

Enseigner la méthode du bilan carbone en BUT : condition nécessaire et suffisante ?

C. Coillot¹ et S. le Floc'h²

¹Laboratoire Charles Coulomb (L2C), Université de Montpellier / CNRS.

²Laboratoire de Mécanique et Génie Civil (LMGC), Université de Montpellier / CNRS.



Pourquoi enseigner la méthode du Bilan Carbone ?

Sensibiliser aux problématiques environnementales
Méthode « opérationnelle » adaptée aux Sciences et Techniques de l'ingénieur [1], Référentiel ClimatSup INSA)
→ **Enseignement voué à devenir INCONTOURNABLE**

Qu'est ce que la méthode du bilan carbone ?

Méthode comptable standardisée => NF ISO 14067 [2]
Analyse de cycle de vie (ACV) « mono-critère » => critère du « réchauffement climatique » d'origine anthropique

Les prérequis :

Règle de 3
Conversions d'unités : g ⇔ kg ⇔ t, l ⇔ m³
Homogénéité des équations, par ex. : $\frac{kg CO_2 e}{km} \times km \Rightarrow kg CO_2 e$

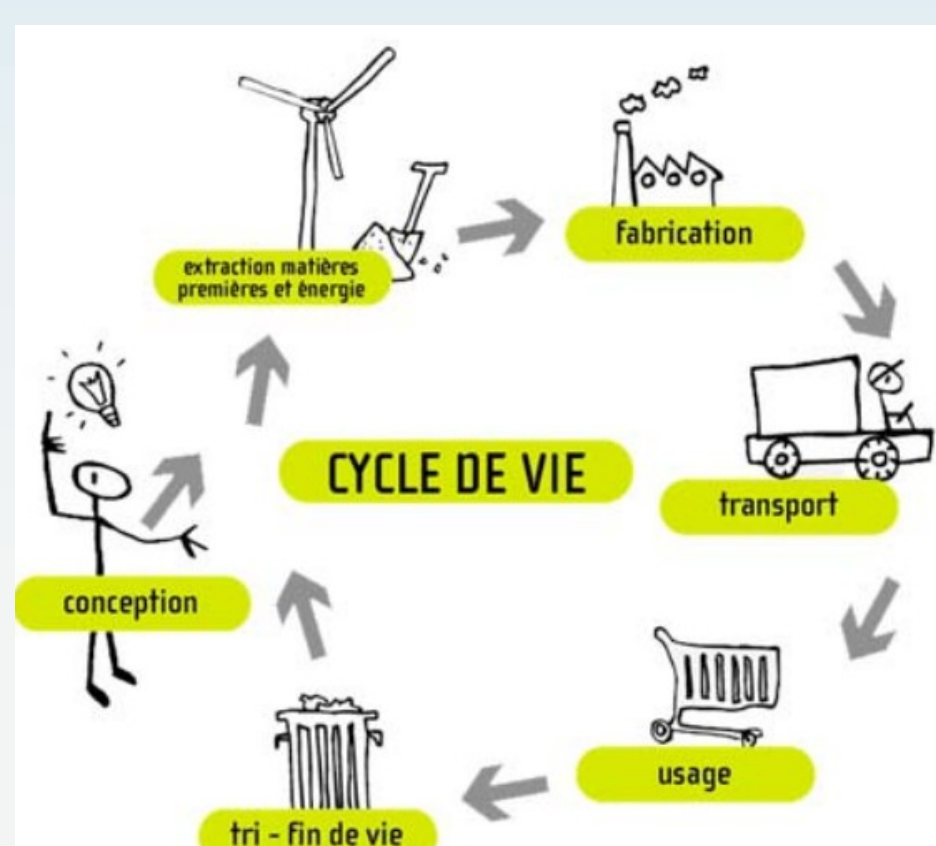
Contexte de l'UE Initiation à la méthode du bilan carbone:

2020-2022 : DUT GMP 1ere et 2eme année à l'IUT de Nimes
Depuis 2022 : BUT GEII 1ere année à l'IUT de Montpellier
~100 étudiant.e.s (public à 96 % masculin)
Public **technophile, passionné d'aéronautique et d'automobile**
Faible intérêt sur les enjeux de la transition écologique

Contenu & Organisation de l'UE:

CM1 : introduction à l'écoconception [3] → Modèle de climat [4] → Revue scientifique changement climatique (historique, article et rapports GIEC)

- chgt climatique, ecotoxicité
- dépletion des ressources...



Modèle du climat d'ordre 0

Modèle climatique : $\Rightarrow T_E = \sqrt[4]{\frac{(1-\alpha)S}{4\sigma(1-\epsilon)}}$

S : flux solaire (terrestre = 1368 W/m²)
α : albedo
σ = 5,67 x 10⁻⁸ cte de Stefan-Boltzmann
ε : atmosphère + ou - dense

Planète	atmosphère	peu dense	dense
Lune	ε' ≈ 0	α = 0,28	
Terre	ε' ≈ 0,72	α = 0,3	
Vénus	ε' ≈ 0,99	α = 0,77	

⇒ T_{Lune} = 250 K = -23 °C
⇒ T_{Terre} = 288 K = 15 °C
⇒ T_{Vénus} = 737 K = 464 °C

Historique des modèles du climat

1979 : J. Charney & co. (1979) : Evaluation des contributions du CO₂ au forçage radiatif. Rapport de l'Académie des Sciences Américaines (*)

The conclusions of this brief but intense investigation may be comforting to scientists but disturbing to policymakers. If carbon dioxide continues to increase, the study group finds no reason to doubt that climate changes will result and no reason to believe that these changes will be negligible. The A wait-and-see policy may mean waiting until it is too late.

Trajectories of the Earth System in the Anthropocene

Will Steffen^{a,b,1}, Johan Rockström^a, Katherine Richardson^a, Timothy M. Lenton^a, Colin P. Summerhayes^a, Anthony D. Barnosky^a, Sarah E. Cornell^a, Michel Crucifix^a, Ingo Fetzer^a, Steven J. Lade^{a,b}, Marten Scheffer^a, Ricarda Winkelmann^a, and Harriet Waisman^a

CM2 : Méthode du bilan carbone [2] - CM3 : Méthode de l'ACV multicritères [3,5] - CM4 : Ecoconception pour le...(GEII).

Le gCO₂e (ou kgCO₂e) : quésako ?

1 kg de bois => 0,5 kg de Carbone

Oxygène (O₂) + Bois C+H+O → CO₂ + vapeur d'eau (H₂O)

$m_{CO_2} = \frac{44}{12} m_C \rightarrow M_{CO_2} = 3,7 \times 0,5 kg = 1,83 kg$

CO₂ = 1 atome de Carbone + 2 atomes d'Oxygène
Ordre de grandeur kgCO₂
1 kg (Bois) ~ 2 kg (C O₂)

Méthode du bilan carbone

L'ADEME a produit un document de référence : la Base Empreinte Carbone qui permet de connaître le facteur d'émission (FE) de chaque activité (FLUX).

Le Bilan (ou l'empreinte) Carbone (BC) est le produit du "Flux" par le "FE":

$BC (kgCO_2e) = FE (kgCO_2e/unité) \times Flux (unité)$

<https://base-empreinte.ademe.fr>

Illustration de la méthode de comptabilité d'ACV

Calcul du score d'impact Intermédiaire pour la catégorie i : SI(i)

On définit :
FI(s,i) = Facteur d'impact intermédiaire pour la catégorie i et la substance s
M(s) = Masse de la substance s
On illustre sur le cas du bloc acier (on ne considère que certaines substances)

$SI_i = \sum_k (M_{s,i} \times FI_{s,i})$

émissions	Unités	Bloc Acier (somme par)	Facteur Intermédiaire (FI)	Score Intermédiaire (SI)
Energie	MJ	4042,82		
CO2		254,206	1	254,206
CH4		0,151148	25	3,7787
N2O		0,0013411	298	0,3996478
SI EffetSerre				258,3843478
Emissions dans l'air (kgPM2,5/kg)				
Particules Fines		0,038456	0,6	0,0230736
Nox		0,224164	0,0077	0,0017260528
SO2		0,43953	0,038	0,01670214
SI EmissionsAir				0,0415018028

Leviers d'ecoconception

Axe 1 : Réduire la consommation électrique :

Utiliser les fonctions "power down" (shutdown) des composants dans vos architectures lorsqu'ils ne sont pas utilisés !
Illustration : LT1206 (current feedback amplifier = AOP de puissance)

FEATURES

- 250mA Minimum Output Drive Current
- 60MHz Bandwidth, A_v = 2, R_L = 100Ω
- 900V/μs Slew Rate, A_v = 2, R_L = 50Ω
- 0.02% Differential Gain, A_v = 2, R_L = 30Ω
- 0.17° Differential Phase, A_v = 2, R_L = 30Ω
- High Input Impedance, 10MΩ
- Wide Supply Range, ±5V to ±15V
- Shutdown Mode: I_s < 200μA

1) Empreinte carbone d'un plat de lasagne : fait maison ou surgelé ? TD1

(15 durée conseillée 45 minutes)
L'exercice porte sur la comparaison de l'impact en terme environnemental entre un plat de lasagne « fait maison » et un plat de lasagne surgelé.

Hypothèses :
Nous supposons que la logistique d'achat et de distribution sont équivalentes (par ex. achat dans le même lieu et moyen pour s'y rendre identiques). Nous supposons que les provenances des ingrédients principaux sont identiques (tomates d'Espagne, viande de chevat... euh de « bœuf de Roumanie » et lasagnes d'Italie)

Facteurs d'émission	Viande de bœuf	emmental	Pâtes crues	tomates	Électricité (mix français)
	34kgCO ₂ e/kg	6,72kgCO ₂ e/kg	1,72kgCO ₂ e/kg	0,64kgCO ₂ e/kg	55gCO ₂ e/kWh

TD2 - Méthode du Bilan Carbone

IUT de Montpellier - BUT GEII 1ere année
(par C. Coillot - L2C/CNRS)

Empreinte carbone d'un Tee-shirt

L'exercice porte sur le bilan carbone d'un vêtement de la marque fictive de vêtements « ZERO ». Nous considérerons deux catégories de Tee-shirt :
- Tee-shirt polyester emballé dans un sachet plastique (= Tee shirt 1)
- Tee-shirt coton bio emballé dans une pochette papier (=Tee shirt 2).
Une fois l'empreinte carbone sur le cycle de vie réalisée nous examinerons les leviers de réduction des impacts environnementaux.



TD3 : initiation à l'ACV

Tableau ACV à compléter (extension de la méthodologie du Bilan Carbone)
Initiation à **Bilan Produit** => illustration au « Tee-shirt » du TD2

Retours des étudiant.e.s

Enseignement arrivant comme un « cheveu sur la soupe » => orthogonal au reste de la formation
Importance de la matière enseignée liée au coefficient de l'évaluation...
Mais Intérêt pour avoir traité des pbs du quotidien
Retour sur l'évaluation :
A l'issue de 4 cours et 3 TDs, 80% des étudiant.e.s continuent à penser que le réchauffement climatique est causé par le trou dans la couche d'ozone...
La méthode est mal maîtrisée par plus de la moitié.
Désintérêt sur le fond : ils veulent continuer à manger du boeuf et faire du tuning.

Conclusion sur l'enseignement de la méthode du bilan carbone à l'IUT

Permet une introduction étoffée à la question du changement climatique

Bilan carbone - intérêt de l'approche quantitative :

=> outil accepté et incontournable
=> méthode analytique appropriée pour les « BUTs »
=> progression pédagogique vers les méthodes d'ACV
=> approche neutre qui **ouvre aux questions systémiques** : délocalisation, surconsommation, déchets, exploitation des ressources, logique du profit, etc.
=> **condition nécessaire mais pour qu'elle soit suffisante :**

=> doit **s'articuler** avec les autres enseignants & les autres enseignements
=> doit **s'inscrire dans un continuum** => autres problématiques (biodiversité, ecotoxicité, particules fines, eutrrophisation => méthode de l'analyse du cycle de vie
=> **doit être adaptée aux spécialités (GMP vs GEII)**



Quelques références bibliographiques

[1] Référentiel de connaissances et de compétences pour l'ingénieur - The Shift Project, 2022

[2] NF EN ISO 14067 - 2018 - 90, AFNOR, (2018)

[2] Joliet et al. "Analyse du cycle de vie: réaliser et comprendre un ecobilan", ISBN : 978-2-88915-135-6, (2017)

[3] Kandell R. « Le réchauffement climatique », Que sais-je ?, 2010.

[4] Cours d'écoconception en ligne de l'UVED : http://stockage.univ-valenciennes.fr/MenetACVBAT20120704/acvbat/chap02/co/ch02_010_acv.html