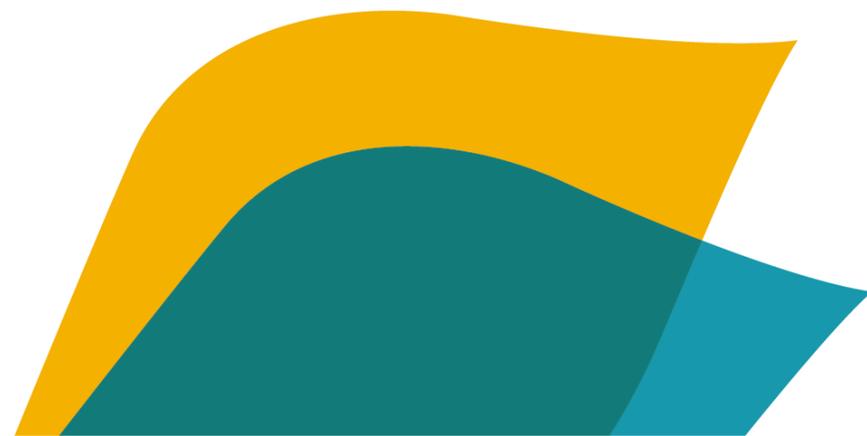


The logo for ARVALIS features a stylized leaf icon on the left, composed of overlapping yellow, teal, and light blue shapes. To the right of the icon, the word "ARVALIS" is written in a bold, teal, sans-serif font. A thick teal horizontal line is positioned below the text, tapering off to the right.

ARVALIS



Les AMB dans le LBC-GC, Comparaison de 2 méthodes de calcul

Comparaison de 2 méthodes de calcul, décomposition par postes

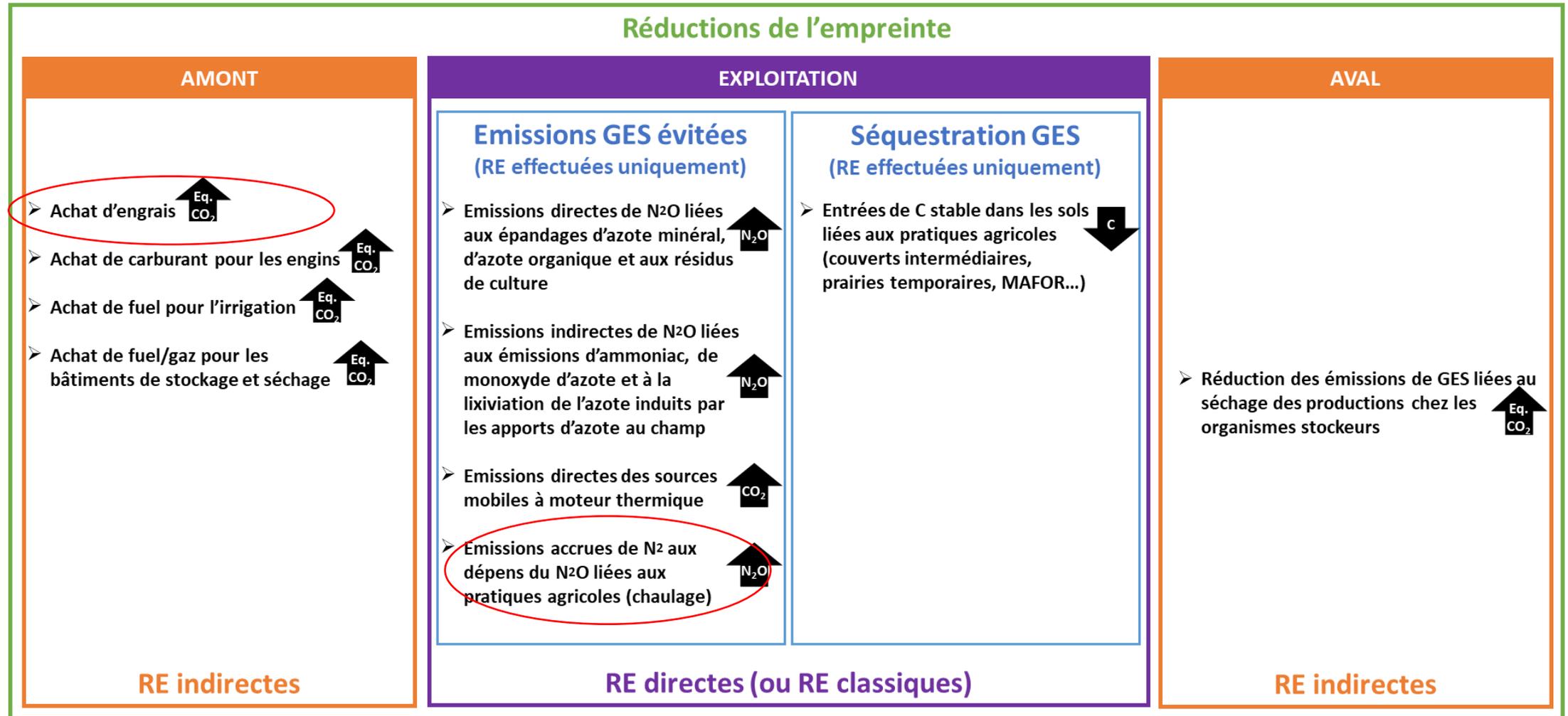
- A savoir en préalable:

La méthode de calcul est liée à son utilisation:

- **LBC - GC** calculs précis sur une exploitation, ensemble des données rendement, fertilisants disponibles. Objectifs comparer 2 situations pour faire un écart d'émissions (détourné pour l'exercice présenté ici)
- **Calculs UNIFA** – bilan C moyen national dans le cas d'une pratique de chaulage. Objectifs: évaluer l'impact des apports d'AMB

Périmètre d'application de la méthode LBC GC

Réductions d'émissions couvertes



Méthodes retenues pour évaluer les Réductions d'Émissions

Principe général pour les émissions de GES :

utilisation des références utilisées
dans les analyses de cycle de vie (ACV)

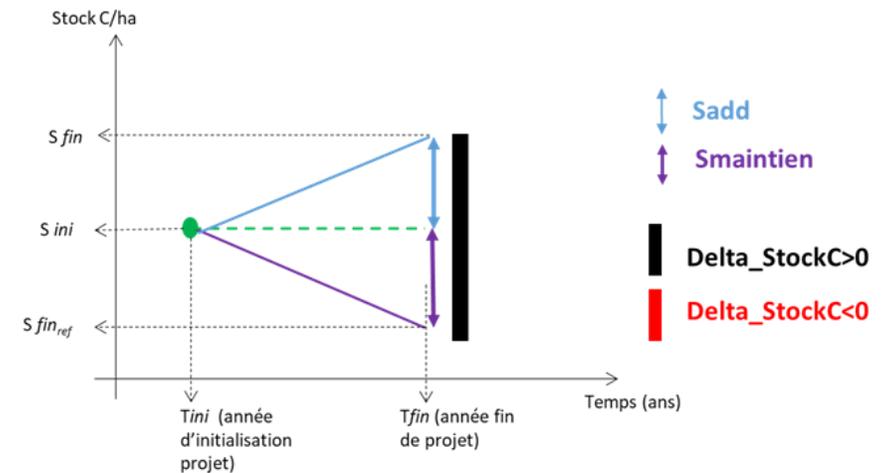
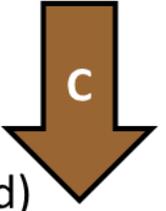
CO₂eq

$$RE_{\text{émissions}} = RE_{\text{fertilisation}} + RE_{\text{combustibles}} + RE_{\text{séchage stockage}}$$

Utilisation de facteurs d'émissions, de modes de calculs nationaux et internationaux reconnues:

IPCC 2019, OMINEA 2020, GESTIM+, ACV MAFOR, ...

Principe général pour le stockage
de carbone dans les sols : utilisation
des modèles de simulation du stock de
carbone dans le sol (AMG, STICS, AqYield)



- **N₂O directes liées aux quantités d’N apportées**

- Facteur d’émissions pour les sources d’azote minérales EF1_min = 0,016 kg N₂O-N/kg N et organiques EF1_org = 0,006 kg N₂O-N/kg N

- **En cas de chaulage sur sol à pH <6.8, coefficient d’abattement des émissions directes de N₂O** ➡ *issue des travaux Hénault et al. 2019*

- Un coefficient d’abattement des émissions si inhibiteur de nitrification 0,8 (d’après Pellerin *et al.*, 2013).

- **N₂O volat indirectes**: Des tables fournies en annexe de la méthode LBC GC:

- taux de volatilisation et redéposition des engrais minéraux, en fonction du produit et quantité N

- taux de volatilisation et redéposition des engrais minéraux, en fonction du PRO, N-NH₄ et mode épandage

- **N₂O lixiviation indirectes**: en fonction des quantités N

- **CO₂ directes**: émissions directes de dioxyde de carbone associées à la l’application de produits à base de CaCO₃ ➡ *GIEC, 2006*

- **GES amont minéraux**:

- Engrais min: facteur d’émission lié au produit (source GESTIM⁺)

- Engrais org: facteurs d’émission lié au produit (source Agribalyse)

- **AMB: FE_VN (source GESTIM⁺, 3 produits seulement)**



Emissions amont

Références dans LBC-GC V1:

$VN * FE_{VN}$

Source: GESTIM +

- Cuits -> FE_{VN} Chaux vive = 1,257 kg eqCO₂/kg VN
 - VN par défaut = 94%
- Crus séchés -> FE_{VN} Carbonate de calcium = 0,311 kg eqCO₂/kg VN
 - VN par défaut = 55%
- FE_{VN} Ecumes de sucreries = 0,100 kg eqCO₂/kg VN
 - VN par défaut = 35%

=> Ces FE intègrent un transport moyen estimé à 100 km de camion entre le lieu de production et le lieu de livraison, puis par 15 km de tracteur



Agribalyse



Ecoinvent



WorldFood DataBase



Des BDD d'inventaires de cycle de vie

Agribalyse peut aller chercher des références de ecoinvent ou WFDB

GESTIM + = un guide méthode, 2020

Utilise les données les plus récentes en 2020
(Ecoinvent3, données de 2010 et 2015)

Dans Agribalyse ICV des AMB périmés

Pour améliorer les FE:

- Agribalyse utilise des données Ecoinvent pour les processus en amonts du champ, possible de passer par Ecoinvent (Suisse) -> BDD de référence en ACV



Emissions amont

Comparaison de 2 méthodes de calcul, décomposition par postes

Références dans LBC-GC V1:

- FE_VN Chaux vive = 1,257 kg eqCO₂/kg VN
 - 1 257 kg CO₂eq/ t VN
 - VN par défaut = 94%
 - 1182 kg de CO₂ eq/t de produit
- FE_VN Carbonate de calcium = 0,311 kg eqCO₂/kg VN
 - 311 kg CO₂eq/ t VN
 - VN par défaut = 55%
 - 171 kg de CO₂/t de produit

Références UNIFA présentée au groupe SAB 30/11/2021 :

PRODUCTION

- On calcule les émissions à la production pour les 2 types d'AMB : CaO et CaCO₃
- Les émissions de CO₂ à la production sont dues à :
 - l'extraction
 - le séchage
 - le broyage

Produit AMB	VN du produit	kg de CO ₂ /t de produit	kg de CO ₂ /t de VN
chaux vive calcique	93	1031	1109
Amendement calcaire séché pulvérisé	55	62	113

unifa
Une route les plaines pour mieux servir les hommes

TRANSPORT/EPANDAGE

- Pour le transport de l'usine au champ :
 - En moyenne, 100km parcourus par camion citerne de 28T
- Pour l'épandage :
 - Appareil à rampe de 12m soit 0,83 km/ha
 - Un épandage tous les 4 ans : 1000 VN/ha en grande culture / 600 VN/ha en prairie permanente
 - Consommation épandeur : 20 l/h

Produit AMB	VN du produit	kg de CO ₂ /t de VN (transport)	kg de CO ₂ /t de VN (épandage)	kg de CO ₂ /t de VN
chaux vive calcique	93	10	11	21
Amendement calcaire séché pulvérisé	55	17	15	32

Inclus dans émissions amont pour LBC-GC

Ramené à la tonne de produit:

CaO = 9.3 kg CO₂eq/t de produit (VN=93%)

CaCO₃ = 9.3 kg CO₂eq/t de produit (VN=55%)

Calculé via consommation combustible sur l'exploitation pour le LBC-GC

Emissions CO₂ directes

Comparaison de 2 méthodes de calcul, décomposition par postes

Calculs dans LBC-GC V1:

$$\text{CO2_directes}_{i,k} = D_p(\text{kg})_{i,k} * t_C * \text{FC_C-CaCO}_3 * \text{FC_CO}_2\text{-C}$$

système de culture i en année k

Equation 10: Calcul des émissions de CO₂ directes au champ (Source : GIEC, 2006 incluses dans Méthode Expert Hénault et al. 2019)

D_p_{i,k} = la dose de carbonate de calcium (CaCO₃) (en kg)

t_C le taux de carbone du produit appliqué émis

t_C = 0,75 (synthèse entre IPCC et West et al. suggéré par IPCC 2019 = 2006)

FC_{C-CaCO₃} le facteur de conversion de CaCO₃ en C,

FC_{C-CaCO₃} = 12/100

FC_{CO₂-C}, le facteur de conversion du C en CO₂,

FC_{CO₂-C} = 44/12

Pour 1 tonne de CaCO₃:
1000*0.75*(12/100)*(44/12)
=330 kg CO₂/t de CaCO₃

Références UNIFA présentée au groupe SAB 30/11/2021 :



EMISSIONS DE CO₂ - SOL

- Après épandage, le C contenu dans le CaCO₃ est émis sous forme de CO₂ (1*CO₂ pour 1*CaCO₃)
 - Signe d'une utilisation efficace du produit
- La chaux vive CaO n'émet pas de CO₂ (sauf le CO₂ lié à la décomposition du carbonate résiduel)

Produit AMB	VN du produit	kg de CO ₂ /t de produit	kg de CO ₂ /t de VN
chaux vive calcique	93	35	38
Amendement calcaire séché pulvérisé	55	430	782



À discuter avec
présentation de C. Hénault



Emissions N₂O directes:

Calculs dans LBC-GC V1:

Abattement des émissions directes de N₂O:

Calcul d'un coefficient appliqué aux émissions N₂O calculées à partir des doses N apportées

$$C_{\text{chaulage}_{i,k}} = 1 - \left[\frac{\min(pH_{\text{final}} - pH_{\text{initial}}; 0.4)}{0.4} \times (0.5 \times \exp(-0.33 * k_{\text{chaulage}})) \right]$$

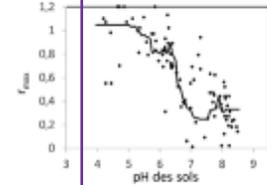
- k_{chaulage}, le nombre d'années après l'application de l'amendement basique
- pH_{initial}, le pHeau initial moyen des parcelles concernées par le chaulage. Dans le cas d'un pHeau initial > 6,8, le levier chaulage ne peut être mobilisé (il n'y a pas d'abattement des émissions de N₂O possible) et C_{chaulage}_{i,k} = 1
- pH_{final}, le pHeau obtenu après redressement sur l'ensemble des parcelles concernées par le chaulage (pHeau final doit être compris entre 6,4 et 6,8). Dans le cas d'un pHeau final < 6,4, il n'y a pas d'abattement des émissions de N₂O et C_{chaulage}_{i,k} = 1

Références UNIFA présentée au groupe SAB 30/11/2021 :



RÉDUCTION DE N₂O – SOL

- Définition des quantités d'azote apportées par fertilisation minérale + organique par ha de SAU :
 - 60% de SAU en grandes cultures + 40% de SAU en prairies permanentes (=25 000 ha)
- Conversion en quantité de N₂O émis après fertilisation azotée :
 - Facteur d'émission N-N₂O (moyenne mondiale) : 1%
 - Conversion N en N₂O : x1,57
- Pratique du chaulage : 1 épandage tous les 4 ans :
 - 1000 kg VN/ha l'année 1 en grandes cultures (pour 4 ans)
 - 600 kg VN/ha l'année 1 en prairies permanentes (pour 4 ans)
- 2 scénarios de chaulage :
 - Situation transitoire : de pH 6,8 l'année 1 à pH 6,4 l'année 4
 - Rythme de croisière : pH supérieur à 6,8 sur les 4 ans (abattement de 50% des émissions de N₂O chaque année)



Dans LBC-GC:
Calculé spécifiquement pour chaque Système de culture à partir des quantités réelles apportées

	pHfin	pHini	k chaulage	C chaulage
Année n de l'apport	6.8	6.3	0	0.50
n+1	6.8	6.3	1	0.64
n+2	6.8	6.3	2	0.74

an n N₂Odirectes= N₂O *0.64 (abattement de 50%, seules 50% des émissions de N₂O directes sont conservées dans le calcul final)
 an n+1 N₂Odirectes= N₂O *0.74 (abattement de 36%)
 an n+2 N₂Odirectes= N₂O *0.81 (abattement de 26%)

Bilan intermédiaire:

Comparaison de 2 méthodes de calcul

PRG N₂O =
265

Pour la ferti seul le poste impacté par la chaulage est
présenté: N₂O directes (engrais min et résidus de culture,
BTH 75 q/ha, résidus restitués)
Calculs l'année de l'apport d'AMB, /ha

Calculs à partir des références LBC-GC V1:

Pour une hypothèse de 100 kgN/ha ammonitrate apporté, un BTH à 75 q/ha
1.6 kg N₂O directes émis (par engrais) + 0.4 (par culture) = 825 kg CO₂eq
=> Abattement de 50% des émissions N₂O
413 kg CO₂

1tonnes de CaCO₃ /ha (VN=55)

171 kg de CO₂/t d'émission amont (inclus transport) }
330 kg CO₂/t d'émissions CO₂ directe } 501

= 914 kg CO₂ émis

Sans chaulage il y aurait eu 825 kg CO₂ émis

+ 88 avec
chaulage,
abattement
N₂O inclus

1tonnes de CaO /ha (VN=94), l'année de l'apport

1182 kg de CO₂/t d'émission amont (inclus transport) }
0 kg CO₂/t d'émissions CO₂ directe } 1182

=1525 kg CO₂ émis /ha

Sans chaulage il y aurait eu 825 kg CO₂ émis /ha

+ 769 avec
chaulage,
abattement
N₂O inclus

Références UNIFA présentée au groupe SAB 30/11/2021 :

Pour une hypothèse de 100 kgN/ha ammonitrate apporté, 1 kg N-N₂O directes
émis = 416 kg CO₂eq
=> Abattement de 50% des émissions N₂O
208 kg CO₂

1tonnes de CaCO₃ (VN=55)

71 kg de CO₂/t d'émission amont (inclus transport) }
430 kg CO₂/t d'émissions CO₂ directe } 501

=710 kg CO₂ émis

Sans chaulage il y aurait eu 416 kg CO₂ émis

+ 293 avec
chaulage,
abattement
N₂O inclus

1tonnes de CaO (VN=93), l'année de l'apport

• 1041 kg de CO₂/t d'émission amont (inclus transport) }
• 35 kg CO₂/t d'émissions CO₂ directe } 1075

=1249 kg CO₂ émis /ha

Sans chaulage il y aurait eu 416 kg CO₂ émis /ha

+ 832 avec
chaulage,
abattement
N₂O inclus

Raisonnement dépendant des hypothèses:

- Valable si le pH initial n'est pas un facteur limitant de la production
- Et pour 100 kg N/ha



Bilan intermédiaire:

Comparaison de 2 méthodes de calcul

Pour 1 tonnes de CaCO₃ ou 1 t de CaO l'année de l'apport

100 kg N, 75 q/ha de blé
(résidus restitués)

LBC	bilan	
	CaCo3	CaO
sans AMB	825.4	825.4
avec AMB	913.7	1594.3
Ecart avec - sans AMB	88.4	768.9

100 kg N

UNIFA	bilan	
	caCo3	CaO
sans AMB	416.3	416.3
avec AMB	709.7	1248.8
Ecart avec - sans AMB	293.3	832.5

200 kg N, 75 q/ha de blé
(résidus restitués)

LBC	bilan	
	CaCo3	CaO
sans AMB	1491.7	1491.7
avec AMB	1246.9	1927.4
Ecart avec - sans AMB	-244.8	435.7

200 kg N

UNIFA	bilan	
	caCo3	CaO
sans AMB	832.6	832.6
avec AMB	917.8	1457.0
Ecart avec - sans AMB	85.2	624.4



Raisonnement dépendant des hypothèses:

- Valable si le pH initial n'est pas un facteur limitant de la production
- Dépendant de la dose d'azote (abattement émissions N₂O)
- Dépendant du produit et de sa dose (émissions amont et CO₂ directes)



Bilan intermédiaire:

Comparaison de 2 méthodes de calcul

Pour une situation d'entretien (environ 200VN/an bloqué pour 3ans = 800VN)

1.454 t de CaCO₃

0.851 t de CaO

- ✓ Apport AMB en année 1:
- émissions CO₂ directes et GES amont en année 1
- Abattement N₂O dégressif au cours du temps avec

pHfin	pHini
6.8	6.3

- ✓ 200 kg ammo tous les ans
- ✓ BTH à 75 q/ha tous les ans

LBC	bilan an apport (kg CO ₂ eq)	
	CaCo3	CaO
sans AMB	1491.7	1491.7
avec AMB	1474.4	1751.4
Ecart avec - sans AMB	-17.3	259.7

LBC	bilan an 2 (kg CO ₂ eq)	
	CaCo3	CaO
sans AMB	1491.7	1491.7
avec AMB	955.5	955.5
Ecart avec - sans AMB	-536.2	-536.2

LBC	bilan an 3 (kg CO ₂ eq)	
	CaCo3	CaO
sans AMB	1491.7	1491.7
avec AMB	1106.2	1106.2
Ecart avec - sans AMB	-385.5	-385.5

bilan 3 ans	CaCO ₃	CaO
	(1.454 t de produit /ha sur 3ans) Emissions en kgCO ₂ eq	(0.851 t de produit /ha sur 3ans) Emissions en kgCO ₂ eq
sans AMB	4475.0	4475.0
avec AMB	3536.0	3813.0
Ecart avec - sans AMB	-939.0	-662.0
Ecart moyen /an	-313.0	-220.7

Raisonnement dépendant des hypothèses:

- Valable si le pH initial n'est pas un facteur limitant de la production
- Dépendant de la dose d'azote (abattement émissions N₂O)
- Dépendant du produit et de sa dose (émissions amont et CO₂ directes)

Remarques:

- **Comparaison des références utilisées:**

- Différences sur les émissions amont entre les 2 méthodes -> mise à jour possible si ACV publiées
- Avec CaCO₃ le taux carbone appliqué ré-émis 75% dans LBC-GC (issu biblio); 100% pour UNIFA et GIEC -> à revoir?
- Abattement N₂O également appliqué aux N₂O cultures et PRO dans le LBC
- Coefficient d'émission engrais minéraux = 1% pour UNIFA et 1.6% pour LBC

- **En prenant en compte les émissions amont des produits, émissions au champ CaCO₃ et abattement émissions N₂O les apports d'AMB ne sont pas forcément bénéfiques l'année de l'apport: dépend du produit et de la dose d'N sur lequel l'abattement N₂O est appliqué, raisonnement LBC à conduire en pluriannuel**

- **Le cas du stockage additionnel de C dans le sol: il est lié à la production de biomasse (= rendement)**

- **Dans le LBC-GC:** Emissions liées à un éventuel stockage additionnel de carbone intégré via évolution de rendement mesurée, non présenté ici
- **Un raisonnement LBC ou bilan global pourrait être différent sur ce poste:**
 - Pour le LBC, une situation d'entretien est une pratique de la référence donc non additionnelle dans un projet
 - Pour un bilan global, on pourrait considérer un service de maintien de pH par les apports d'AMB limitant d'acidification.
 - ⇒ Il faudrait connaître la vitesse d'acidification des sols; les pertes de rendements selon les pH pour effectuer un bilan complet associant la production de biomasse.
 - ⇒ Intégrer un effet plateau de pH sur le rendement?

