



TP 9

Effet rebond

La société **EcoFab** vend à l'année n , $Q(n)$ unités de son produit-phare.

Le modèle actuel est *linéaire* : chaque produit est fabriqué et vendu neuf pour un coût écologique, dit PEF (*Product Environmental Footprint*) unitaire u_N .

Ayant signé un accord cadre avec l'Etat exigeant une réduction significative du PEF, elle explore trois pistes dites « circulaires » :

1. **Solution par recyclage de la matière** : le produit est récupéré en fin de vie pour le fondre et pour ré-injecter la matière première dans la fabrication d'un produit.
2. **Solution par réparabilité** : le produit défectueux est récupéré et réparé pour en "fabriquer" un produit remis sur le marché.
3. **Solution par ré-emploi** : le produit en marche est récupéré, nettoyé et revendu en magasin comme un produit fiable.

On souhaite quantifier, de façon *simplifiée mais rigoureuse*, l'impact carbone du système circulaire pour chacune des trois pistes ainsi que la prise d'un effet rebond correspondant à la hausse de la demande de ce produit via le concept de surconsommation induit par l'économie circulaire [2] : cette surconsommation peut être dans le produit recyclé si un accès sans limite existe (comme c'est le cas pour l'habillement) ou de la surconsommation de neuf puisqu'il peut être revendu (comme c'est le cas aussi dans l'habillement d'autant plus si l'achat neuf est peu cher avec la *fast-fashion*).

On notera

- $Q_N(n)$: la quantité de produit neuf vendu durant l'année n ,
- $Q_C(n)$: la quantité de produit non-neuf vendu durant l'année n
- f : la part de la production en filière circulaire à l'année $n + 1$ en fonction de la production neuve de l'année n ,
- η : l'efficacité environnementale d'une solution circulaire (on aura donc trois valeurs différentes pour η selon la piste envisagée),
- g : le facteur de production totale entre l'année $n + 1$ et l'année n .

Le TP est librement inspiré du modèle proposé dans [1]. Par défaut, on prendra les valeurs numériques suivantes :

Symbole	Description	Valeur
$Q_N(0)$	Production annuelle (unités) avant mise en place de la circularité	10000
u_N	Impact unitaire du neuf (kgCO ₂ e)	25
η_{rec}	Efficacité du recyclage	0,25
$\eta_{\text{rép}}$	Efficacité de la réparabilité	0,5
$\eta_{\text{ré-emp}}$	Efficacité du ré-emploi	0,75

Scénario linéaire (non-circulaire) : Dans cette section, on considère par conséquent que $Q_C(0) = 0$ et que $f = 0$ ce qui induit que $Q_C(n) = 0$ pour tout n .

- 1.1 Calculez $Q_N(n)$ en fonction de g et $Q_N(0)$. En déduire l'impact environnemental annuel total $E_T(n)$ (exprimé en kgCO₂e) en fonction de g , $Q_N(0)$ et u_N .
- 1.2 Tracez la courbe de $E_T(n)$ en fonction de n pour deux valeurs de $g \in \{0,75, 1,25\}$.

Scénario avec modèle d'économie circulaire - modèle : On souhaite construire le modèle mathématique permettant d'écrire $E_T(n)$ (l'impact environnemental total à l'instant n) pour tout n et étudier son comportement. On regarde une piste quelconque fixée d'efficacité η .

2.1 Ecrivez :

- 2.1.1 Donnez le PEF unitaire u_C pour un produit issu d'une filière circulaire en fonction de u_N et η ,
 - 2.1.2 Donnez $E_T(n)$ en fonction de u_N , η et des quantités neuves et non neuves produites, càd, $Q_N(n)$ et $Q_C(n)$.
 - 2.1.3 Donnez $\mathbf{X}(n+1) = [Q_N(n+1), Q_C(n+1)]^T$ en fonction de $\mathbf{X}(n)$ avec $(.)^T$ l'opérateur de transposition.
 - 2.1.4 Finalisez en écrivant le système dynamique induit avec les matrices associées.
 - 2.1.5 En examinant le lien multiplicatif entre $Q_N(n+1)$ et $Q_N(n)$, intuisez une condition sur g permettant d'avoir une production bornée du neuf.
- 2.2 En notant $\mathbf{A}$ la matrice reliant $\mathbf{X}(n+1)$ à $\mathbf{X}(n)$, indiquez les conditions sur g permettant une décroissance de $E_T(n)$ pour n grand. Le résultat est-il en accord avec la réponse à la question 2.1.5?
- 2.3 Donnez explicitement $E_T(n)$ en fonction de n et tous les paramètres introduits jusqu'à présent.

Scénario avec modèle d'économie circulaire - simulations :

- 3.1 Tracez $E_T(n)$ en fonction de n pour les trois pistes de solution avec $g = 0,75$ et $f = 0,5$.
- 3.2 Tracez $E_T(n)$ en fonction de n pour les trois pistes de solution avec $g = 0,75$ et $f = 0,75$.
- 3.3 Tracez $E_T(n)$ en fonction de n pour les trois pistes de solution avec $g = 1$ et $f = 0,5$.
- 3.4 Tracez $E_T(n)$ en fonction de n pour les trois pistes de solution avec $g = 1$ et $f = 0,75$.
- 3.5 Tracez $E_T(n)$ en fonction de n pour les trois pistes de solution avec $g = 1,25$ et $f = 0,5$.
- 3.6 Tracez $E_T(n)$ en fonction de n pour les trois pistes de solution avec $g = 1,25$ et $f = 0,75$.

Quelques données réelles (mais partielles) : Nous allons nous intéresser sur quelques données réelles provenant du marché de l'habillement.

- 4.1 En utilisant le fichier `fashionproduction.txt` fourni, tracez la production de vêtements neufs au niveau mondial en fonction de l'année. Avec quelles données aimeriez-vous comparer cette production ?
- 4.2 Tracez également les données contenues dans `otherdata.txt` sur cette même figure. Normalisez toutes les données à partir d'une certaine année de référence que vous choisirez.
- 4.3 Comment pourrait-on expliquer le décrochage important vu à partir de l'année n_0 qu'il faudra caractériser ?

Bibliographie :

- 1. T. Zink and R. Geyer, *Circular Economy Rebound*, Journal of Industrial Ecology, 2017.
- 2. L. Clotuche and C. Hanon, *Environmental impacts of the market for second-hand clothes*, Master's thesis, UCLouvain, 2023.