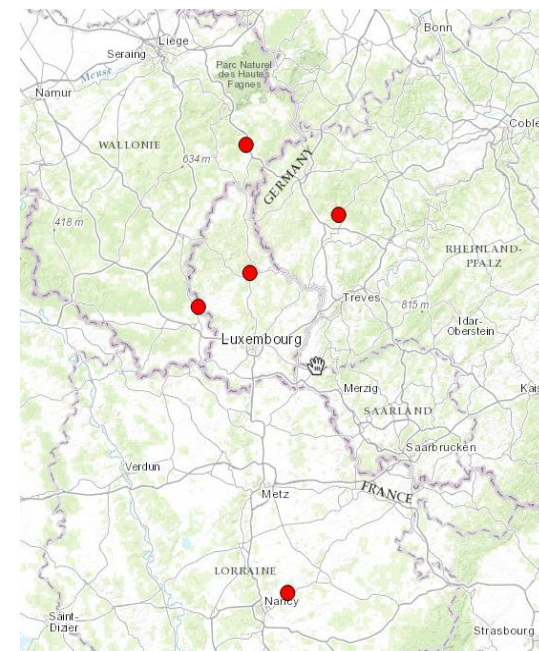
Lieu	Type de sol	T° moyenne annuelle (°C)	Précipitations (mm)
Emmels (BE)	Limoneux	7,9	993
Steinborn (DE)	Sablo-limoneux	7,8	811
Erpeldange (LU)	Alluvions	9,3	776
Attert (BE)	sablo-limoneux	8,7	935
La Bouzule (FR)	sablo-limoneux	9,6	709

20 variantes de fertilisation – 192 parcelles sur 5 sites:

- 3 variantes de **référence**
- 2 variantes organiques locales
- 5 engrais organiques produits par fractionnement
- 5 combinaisons de digestat avec engrais de synthèse chimique
- 4 engrais de synthèse chimique à 350 kg N/ha
- 1 variante organique à 350 kg N-tot/ha

Paramètres suivis:

- Rendement, Qualité du fourrage,
- Paramètres physico-chimiques du sol,
- Activité microbienne du sol,
- **Azote potentiellement lessivable (APL)**



Essais en conditions contrôlées

- Bougies poreuses (eau de percolation) et analyses de sol afin de mieux quantifier les pertes par lessivage
- Lysimètres au champ et en chambre de culture
- Mesures ponctuelles des GES
- Activité et diversité microbienne du sol
- Analyses de l'humus du sol
- Caractérisation de la stabilité des matières organiques épandues (ISMO)

Plus de 15 années de fertilisation exclusive avec du digestat



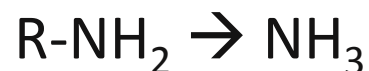
Supplément d'information

- **European Nitrogen Assessment (ENA)**
 - <http://www.nine-esf.org/node/342/index.html>
- Jackson LE1, Burger M, Cavagnaro TR. 2008. Roots, nitrogen transformations, and ecosystem services. *Annu Rev Plant Biol.* 59:341-63. doi: 10.1146/annurev.arplant.59.032607.092932.
- Bloom AJ, SS Sukrapanna, and RL Warner. 1992. Root respiration associated with ammonium and nitrate absorption and assimilation by barley. *Plant Physiol.* 99:1294-1301
- Bloom AJ, LE Jackson, and DR Smart. 1993. Root growth as a function of rhizosphere ammonium and nitrate. *Plant Cell Environ.* 16:199-206

Devenir de l'azote au cours de la biométhanisation

L'Azote reste dans le système mais est transformé en $\text{NH}_3 - \text{NH}_4^+$

Exemple d'évolution des teneurs en azote minéral	NH ₄ / N total	
	avant méthanisation	après méthanisation
Fumier de bovin	10%	46%
Fumier volaille	21%	53%
Fientes volaille	31%	59%
Fumier porcin	17%	50%
Lisier bovin	38%	63%
Lisier porcin	66%	80%
Paille	5%	43%



Les digestats de la biométhanisation

Composition modérément variable en fct des substrats et du HRT

• COMPOSITION

DIGESTAT	g/100g
MS	7-10
MOS	6
pH	7.5-8.5
Corg	3.4
Val Neut.	2.4
N _{tot}	0.31-0,7
NNH ₃	0.26-0,35
NNH3 / N tot	55-84%
C/N	11
K ₂ O	0.51
P ₂ O ₅	0.26
CaO	1.98

55 à plus de 80% de l'azote est sous forme minérale réduite NH₄⁺

C'est la forme préférentiellement assimilée par les plantes

C'est la forme bien retenue par la matrice argilique et organique du sol

Attention pH souvent basique → **VOLATILISATION NH₃ !!!**

20 à 45% de l'azote est sous forme organique R-NH₂

Sera rendu disponible si T° sol > 10° C → microorganismes le convertissent en NH₄⁺ et si sol drainant il sera oxydé en NO₃⁻, si sol hypoxique → N₂O et N₂

Apport en matière organique non digestible fortement contributrice à la formation d'humus dans le sol car stabilisée !

Améliore la retenue du NH₄⁺ et du NO₃⁻

Améliore la structure du sol

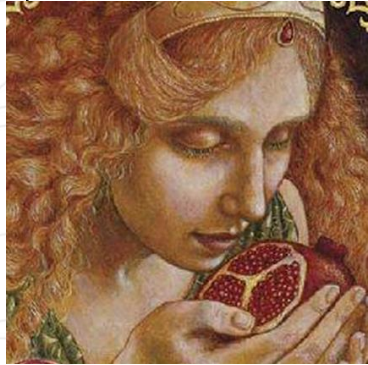
Limite les émissions de N₂O

60% de la MO
est du C_{org} stable

Valorisation sur place à la ferme !



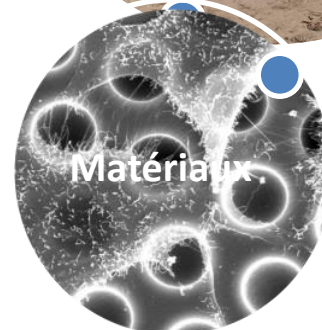
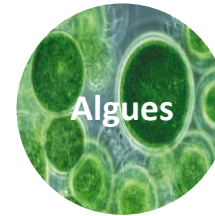
Merci pour votre attention !



PERSÉPHONE



STAND H3.15



Interreg 
Grande Région | Großregion
Perséphone
Fonds européen de développement régional | Europäischer Fonds für regionale Entwicklung

Interreg 
Grande Région | Großregion
Fonds européen de développement régional | Europäischer Fonds für regionale Entwicklung



LE GOUVERNEMENT
DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG
Ministère du Développement durable
et des Infrastructures

Ostbelgien 

Grand Est
ALSACE CHAMPAGNE-ARDENNE LORRAINE

Ministerium für
Wirtschaft, Arbeit,
Energie und Verkehr
SAARLAND

