
GEN 272 – INGÉNIERIE DURABLE ET ÉVALUATION DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX

GUIDE DE L'ÉTUDIANT
S2 – APP 4

Hiver 2023 – Semaines 6 et 7

Département de génie électrique et de génie informatique
Faculté de génie
Université de Sherbrooke

Auteur(s): M. Courchesne, B. Roure, B. Amor
Version: 5 (1^{er} février 2023)

Ce document est réalisé à l'aide de Microsoft Word.

©2023 Tous droits réservés. Département de génie électrique et de génie informatique,
Université de Sherbrooke.

TABLE DES MATIÈRES

| | | |
|-------------|---|-----------|
| 1 | ACTIVITÉS PÉDAGOGIQUES ET COMPÉTENCES | 1 |
| 2 | SYNTHÈSE DE L'ÉVALUATION | 1 |
| 3 | QUALITÉS DE L'INGÉNIEUR | 1 |
| 4 | CONNAISSANCES NOUVELLES | 2 |
| 5 | SANTÉ ET SÉCURITÉ : DISPOSITIONS GÉNÉRALES | 3 |
| 6 | POLITIQUES ET RÈGLEMENTS | 4 |
| 7 | INTÉGRITÉ, PLAGIAT ET AUTRES DÉLITS | 4 |
| 8 | ÉNONCÉ DE LA PROBLÉMATIQUE | 5 |
| 9 | GUIDE DE LECTURE | 7 |
| 9.1 | Références essentielles | 7 |
| 9.2 | Documents complémentaires | 7 |
| 10 | PRODUCTIONS À REMETTRE | 8 |
| 11 | ÉVALUATIONS | 8 |
| 11.1 | Sommaire des évaluations | 9 |
| 11.2 | Évaluation sommative et finale de l'unité | 9 |
| 11.3 | Productions à remettre | 9 |
| 12 | PRATIQUE PROCÉDURALE 1 | 11 |
| 13 | PRATIQUE PROCÉDURALE 2 | 13 |
| 14 | PRATIQUE PROCÉDURALE 3 | 17 |
| 15 | VALIDATION DE LA SOLUTION | 22 |
| 16 | RÉDACTION DES PRODUCTIONS EXIGÉES | 22 |
| 17 | TUTORAT DE FERMETURE | 23 |

LISTE DES FIGURES

| | |
|--|----|
| Figure 14.1 Résultats d'une ACV comparative de trois systèmes..... | 21 |
|--|----|

LISTE DES TABLEAUX

| | |
|---|----|
| Tableau 2.1 Synthèse de l'évaluation de l'unité | 1 |
| Tableau 3.1 Synthèse de l'évaluation des qualités..... | 1 |
| Tableau 11.1 Sommaire des évaluations..... | 9 |
| Tableau 11.2 Évaluation des productions à remettre | 10 |
| Tableau 12.1 Flux intermédiaires, énergie et émissions de CO ₂ | 12 |
| Tableau 13.1 Flux intermédiaires, énergie et émissions | 14 |
| Tableau 13.2 Données d'émissions liées au procédé Pulpe..... | 14 |
| Tableau 13.3 Données d'émissions liées à la production de papier, de film PET et d'envoi postal | 14 |
| Tableau 13.4 des émissions liées à la production d'un gramme des composantes | 15 |
| Tableau 13.5 des émissions liées à la consommation énergétique d'un kWh | 15 |
| Tableau 14.1 Données d'inventaire d'une automobile | 17 |
| Tableau 14.2 Données de transports et d'inventaire d'un ordinateur portable | 18 |
| Tableau 14.3 Résultats d'ACV selon les impacts dommages..... | 20 |

1 ACTIVITÉS PÉDAGOGIQUES ET COMPÉTENCES

GEN272 – Ingénierie durable et évaluation des impacts environnementaux

1. *Compétence 1* : Comprendre les phénomènes physico-chimiques des problématiques environnementales et leurs effets sur l'environnement et l'Homme.
2. *Compétence 2* : Reconnaître, comprendre et appliquer sommairement les concepts d'analyse du cycle de vie à des systèmes relevant du génie électrique et informatique.

Comparer et interpréter les résultats d'impacts environnementaux de systèmes fonctionnellement identiques et proposer des améliorations environnementales.

Description officielle : <https://www.usherbrooke.ca/admission/fiches-cours/gen272>

2 SYNTHÈSE DE L'ÉVALUATION

Tableau 2.1 Synthèse de l'évaluation de l'unité

| Évaluation | GEN272-1 | GEN272-2 |
|-------------------------------------|----------|----------|
| Validation de l'APP | 0 | 30 |
| Rapport d'APP et livrables associés | 0 | 90 |
| Évaluation sommative théorique | 90 | 120 |
| Évaluation finale théorique | 110 | 160 |
| Total | 200 | 400 |

3 QUALITÉS DE L'INGÉNIEUR

Les qualités de l'ingénieur visées par cette unité d'APP sont les suivantes. D'autres qualités peuvent être présentes sans être visées ou évaluées dans cette unité d'APP. Pour une description détaillée des qualités et leur provenance, consultez le lien suivant : <https://www.usherbrooke.ca/genie/etudiants-actuels/au-baccalaureat/bcapg/>

Tableau 3.1 Synthèse de l'évaluation des qualités

| Évaluation | Qualités évaluées |
|--------------------------------|-------------------|
| Évaluation sommative théorique | Q01, Q09 |
| Évaluation finale théorique | Q01, Q09 |

4 CONNAISSANCES NOUVELLES

Connaissances déclaratives (quoi)

- Étape procédurale d'analyse du cycle de vie
 - Objectifs
 - Inventaire
 - Évaluation des impacts
 - Interprétation
- Les impacts environnementaux de type problème
 - Réchauffement climatique
 - Diminution de la couche d'ozone
 - Acidification
 - Smog photochimique et chimique
 - Eutrophisation
 - Toxicité humaine et écotoxicité
 - Utilisation des terres
 - Épuisement des ressources
- Les impacts environnementaux de type dommage
 - Santé Humaine
 - Qualité des Écosystèmes
 - Changement climatique
 - Épuisement des ressources

Connaissances procédurales (comment)

- Selon la méthodologie de la norme ISO 14044 pour l'analyse du cycle de vie, modéliser de manière simplifiée les systèmes d'ingénierie
- Comprendre les liens entre impacts environnementaux de type problème et de type dommage
- Comprendre la signification de ces impacts issus des activités anthropiques

Connaissances conditionnelles (quand)

- Mesurer et réduire les impacts d'un système
- Faire de l'ingénierie durable

5 SANTÉ ET SÉCURITÉ : DISPOSITIONS GÉNÉRALES

Dans le cadre de la présente activité, vous êtes réputés avoir pris connaissance des politiques et directives concernant la santé et la sécurité. Ces documents sont disponibles sur les sites web de l'Université de Sherbrooke, de la Faculté de génie et du département. Les principaux sont mentionnés ici et sont disponibles dans la section *Santé et sécurité* du site web du département: <https://www.gel.usherbrooke.ca/santesecurite/>.

- Politique 2500-004: Politique de santé et sécurité en milieu de travail et d'études
- Directive 2600-042: Directive relative à la santé et à la sécurité en milieu de travail et d'études
- Sécurité en laboratoire et atelier au département de génie électrique et de génie informatique

6 POLITIQUES ET RÈGLEMENTS

Dans le cadre de la présente activité, vous êtes réputés avoir pris connaissance des politiques, règlements et normes d'agrément suivants.

Règlements de l'Université de Sherbrooke

— Règlement des études: <https://www.usherbrooke.ca/registraire/droits-et-responsabilites/reglement-des-etudes/>

Règlements facultaires

— Règlement facultaire d'évaluation des apprentissages / Programmes de baccalauréat : https://www.usherbrooke.ca/a-propos/Genie_Regl_Evaluation_Apprentissages_Final.pdf

— Règlement facultaire sur la reconnaissance des acquis

Normes d'agrément

— Informations pour les étudiants au premier cycle: <https://www.usherbrooke.ca/genie/etudiants-actuels/au-baccalaureat/bcapg>

— Informations sur l'agrément: <https://engineerscanada.ca/fr/agrement/a-propos-de-l-agrement>

Si vous êtes en situation de handicap, assurez-vous d'avoir communiqué avec le *Programme d'intégration des étudiantes et étudiants en situation de handicap* à l'adresse de courriel prog.integration@usherbrooke.ca.

IMPORTANT : Merci de noter qu'aucun barème de côte n'est prédéterminé ou imposé ni par l'université (voir règlement des études), ni par la faculté ou le département de génie électrique et de génie informatique (voir règlements facultaires). Ainsi, l'approche utilisée est celle de la faculté (validée par le département) soit que le barème est déterminé selon le jugement des enseignants en fonction de la performance de la classe, du niveau de difficulté de l'examen, etc. Également, il est important de savoir qu'il faut obtenir une note minimale de 50% dans **chaque** compétence de l'APP pour réussir le cours.

7 INTÉGRITÉ, PLAGIAT ET AUTRES DÉLITS

Dans le cadre de la présente activité, vous êtes réputés avoir pris connaissance de la déclaration d'intégrité relative au plagiat: <https://www.usherbrooke.ca/ssf/antiplagiat/jenseigne/declaration-dintegrite/>

8 ÉNONCÉ DE LA PROBLÉMATIQUE

Mise en contexte

L'automobile plus écolo que le vélo ?

Publié le 4 juin 2015 par Jean Luc Moreau

Depuis toujours, le vélo est présenté comme un mode de déplacement respectueux de l'environnement et l'automobile comme un moyen de transport polluant, responsable du réchauffement climatique, notamment. Du reste, on ne parle plus, aujourd'hui, de chevaux vapeur, mais d'émissions de CO₂, à l'image de la nouvelle Honda Civic affichant fièrement ses 79 g/km. Encore trop aux yeux des écologistes radicaux militant pour le remplacement, pur et simple, de l'auto par le vélo. Certes, c'est bon pour la santé, ça ne produit pas de polluants locaux (CO, NO_x, PM), mais ce n'est pas très rentable en matière de CO₂.

Oublions le gaz carbonique émis par notre respiration normale, soit 50 g/h, et prenons l'exemple d'un cycliste de bon niveau : un homme de 70 kg, dont le vélo et l'équipement complet pèsent 20 kg, et qui se déplace sur une route plate, sans vent, par une température de 20°C, à une vitesse de 30 km/h. Pour fournir cet effort, il développe une puissance de 200 W.

S'il parcourt 100 km, il va donc rouler 3 h 20 et utiliser 666,6 Wh d'énergie. Compte tenu du rendement du métabolisme humain (environ 25 %), il lui faut l'équivalent de 2,67 kWh d'alimentation pour effectuer une telle distance. Et c'est là que l'affaire se complique. Si notre cycliste puise sa force dans la viande, et sachant qu'un kilo de bœuf haché fournit 2,9 kWh d'énergie, il doit donc en manger 0,917 kg pour réaliser son parcours. Pour peu qu'il s'agisse de bœuf importé du Brésil (le premier producteur mondial), son bilan carbone devient simplement épouvantable.

Selon l'*International Journal of Life Cycle Assessment*, la revue de référence dans le domaine des analyses de cycle de vie, la consommation de 0,917 kg de bœuf provenant du Brésil contribue à émettre 307 kg de CO₂, soit 3 070 g/km... lorsqu'une Ferrari de 963 ch émet 330 g/km ! Notre cycliste peut aussi manger du bœuf français, me direz-vous. Dans ce cas, toujours selon l'IJLCA, les émissions de CO₂ tombent à 20 kg pour parcourir 100 km, soit 200 g/km... comme une Porsche 911 Carrera !

Si sa conscience écologique lui interdit le bœuf, notre cycliste peut se tourner vers le poulet, la viande dotée de la plus faible empreinte carbone (6,2 kg de CO₂ par kilo). Un kilo de poulet contenant 2,54 kWh d'énergie, il doit en manger 1,05 kg pour son périple, soit 65 g/km de CO₂. Enfin, si ce sportif se nourrit exclusivement de... tofu, l'aliment possédant la plus faible empreinte carbone de tous (3,8 kg de CO₂/kg), mais à la contenance énergétique faible (1,65 kWh/kg), il devra en manger 1,61 kg.

Au final, son bilan CO₂ (61,2 g/km) sera à peine meilleur qu'avec le poulet ! C'est mieux que les 79 g/km de la Honda Civic, sauf que celle-ci peut transporter cinq personnes. Ce qui ramène les émissions de CO₂ à 15,8 g/km par individu.

L'usage du vélo n'est donc pas plus efficace que l'automobile pour lutter contre le réchauffement climatique. Et c'est pire encore pour la course à pied...

Énoncé de la problématique

Les impacts environnementaux des centres de stockage de données informatiques selon l'approche cycle de vie

Dans le cadre de son projet d'expansion, une entreprise veut construire un nouveau centre de stockage de données informatiques en collaboration avec un partenaire du domaine de la production énergétique. Soucieuse d'un développement durable et se voulant innovatrice dans son domaine, elle porte une réflexion poussée quant au choix d'un emplacement stratégique permettant de concilier opportunités d'affaires, faible impacts environnementaux et retombées économiques et sociales favorables.

Ainsi, vous êtes mandaté afin d'entreprendre une analyse du cycle de vie environnementale simplifiée permettant d'évaluer les impacts environnementaux pour les deux emplacements potentiels pour ce nouveau centre de stockage de données informatiques. Dans un deuxième temps, afin de réduire les impacts environnementaux, il vous est possible de proposer une source énergétique différente du mix provincial. La première option est l'éolien (éolienne 2MW). La deuxième option est le solaire (panneau solaire polycristallin). Les deux options doivent être étudiés dans le cadre de la problématique. Après avoir collecté les données auprès de l'équipe en charge de la conception du centre de données, il vous a été possible d'établir un inventaire des principales composantes du cycle de vie des deux systèmes.

Afin de mener à bien votre étude, des données sur chacun des centres potentiels de stockage des données informatiques vous ont été fournis :

- Centre de stockage de données au Québec ayant une durée de vie de 40 ans et d'une capacité de stockage de 2 Po alimenté par le réseau provincial et nécessitant 1 GWh/an.
- Centre de stockage de données en Alberta ayant une durée de vie de 30 ans et d'une capacité de stockage de 6 Po alimenté par le réseau albertain et nécessitant 2,4 GWh/an.

En respectant les normes ISO 14044, vous devrez effectuer la comparaison des cycles de vie selon les impacts environnementaux issus de la méthode IMPACT 2002+ en effectuant une description exhaustive des résultats obtenus.

Afin de réaliser le mandat, trois fichiers Excel rassemblant les données requises pour l'étude sont disponibles. Deux fichiers rassemblent les données du cycle de vie pour les centres de stockages de données selon leur emplacement et le troisième rassemble les données pour les sources énergétiques alternatives (éolien et solaire).

9 GUIDE DE LECTURE

9.1 Références essentielles

Lectures en lien à l'analyse du cycle de vie :

- L'approche cycle de vie (section I.1)
- Méthodologie de l'ACV (section I.2)
- Phase 1 : Définition de l'objectif et du champ de l'étude (section I.3)
- Phase 2 : Inventaire du cycle de vie (section I.4)
- Phase 3 : Évaluation des impacts du cycle de vie (section I.5)
- Phase 4 : Interprétation (section I.6)
- Capsules vidéo sur quelques fonctions Excel

Lectures en lien aux impacts environnementaux :

- Réchauffement climatique (section II.1)
- Diminution de la couche d'ozone (section II.2)
- Acidification (section II.3)
- Smog photochimique et chimique (section II.4)
- Eutrophisation (section II.5)
- Toxicité humaine et écotoxicité (section II.6)
- Utilisation des terres (section II.7)
- Épuisement des ressources (section II.8)

9.2 Documents complémentaires

- Jolliet, O. ; Saadé, M. ; Crettaz, P. ; Shaked, S. (2017) Analyse du cycle de vie : comprendre et réaliser un écobilan. 3e édition. Édité par P. polytechniques et universitaires Romandes. Lausanne, Suisse : Presses polytechniques et universitaires romandes.

10 PRODUCTIONS À REMETTRE

Les équipes sont constituées de deux étudiants, libre à vous de choisir votre coéquipier, et doivent être inscrites sur le site web du cours **avant 16h le mercredi de la première semaine**. Les personnes qui ne feront pas partie d'aucune équipe passé ce délai devront résoudre la problématique seules.

10.1 Livrables

Le rapport d'APP et le travail effectué sous Excel sont à remettre avant 8h le matin du tutorat de fermeture. Inscrire votre nom, votre numéro de matricule, votre CIP et votre groupe de tutorat sur chaque document remis. Le rapport est à remettre au **format Word** et sera déposé avec les fichiers Excel dans un fichier zippé sur la plateforme habituelle.

Il y aura une pénalité de 50% immédiate pour les remises après 8h puis 20% par heure de retard.

Le travail doit refléter une production originale sous peine de se voir infliger la note de 0 sans appel.

Rapport et fichier Excel

Le rapport sera d'une longueur maximale de 10 pages (page titre et table des matières non comprises), le rapport devra contenir les éléments suivants :

Page de titre

Table des matières

Introduction : Mise en situation - contexte de l'étude

Objectifs : But de l'étude (reprise des objectifs de la problématique)

Champ d'étude : Présentation de l'unité fonctionnelle, des flux de références et paramètres clés.

Inventaire : Décrivez les étapes du cycle de vie les plus néfastes par gaz à effet de serre.

Évaluation des impacts sur le cycle de vie (EICV) : Présentation de la méthodologie de modélisation pour faire les calculs d'impacts (problèmes et dommages).

Interprétation :

- Décrivez les étapes du cycle de vie les plus néfastes par impacts problèmes pour chaque centre de stockage de données.
- Comparer les résultats entre les centres de stockage de données selon les catégories dommages.

Options de sources énergétiques :

- Présentation de la démarche entreprise et des résultats obtenus

Discussion et conclusion :

- Critique de la méthodologie dans un contexte de développement durable
- Retour sur les observations et les résultats obtenus

11 ÉVALUATIONS

11.1 Sommaire des évaluations

La note attribuée aux activités pédagogiques de cette unité est une note individuelle. L'évaluation porte sur les compétences mentionnées à la section 1.

Tableau 11.1 Sommaire des évaluations

| Évaluation | GEN272-1 | GEN272-2 |
|---------------------|------------|------------|
| Validation de l'APP | 0 | 30 |
| Rapport d'APP | 0 | 90 |
| Examen sommatif | 90 | 120 |
| Examen final | 110 | 160 |
| Total | 200 | 400 |

11.2 Évaluation sommative et finale de l'unité

L'évaluation sommative et finale sont théoriques et portent sur tous les éléments de compétences de l'unité. C'est un **examen qui se fait sans documentation**.

11.3 Productions à remettre

L'évaluation des productions à remettre portera sur les compétences figurant dans la description des activités pédagogiques. La pondération des différents éléments est indiquée ci-dessous. L'évaluation est directement liée aux livrables demandés à la section 10 et le tableau ci-dessous y réfère à l'aide d'une courte description.

Tableau 11.2 Évaluation des productions à remettre

| Éléments du rapport | Rapport d'APP |
|---------------------------------|----------------------|
| Introduction | /3 |
| Objectifs et champ d'étude | /5 |
| Inventaire des GES | /5 |
| Évaluation des impacts (EICV) | /9 |
| Interprétation | /15 |
| Options de sources énergétiques | /5 |
| Discussion et conclusion | /3 |
| Total | /45 |
| Total dans l'unité | /90 |

Quant à la qualité de la communication technique, elle ne sera pas évaluée de façon sommative, mais si votre rapport est fautif sur le plan de la qualité de la communication et de la présentation, il vous sera retourné et vous devrez le reprendre pour être noté.

12 PRATIQUE PROCÉDURALE 1

Buts de l'activité

- Assimiler les bases de la première étape d'une Analyse du cycle de vie soit la définition des objectifs et du champ d'étude
- Assimiler la procédure d'établissement d'un inventaire à partir d'exemples simplifiés
- Synthétiser les connaissances sur les chaînes de cause à effet d'impacts environnementaux

P.1 Définition des objectifs et du champ de l'étude :

Donnez **la fonction**, **l'unité fonctionnelle**, le ou les **flux de référence** et **un paramètre clé** pour les produits suivants. Chaque produit doit avoir un paramètre clé différent de celui donné pour les autres produits.

- Imprimante
- Tranche de pain
- Ventilateur d'ordinateur
- Sécheuse
- Vélo en comparaison avec la voiture

P.2 Arbre des processus

Expliquez, en vous basant sur **deux arbres de processus sommaires**, pourquoi un autobus électrique peut émettre autant de gaz à effet de serre par kilomètre parcouru qu'un autobus conventionnel avec moteur au diesel.

P.3 Inventaire simplifié

Supposons qu'un étudiant au baccalauréat à Sherbrooke ait commandé une LED de 0,7 grammes pour remplacer celle de son circuit imprimé qui s'avère défectueuse. Comme c'est la semaine avant la remise de son projet, il doit la faire venir de Chine (où elle a été fabriquée), soit un transport de 11 000 km par avion et 150 km en camionnette. La fabrication de la LED nécessite une consommation d'électricité de 250 kWh par kg de LED et elle est enfouie en fin de vie. Supposant une unité fonctionnelle d'une LED sur la durée de son fonctionnement, calculez en remplissant le tableau ci-dessous les flux de référence (préciser les unités), l'énergie primaire non renouvelable ainsi que les émissions de CO₂ sur tout le cycle de vie.

Tableau 12.1 Flux intermédiaires, énergie et émissions de CO₂

| Étape du cycle de vie | Processus | Unité | Flux intermédiaires (Unité/UF) | Énergie (MJ/unité) | CO ₂ (kg/unité) | Énergie (kJ/UF) | CO ₂ (g/UF) |
|-------------------------|---------------|-------|--------------------------------|--------------------|----------------------------|-----------------|------------------------|
| Extraction des matières | LED | kg | 0,0007 | 4 000 | 250 | 2800 | 175 |
| Fabrication | Électricité | kWh | 0,175 | 10,4 | 0,98 | 1820 | 121,5 |
| Transport | Par avion | t.km | 0,0077 | 16,7 | 1,06 | 128,54 | 8,162 |
| Transport | Camionnette | t.km | 0,0001 | 30,5 | 1,92 | 305 | 0,192 |
| Élimination | Enfouissement | kg | 0,0007 | 0,375 | 0,025 | 0,3625 | 0,0175 |

13 PRATIQUE PROCÉDURALE 2

Buts de l'activité

- Synthétiser les connaissances sur les impacts environnementaux
- Synthétiser les connaissances sur les chaînes de cause à effet d'impacts environnementaux
- Assimiler la procédure d'établissement d'un inventaire à partir d'exemples simplifiés
- Pratiquer une évaluation des impacts du cycle de vie

P.1 Impacts environnementaux

À l'aide de vos lectures du chapitre 2 des notes de cours, présentez les impacts potentiels qui peuvent être directement liés aux activités de transport.

Discutez des composantes majeures du transport et présentez leurs principaux polluants (ou groupe de polluants). Expliquez quel(s) effet(s) sur l'environnement provoquent ces flux élémentaires.

P.2 Conduite d'un inventaire simplifié

Une compagnie d'électricité veut évaluer ses émissions liées aux factures d'électricité qu'ils envoient à leurs clients. Ils vous demandent de faire une analyse du cycle de vie des factures pour déterminer les émissions de dioxyde de carbone (CO₂) et de dioxyde de soufre (SO₂).

L'inventaire récupéré auprès de l'entreprise permet d'avoir les informations suivantes :

- 35 millions de factures
- 2 feuilles de papier (5 g de papier par feuille) et une enveloppe par facture
- Chaque enveloppe est composée de 2 g de papier et 1 g de film PET
- Le papier utilisé provient d'arbres d'eucalyptus. Chaque tonne de papier utilise 0,6 T de pulpe
- Chaque tonne de pulpe utilise 2 T d'arbres d'eucalyptus
- Pour chaque tonne d'arbre d'eucalyptus, est utilisée 4 T de fertilisant et 2,3 ha de surface

Q1) Combien de tonnes de feuilles de papier l'entreprise a utilisé pour imprimer les factures (factures + enveloppes) ? Combien cela représente de pulpe utilisée ?

Q2) Combien de tonnes d'eucalyptus ont été utilisées pour cette masse de pulpe ? Combien de fertilisant ? Et quelle superficie est nécessaire ?

Q3) Le producteur a pu vous fournir les informations suivantes :

Tableau 13.1 Flux intermédiaires, énergie et émissions

| Procédé | Données | Unités |
|-------------|-------------------|-------------------------------------|
| Fertilisant | 0,04 | kg CO ₂ / kg fertilisant |
| | $3 \cdot 10^{-4}$ | kg SO ₂ / kg fertilisant |
| Machinerie | 46,4 | kg CO ₂ / ha |
| | 0,044 | kg SO ₂ / ha |

Pour la masse d'eucalyptus utilisée quelles sont les émissions de CO₂ et SO₂ ?

Le producteur de pulpe fournit les informations suivantes :

Tableau 13.2 Données d'émissions liées au procédé Pulpe

| Procédé | Données | Unités |
|---------|---------|---------------------------------|
| Pulpe | 1 950 | kg CO ₂ / t de pulpe |
| | 2,30 | kg SO ₂ / t de pulpe |

Pour la masse de pulpe utilisée quelles sont les émissions de CO₂ et SO₂ ?

Les informations liées à l'envoi des factures par la poste sont données dans le tableau ci-dessous :

Tableau 13.3 Données d'émissions liées à la production de papier, de film PET et d'envoi postal

| Procédé | Données | Unités |
|-------------------|----------------------|----------------------------------|
| Production papier | 298 | kg CO ₂ / t de papier |
| Film PET | 5.73 | kg CO ₂ / kg PET film |
| | 46.3 | g SO ₂ / kg PET film |
| Poste | $1.67 \cdot 10^{-2}$ | kg CO ₂ / facture |
| | $1.94 \cdot 10^{-5}$ | kg SO ₂ / facture |

Q4) Déterminer alors les émissions reliées aux factures selon le tableau ci-dessus.

À partir des émissions de CO₂ et SO₂ calculées aux questions 3 et 4, calculez les émissions totales émises par l'entreprise.

P.3 Évaluation des impacts du cycle de vie (EICV)

Vous analysez les impacts reliés à l'acidification terrestre d'un ventilateur dont les quantités de production des composantes par g et sa consommation énergétique par kWh, sont présentées aux tableaux suivants. L'unité fonctionnelle est la suivante : refroidir l'intérieur d'un ordinateur 8h par jour ouvrable pendant 5 ans à l'aide d'un ventilateur de 800 grammes d'intensité 0,15 A et de tension 12V. Calculez les impacts problèmes générés par les émissions de votre système.

Tableau 13.4 des émissions liées à la production d'un gramme des composantes

| Substance émise à l'environnement | Quantité émise (mg) | Facteur de caractérisation (kg SO₂ eq/kg émis) |
|--|----------------------------|--|
| Dioxyde de carbone (CO ₂) | 12 100 | - |
| Méthane (CH ₄) | 531 | - |
| Dioxyde de soufre (SO ₂) | 74,6 | 1 |
| Oxydes nitreux (NO _x) | 214 | 5,488 |
| Ammoniaque (NH ₃) | 27,6 | 14,957 |

Tableau 13.5 des émissions liées à la consommation énergétique d'un kWh

| Substance émise à l'environnement | Quantité émise (mg) | Facteur de caractérisation (kg SO₂ eq/kg émis) |
|--|----------------------------|--|
| Dioxyde de carbone (CO ₂) | 2 230 | - |
| Méthane (CH ₄) | 5,07 | - |
| Dioxyde de soufre (SO ₂) | 6,68 | 1 |
| Oxydes nitreux (NO _x) | 45,2 | 5,488 |
| Ammoniaque (NH ₃) | 10,4 | 14,957 |

P.4 Chaîne de cause à effet

L'eutrophisation non naturelle d'un milieu aquatique est la conséquence des activités humaines. L'apport excessif de nutriments tels l'azote, le phosphore et le potassium provoque ce phénomène. Le potentiel d'eutrophisation permet d'évaluer la contribution potentielle de chacune de ces substances dans cet impact environnemental. Décrivez la chaîne de cause à effet résultant des rejets provenant des activités humaines en faisant apparaître les étapes d'émissions, de transport, de transformation, de dispersion et des dommages finaux.

P.5 Chaîne de cause à effet

L'altération de la couche d'ozone est en grande partie la conséquence de l'activité humaine liée à l'utilisation de produits chimiques artificiels comportant des SACO (Substances Appauvrissant la Couche d'Ozone). Le potentiel de réduction de la couche d'ozone permet d'évaluer la contribution potentielle de chacun de ces gaz dans la destruction de l'ozone stratosphérique. Décrivez la chaîne de cause à effet résultant des émissions de SACO par l'activité humaine en faisant apparaître les étapes d'émissions, de transport, de transformation, de dispersion et des dommages finaux.

14 PRATIQUE PROCÉDURALE 3

Buts de l'activité

- Synthétiser les connaissances sur les impacts environnementaux
- Pratiquer une évaluation des impacts du cycle de vie
- Savoir interpréter les résultats d'une ACV

P.1 EICV

Votre superviseur vous demande de réaliser quelques calculs pour obtenir l'analyse de l'inventaire et pour faire une première analyse de la provenance des impacts.

L'unité fonctionnelle a été définie comme « le transport des membres d'un ménage sur 15 000 km par année pendant 10 ans ».

Pour simplifier les calculs, vous devez vous concentrer sur les principaux matériaux composant l'automobile, l'énergie nécessaire à la fabrication, l'essence consommée lors de l'utilisation ainsi que la fin de vie. Les données nécessaires au calcul sont présentées aux tableaux ci-dessous :

Tableau 14.1 Données d'inventaire d'une automobile

| Fabrication | Utilisation | Fin de vie |
|--|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • 900 kg d'acier faiblement allié • 100 kg d'aluminium primaire • 100 kg de polyéthylène HDPE • 1000 kWh d'électricité (Europe) | <ul style="list-style-type: none"> • 7 litres d'essence par 100 km • Durée de vie de 10 ans | <ul style="list-style-type: none"> • 50 km de transport en camion 40t • 50 kWh pour le démantèlement • Mise en décharge des métaux • Incinération du plastique |

| Processus unitaires | GES (kg CO ₂ éq.) | É.P. (MJ) |
|-----------------------------------|------------------------------|-----------|
| 1 kg d'acier faiblement allié | 1,26 | 24,7 |
| 1 kg d'aluminium primaire | 9,52 | 162 |
| 1 kg de polyéthylène HDPE | 1,75 | 79,9 |
| 1 kWh d'électricité (Europe) | 0,451 | 10,5 |
| 1 kg d'essence | 0,647 | 57,6 |
| 1 tkm parcouru en camion 40t | 0,158 | 2,81 |
| 1 kg de mise en décharge (métaux) | 0,00691 | 0,205 |
| 1 kg d'incinération (plastiques) | 2,34 | 0,685 |

P.2 EICV

On vous demande de réaliser une analyse du cycle de vie sur un ordinateur portable. L'ordinateur est massivement composé de 34% de métaux divers (magnésium, aluminium, cuivre et acier), 32% d'emballage (carton et plastique), 18% du disque dur et du lecteur de disque, 6% d'écran LCD, 5% de batteries et 5% de circuits imprimés. L'ordinateur consomme 1,11 kWh d'électricité par jour. L'ordinateur permet de faire du traitement de texte, d'informations, de calcul... sur une période de 8 ans. En fin de vie, l'ordinateur (d'une masse de 5,6 kg) est envoyé vers un site d'enfouissement. Les tableaux suivants donnent les informations sur les distances de transport (toutes parcourues par camion) et sur la quantification de deux flux élémentaires pour chacun des processus impliqués.

Tableau 14.2 Données de transports et d'inventaire d'un ordinateur portable

| Transport | | Distance parcourue |
|--|--|---------------------------|
| Batterie, circuits imprimés et disques | | 500 km |
| Métaux divers | | 200 km |
| Écran LCD | | 300 km |
| Usine de fabrication vers détaillant | | 150 km |

| Processus | Flux économique sortant | Flux élémentaires |
|---|--------------------------------|--|
| Fabrication de la batterie | 1 kg | CO ₂ : 5,9 kg SF ₆ : 0,79 mg |
| Fabrication des divers métaux | 1 kg | CO ₂ : 15,13 kg SF ₆ : 130 mg |
| Fabrication des circuits imprimés | 1 kg | CO ₂ : 224 kg SF ₆ : 36,41 mg |
| Fabrication de l'écran LCD | 1 kg | CO ₂ : 52 kg SF ₆ : 34,55 mg |
| Fabrication du disque dur et du lecteur de disque | 1 kg | CO ₂ : 9,09 kg SF ₆ : 1,55 mg |
| Fabrication de l'emballage | 1 kg | CO ₂ : 1,87 kg SF ₆ : 0,05 mg |
| Transport par camion | 1 t*km | CO ₂ : 0,16 kg SF ₆ : 0,003 mg |
| Électricité | 1 kWh | CO ₂ : 0,007 kg SF ₆ : 0,016 mg |
| Enfouissement de l'ordinateur | 1 ordinateur enfoui | CO ₂ : 3,62 kg SF ₆ : 0,05 mg |

Q1) Donnez un exemple d'une unité fonctionnelle pouvant être utilisée pour cette étude et le flux de référence qui y est associé.

Q2) En considérant seulement les processus pour lesquels vous avez de l'information, dessinez un arbre de processus pour le cycle de vie de l'ordinateur portable.

Q3) Calculez le résultat d'inventaire pour le dioxyde de carbone (CO_2) et l'hexafluorure de soufre (SF_6) en utilisant 1 ordinateur portable comme flux de référence.

Q4) Selon vos résultats quelles émissions devrait-on réduire ?

P.3 EICV

Les résultats de l'impact environnemental issus d'une ACV sont présentés au tableau suivant :

Tableau 14.3 Résultats d'ACV selon les impacts dommages

| Catégorie de dommage | Unité | Total | Production | Utilisation | Fin de vie |
|-------------------------|------------------------|---------|------------|-------------|------------|
| Santé humaine | DALY | 3,62E-5 | 1,91E-5 | 1,71E-5 | 9,39E-9 |
| Qualité des écosystèmes | PDF*m ² *yr | 168,8 | 113 | 2,3 | 53,5 |
| Changements climatiques | Kg CO ₂ | 10,41 | 1,88 | 8,48 | 0,05 |
| Ressources | MJ d'énergie primaire | 157,8 | 11,6 | 83,5 | 62,7 |

- a) Quelles conclusions sur les impacts peuvent être faites ?
- b) Peut-on faire la somme de chaque colonne du tableau pour déterminer le score des impacts pour chaque étape du cycle de vie ? Justifiez votre réponse.

P.4 Interprétation

Lors d'une analyse du cycle de vie comparative vous obtenez les résultats présentés à la figure ci-dessous :

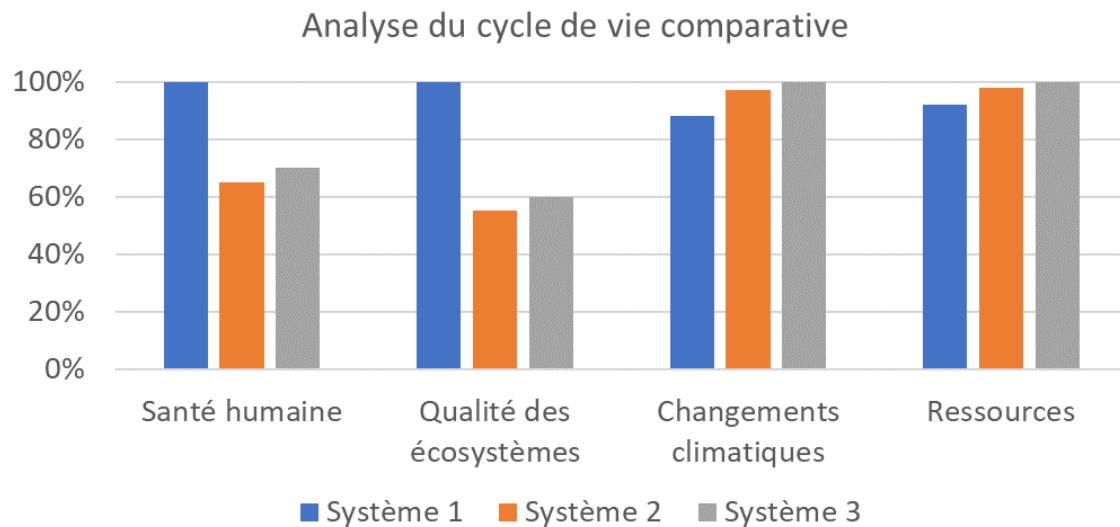


Figure 14.1 Résultats d'une ACV comparative de trois systèmes

Q1) D'après vous, pourquoi l'échelle de l'axe des ordonnées est en pourcentage?

Q2) Effectuez l'interprétation des résultats de l'ACV et proposez une conclusion des résultats de la comparaison

15 VALIDATION DE LA SOLUTION

Le but de cette activité est de valider la solution à la problématique que vous aurez développée. Cette activité compte pour 10% de la note finale du cours. Vous devrez expliquer en maximum 8 minutes le processus de réflexion entrepris pour arriver à la solution. Comme support pour cette discussion, vous pouvez préparer un power point de trois pages avec :

- Votre choix d'unité fonctionnelle et de flux de référence **(5%)**
- La comparaison des centres de stockage des données selon les impacts dommages et vos conclusions **(5%)**

16 RÉDACTION DES PRODUCTIONS EXIGÉES

Rédaction du rapport d'APP suivant les directives des chapitres 10 et 11. Finalisation de la modélisation. Les rétroactions sur les rapports seront transmises via la boîte de remise actuelle.

17 TUTORAT DE FERMETURE

Validation des connaissances acquises. Bilan de groupe. Travail personnel de synthèse et d'études correctives.

Décontextualisation

Êtes-vous conscient de l'impact environnemental de vos recherches Google et de votre usage du web ?

Publié le 27 mai 2018 par Romuald Ribaud

Les recherches sur Google représentent à elles seules 40% des émissions de CO₂ d'Internet. Quel est le bilan carbone d'Internet aujourd'hui et est-il seulement possible de le calculer ?

Internet est un terme trop large. Il convient de définir un périmètre précis. Lorsque l'on parle d'Internet, de quoi parle-t-on ? Des datacenters, des antennes, des smartphones qui permettent d'y avoir accès... Ce qui est important c'est de regarder la problématique de l'usage numérique pour remonter le système complexe qui compose ce service numérique. C'est-à-dire un smartphone, un réseau 4G, un réseau fibre, un serveur, un datacenter... Une fois que l'on a pris l'ensemble de ce système complexe, il faut faire des "ACV" (Analyse du Cycle de Vie) sur l'ensemble de ces équipements pour calculer l'ensemble des émissions carbone tout en incluant la problématique du mix énergétique.

Quel est l'impact d'une requête sur Google ? Quand je tape une recherche sur Google, qu'est-ce que je consomme en eau, quelle quantité de gaz à effet de serre, qu'est-ce que j'émet sur l'ensemble du cycle de vie, quel est l'impact sur la biodiversité (de l'énergie dépensée à l'extraction des matières pour fabriquer un objet à la production, la distribution et la fin de vie des équipements...) ? D'autant plus que l'impact ne sera pas le même en fonction de si vous effectuez une recherche sur votre ordinateur connecté au réseau de votre entreprise ou sur un smartphone, par exemple. La 4G consomme 23 fois plus qu'une connexion au réseau de votre entreprise. Et quand vous tapez une requête sur votre téléphone dans un train ViaRail, vous allez mobiliser trois antennes 4G par kilomètre.

Il est donc herculéen de calculer précisément ce que coûte vraiment une requête sur Google mais l'on peut conseiller d'aller voir le site "ecoindex.fr" qui va mesurer et donner l'impact d'un site internet. Il s'appuie sur un référentiel de 145 bonnes pratiques en matière de construction de site web. Il est très important que chacun ait conscience de l'impact de nos habitudes. Il y a des chiffres récents sur lesquels s'appuyer, notamment ceux de "Socialter", selon leurs chiffres, Internet représente 9 milliards d'équipements, 45 millions de serveurs et 10% de la consommation électrique mondiale.

Pour rester sur le CO₂, l'ensemble des services Internet est responsable de 2 à 5% des émissions de GES mondiales. 2% étant l'équivalent de l'ensemble du trafic aérien mondial. Mais il faut dépasser ce cadre et rajouter la problématique des ressources. Les métaux (rares ou non) nécessaires à la fabrication des

équipements sont de plus en plus rares et de fait il faut de plus en plus d'énergie pour aller les chercher. C'est un cercle vicieux qui ne fait qu'empirer.

Un chiffre marquant : la vidéo "Gangnam Style" du chanteur Psy sur YouTube avec ses 2,7 milliards de vues a consommé l'équivalent de la production annuelle d'une petite centrale nucléaire (Gary Cook, analyste pour l'ONG Greenpeace, 2017). Google affirme avoir un bilan carbone neutre depuis 2007. L'entreprise semble s'investir dans des programmes de compensation de ses émissions carbone. Comment les géants d'Internet se sont-ils saisis de ces questions et leurs efforts sont-ils suffisants ? C'est évidemment bien de dire que 100% de l'énergie est renouvelable. Mais le vrai enjeu est la surconsommation des utilisateurs de ces services et la problématique est vraiment multicritère. Présenter un bilan carbone neutre ne devrait pas permettre aux entreprises et aux utilisateurs de se dédouaner de leurs responsabilités et ne doit pas faire oublier la problématique de la surconsommation que l'on fait tous de ces services.