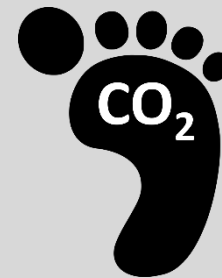
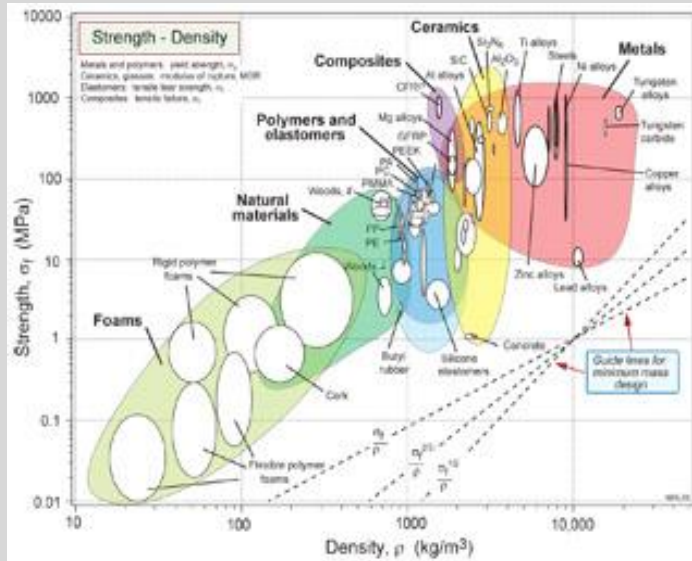


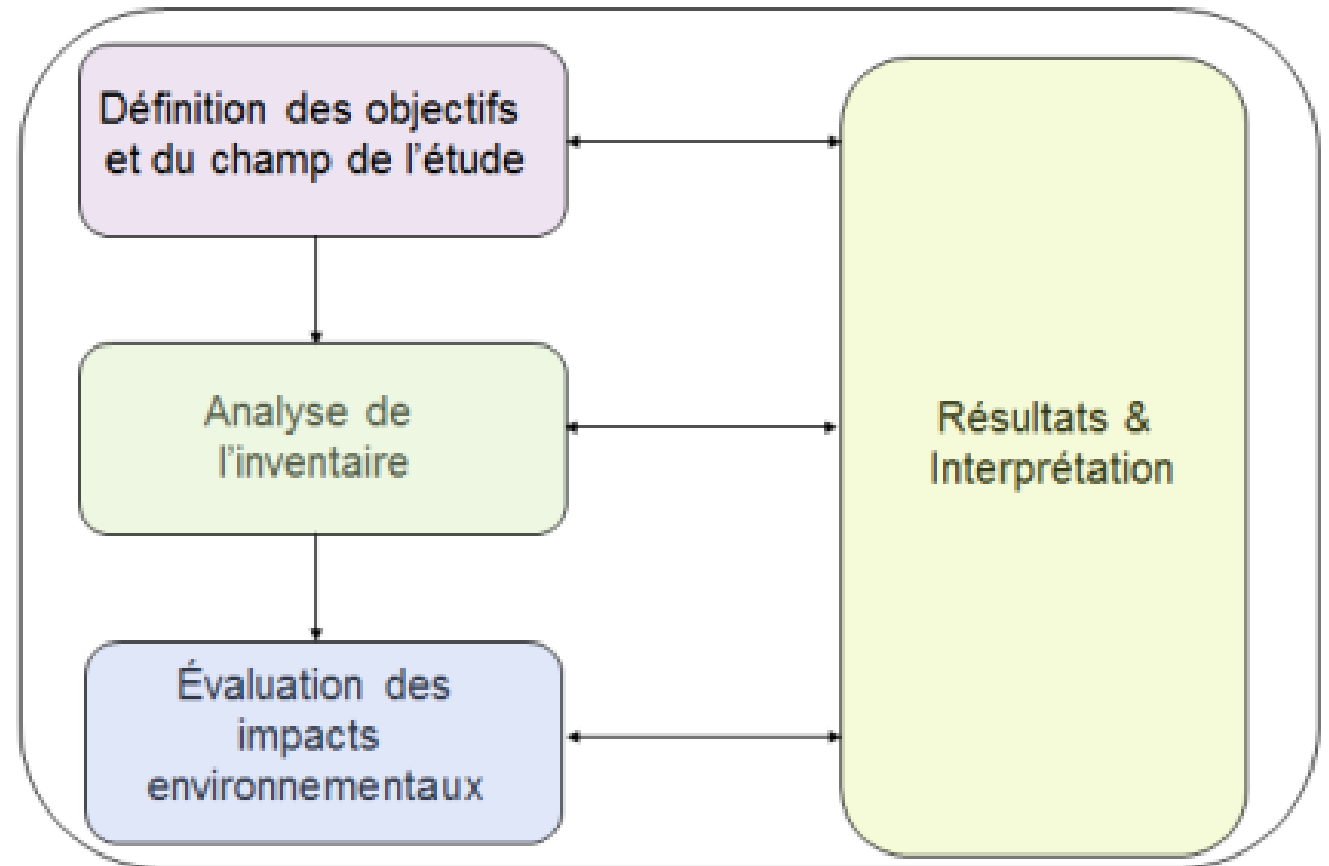
ED Concevoir-Analyse du Cycle de Vie



Ansys / GRANTA

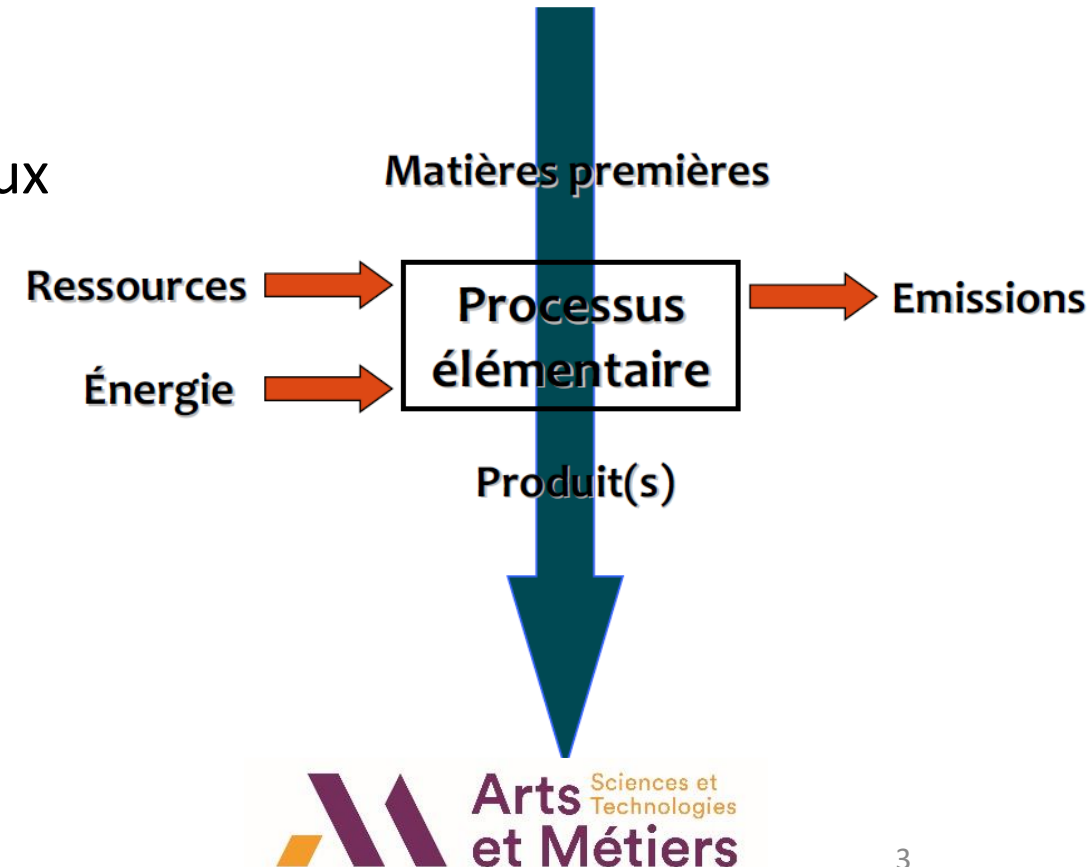
Les 4 étapes d'une analyse de cycle de vie

- Analyse environnementale normalisée ISO 14040-14043

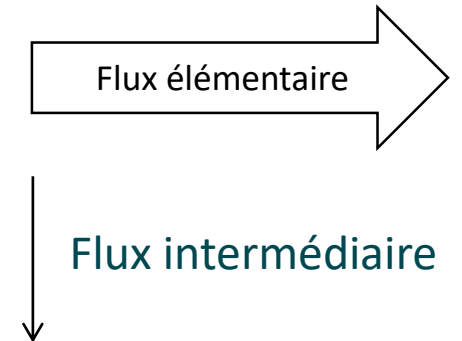
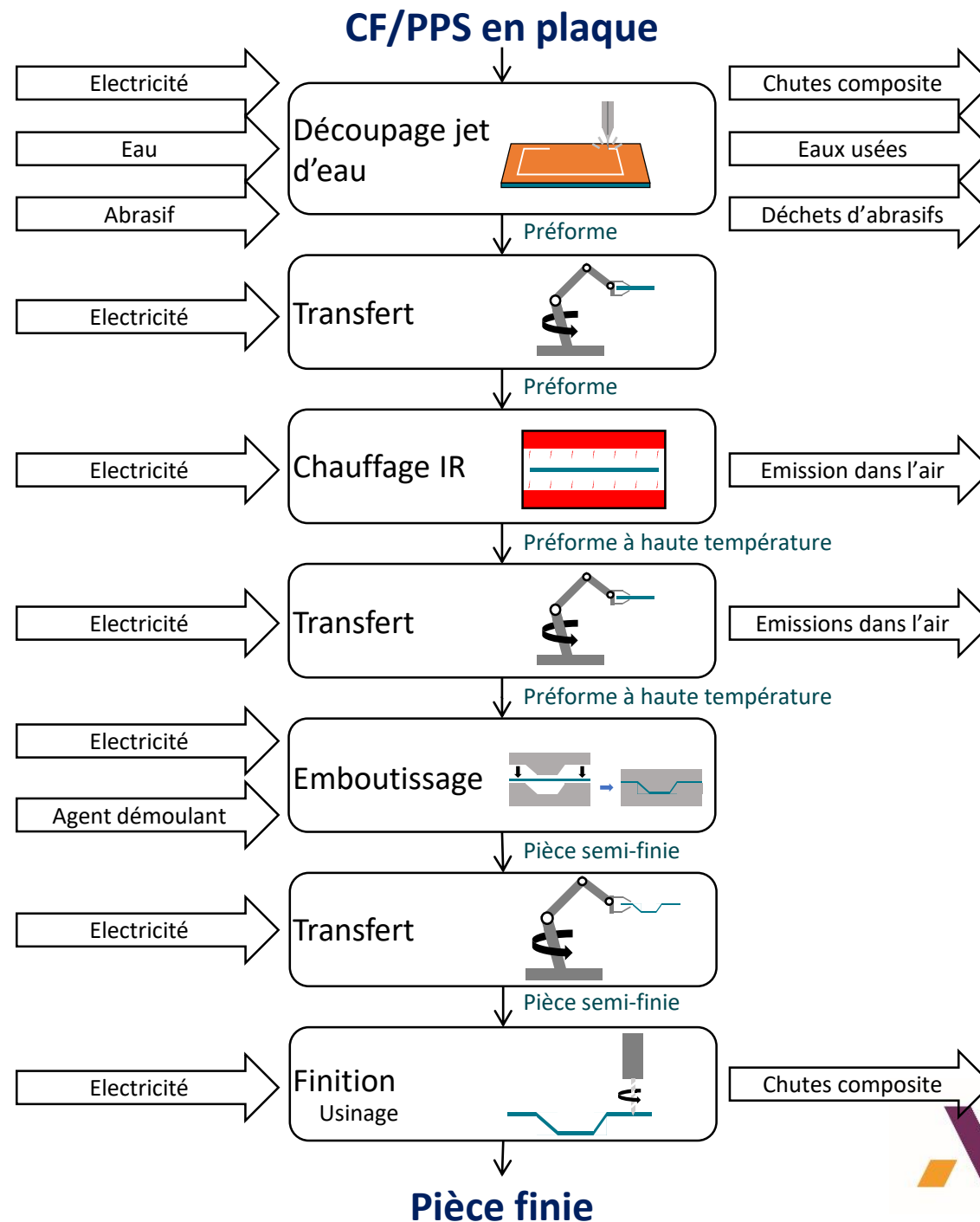


Etape 2 : analyse de l'inventaire

- Inventaire des **extractions** et **émissions** qui traversent les limites du système
- **Arbre des processus :**
 - Les processus unitaires sont reliés les uns aux autres par des **flux de produits intermédiaires**
 - Les processus unitaires sont reliés à l'environnement par des flux élémentaires :
 - **Entrants** (extractions de matières, d'énergie, utilisation des sols)
 - **Sortants** (émissions dans l'eau, l'air, le sol ou les aliments)



Basée sur les pratiques
de **DAHER**



Exercice 1 : Construction d'un arbre des processus

Muffins tout chocolat

Dessert

Facile : 

Bon marché : 



Ingrédients (pour 6 pièces) :

- 120 g de farine avec levure incorporée (ou ajoutez 1/2 sachet de levure chimique)
- 60 g de sucre en poudre
- 4 cuillères à soupe de lait écrémé
- 1 oeuf entier + un blanc d'oeuf
- 50 g de beurre
- 60 g de chocolat pour la pâte
- 100 g de chocolat pour les pépites

Préparation de la recette :

Préchauffez le four à 200°C (thermostat 6-7).

Faites fondre le beurre avec les 60 g de chocolat pour la pâte, ajoutez-y le lait puis le jaune d'oeuf et mélangez bien.

Dans un saladier, mélangez la farine, le sucre et la levure puis incorporez la préparation au chocolat.

Mélangez bien.

Vous obtiendrez une pâte assez solide.

Battez les blancs en neige avec une pincée de sel et incorporez-les délicatement à la pâte.

Coupez les 100 g de chocolat en petits morceaux et mélangez-les à la pâte.

Beurrez les moules et remplissez-les de pâte à la moitié.

Faites cuire 10 à 15 min à 200°C.

Laissez refroidir et démoulez.

Exercice 2 : Analyse d'une opération simple de surfacage



Pièce : Alliage d'aluminium

Brut : 60 x 40 x 20

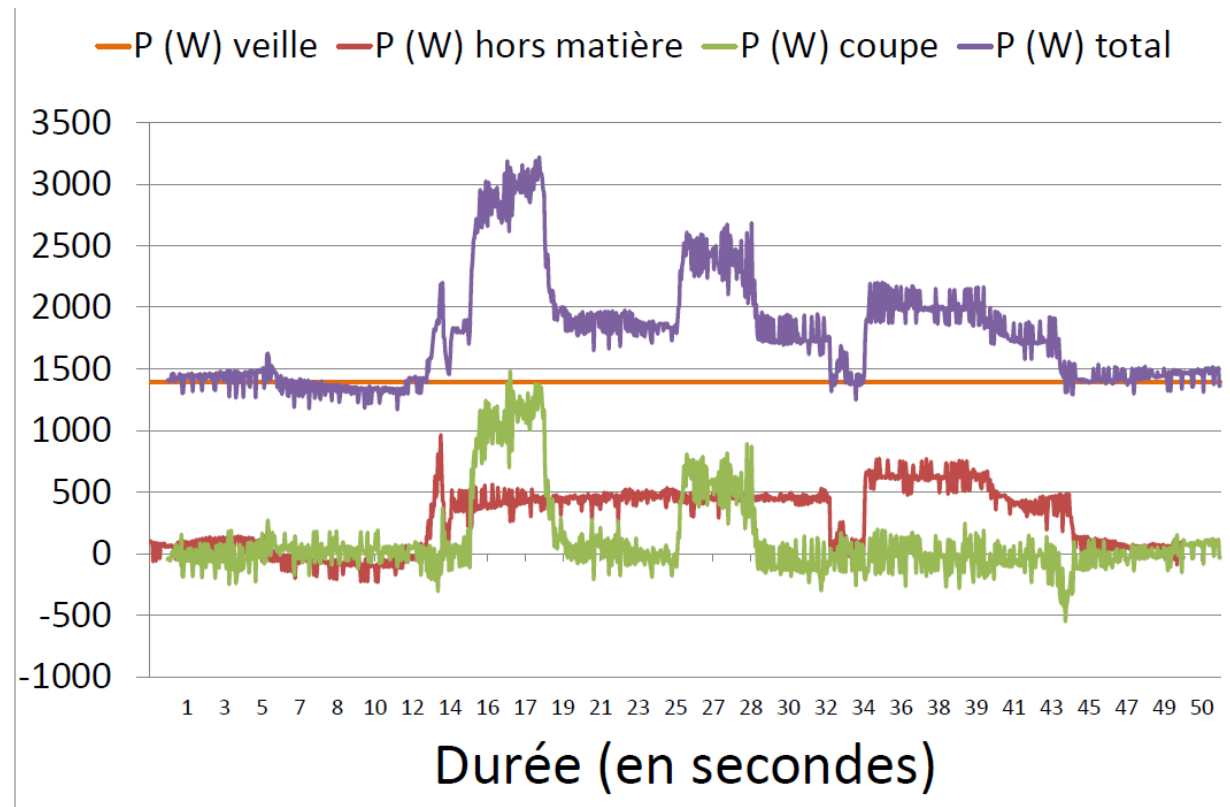
Outil : Fraise $\varnothing 50$ à plaquette carbure

$V_c = 200$ m/min

$V_f = 1000$ mm / min

$a_p = 1,5$ mm

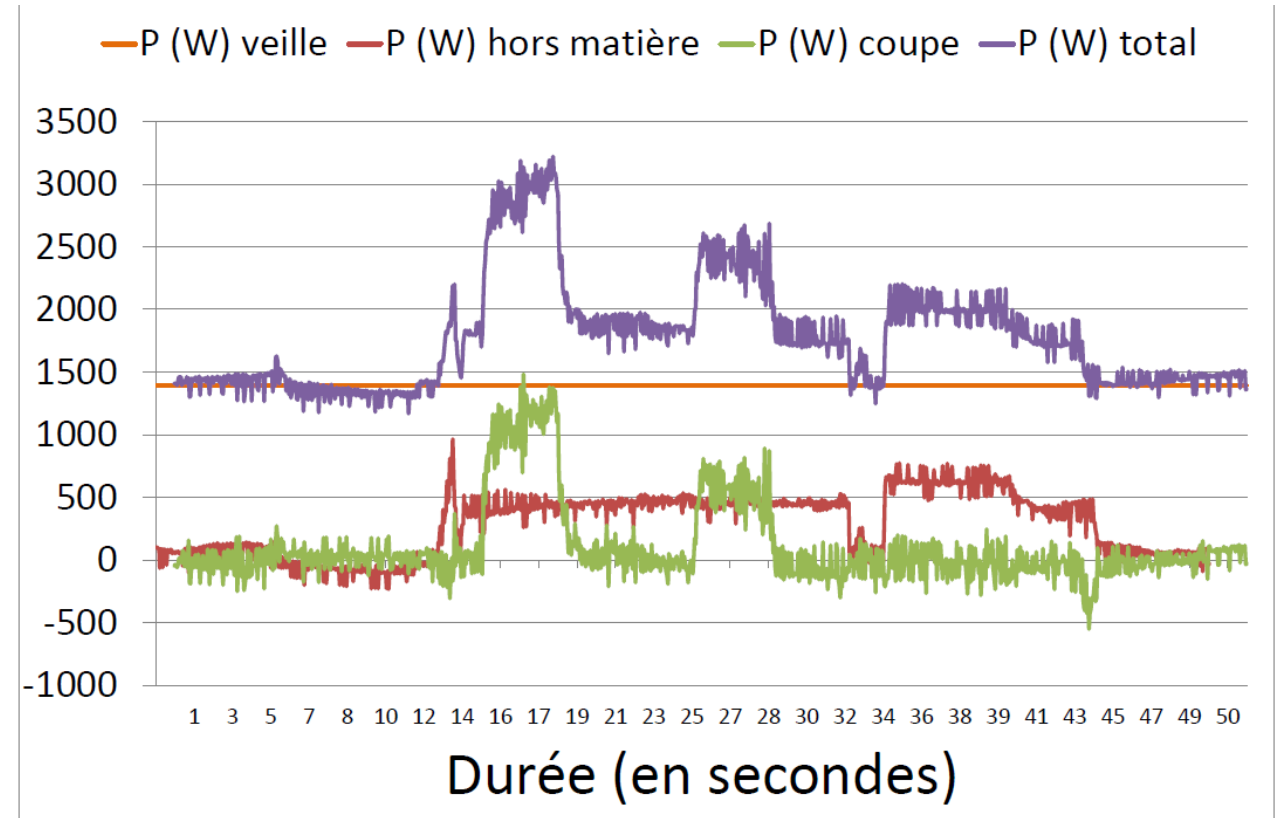
**Quelle est la proportion d'énergie
« utile » à l'enlèvement de matière ?**



**Calculez le SEC (specific energy
consumption) [MJ/kg]**

Exercice 2 : Analyse d'une opération simple de surfacage

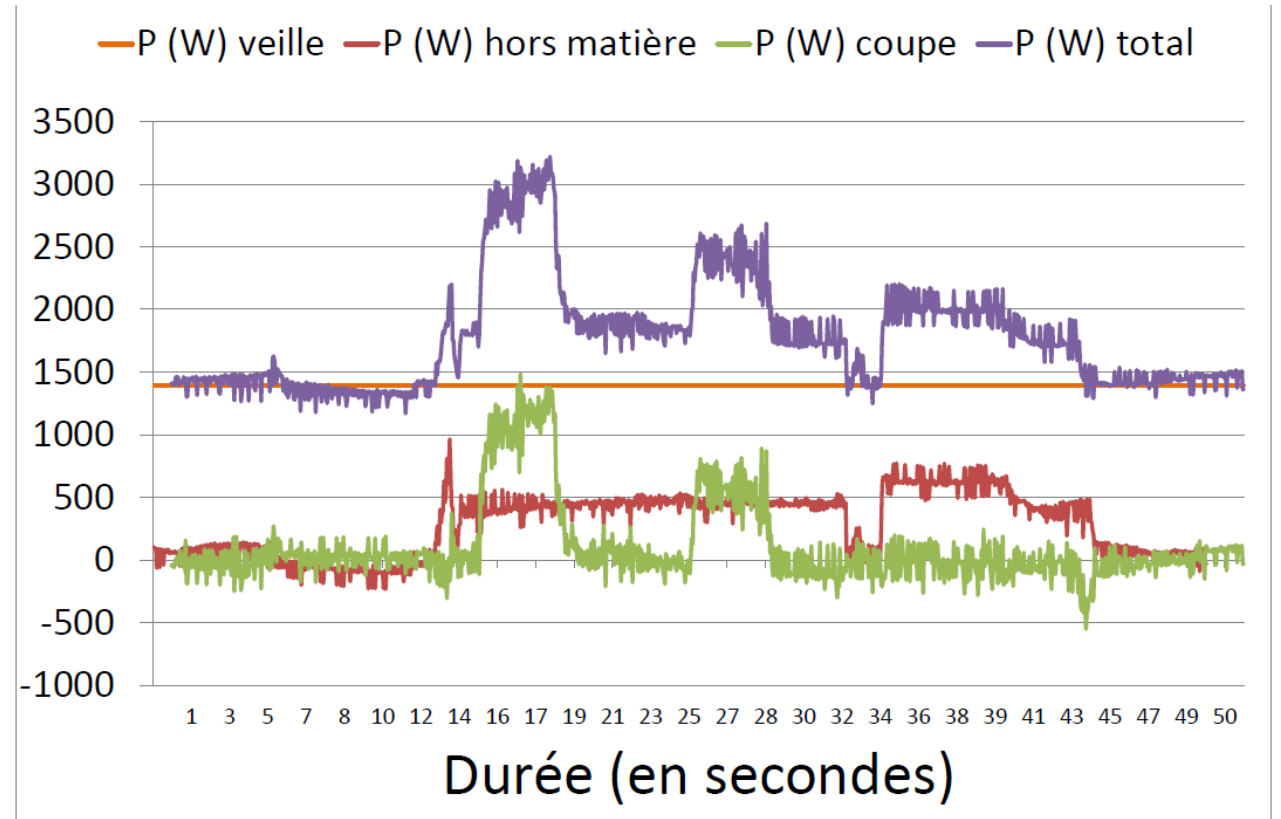
Phase	Puissance P (W)	Durée T(s)	Energie E (Wh)	Contribution
Veille				
Axes				
Coupe 1				
Coupe 2				
TOTAL				



Quels sont les impacts environnementaux associés ?

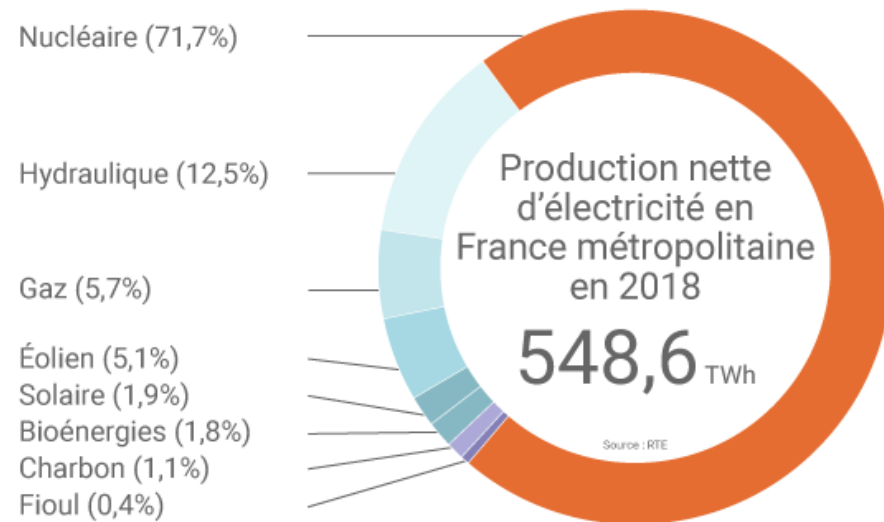
Exercice 2 : Analyse d'une opération simple de surfacage - corrigé

Phase	Puissance P (W)	Durée T(s)	Energie E (Wh)	Contribution
Veille	1400	50	19.4	76.5 %
Axes	500	31	4.3	17 %
Coupe 1	1000	4	1.1	4.3 %
Coupe 2	500	4	0.5	2.2 %
TOTAL				100 %



Quels sont les impacts environnementaux associés ?

Exercice 2 : Impacts environnementaux de la consommation d'énergie électrique



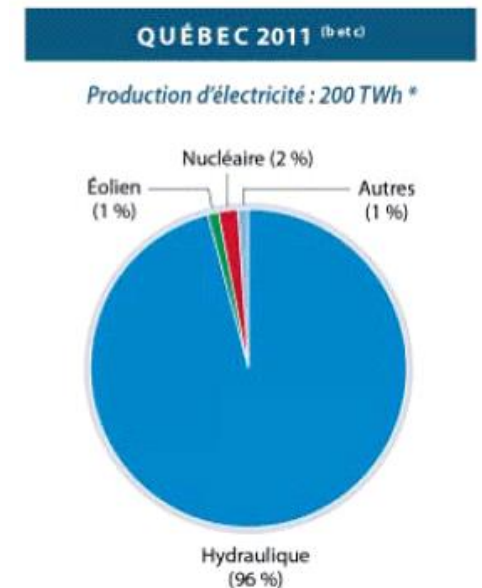
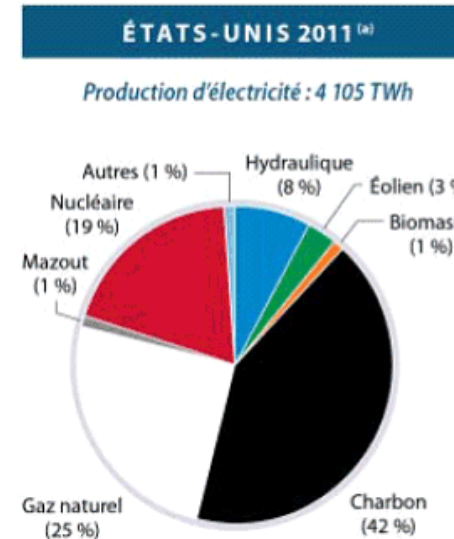
Lien RTE ECO2 mix

<https://www.rte-france.com/eco2mix/les-emissions-de-co2-par-kwh-produit-en-france#>

Consommer 1 KWh d'électricité produite en France = entre 37.3 et 91.8 gCO₂ eq

Consommer 1 kWh d'électricité produite au Québec = entre 22.5 et 28.9 gCO₂ eq

Consommer 1 KWh d'électricité produite aux Etats-Unis = entre 554 et 624.3 gCO₂ eq



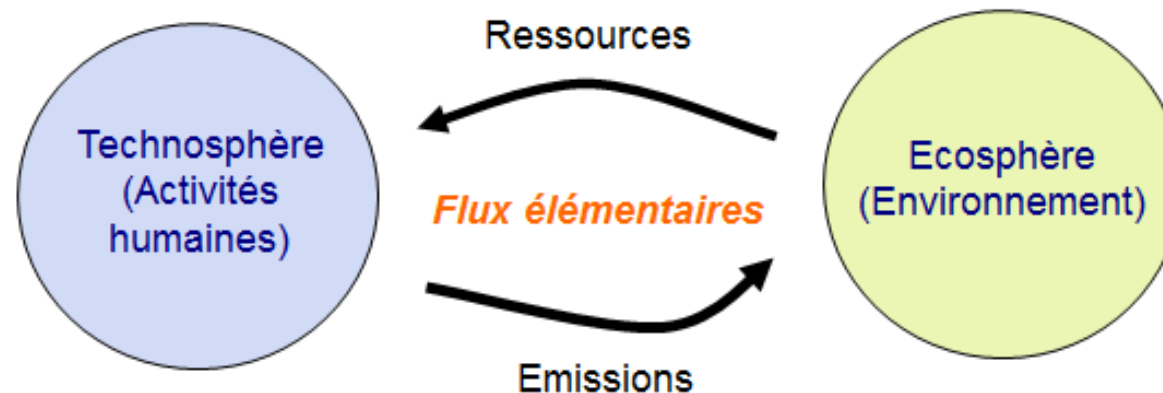
Exercice 3 : Comparaison d'impacts environnementaux

Principe général :

Définir le système de référence et déterminer les échanges avec l'environnement

Définir le système alternatif et déterminer les échanges avec l'environnement

Comparer ce qui est comparable !



Exercice 3 : Comparaison d'impacts environnementaux : cadre général de l'ACV

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

- Unité fonctionnelle
- Limites de l'étude
- Scénario de référence et alternatif

2. Analyse de l'inventaire

- Arbre des processus
- Consommations (matière, énergies)
- Rejets (dans l'air, l'eau, le sol)

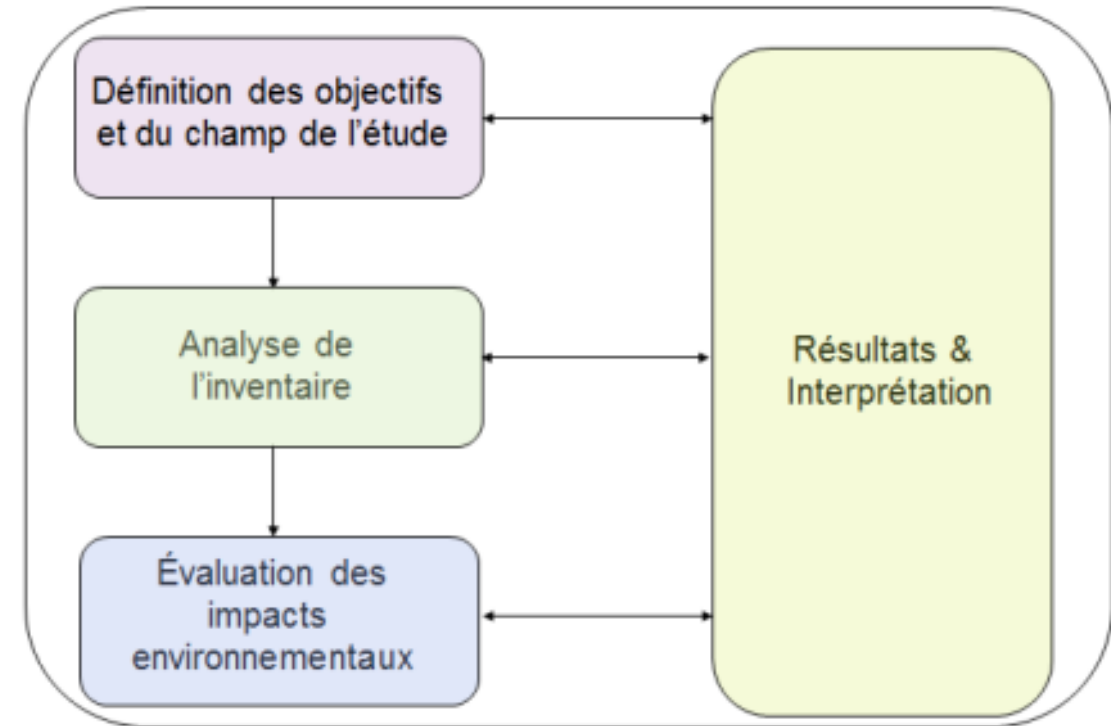
3. Evaluation des impacts

- Traduction de l'inventaire en impacts
- Plusieurs méthodes existent

4. Résultats et interprétation

- Evaluation incertitudes
- Revue critique de l'ACV

Analyse de cycle de vie – ISO 14040



Exercice 3 : Comparaison d'impacts environnementaux

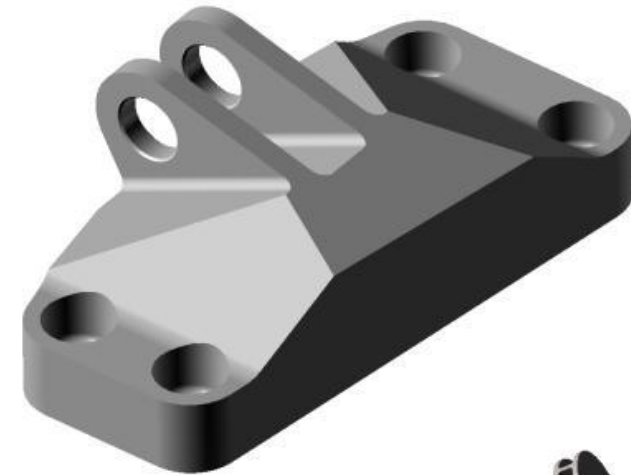
1. Définition des objectifs et du champ de l'étude

Support de levage pour moteur d'avion
Production d'une pièce en alliage d'aluminium
Analyse sur les consommations d'énergie électrique
Traduction en impacts CO2 equivalent

Scénario de référence : pièce usinée (1,8 kg)

Scénario alternatif : pièce réalisée par fabrication additive (1 kg)

Quelle pièce est la plus environnementalement intéressante ?



Exercice 3 : Comparaison d'impacts environnementaux

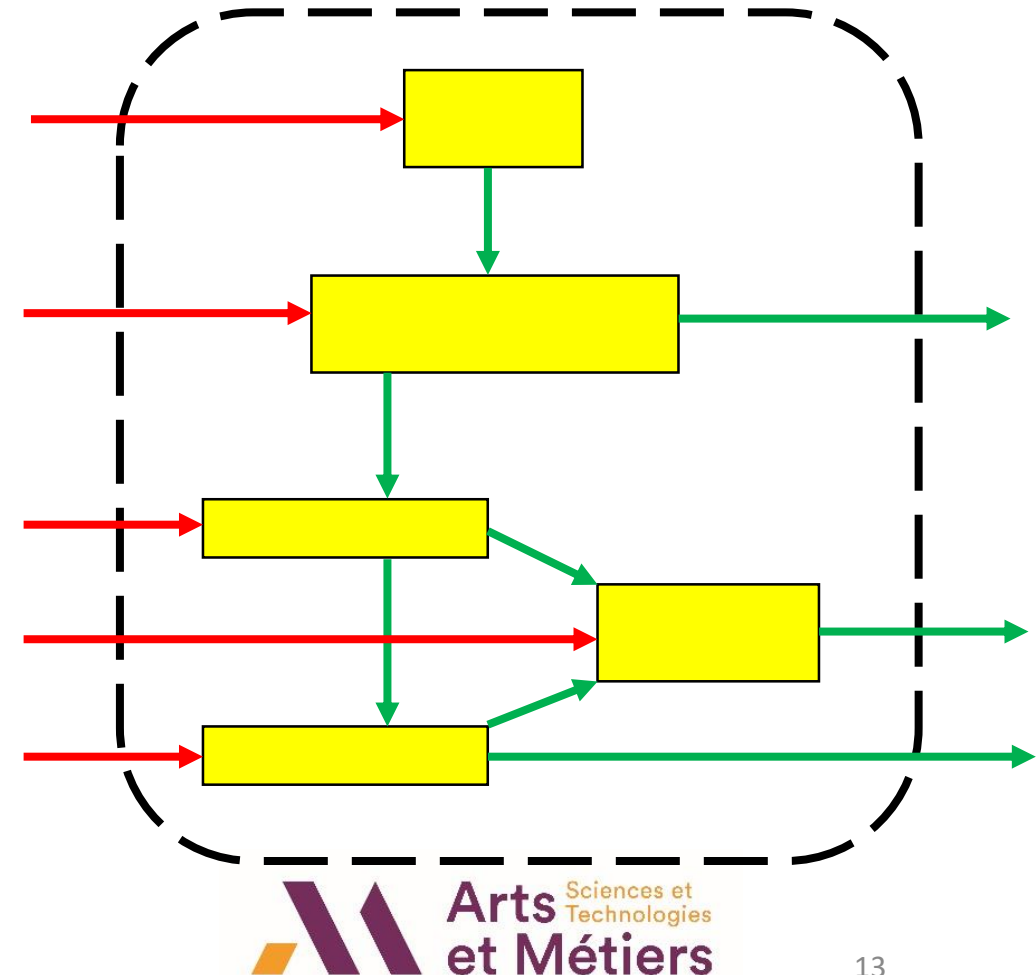
1. Définition des objectifs et du champ de l'étude

2. Analyse de l'inventaire

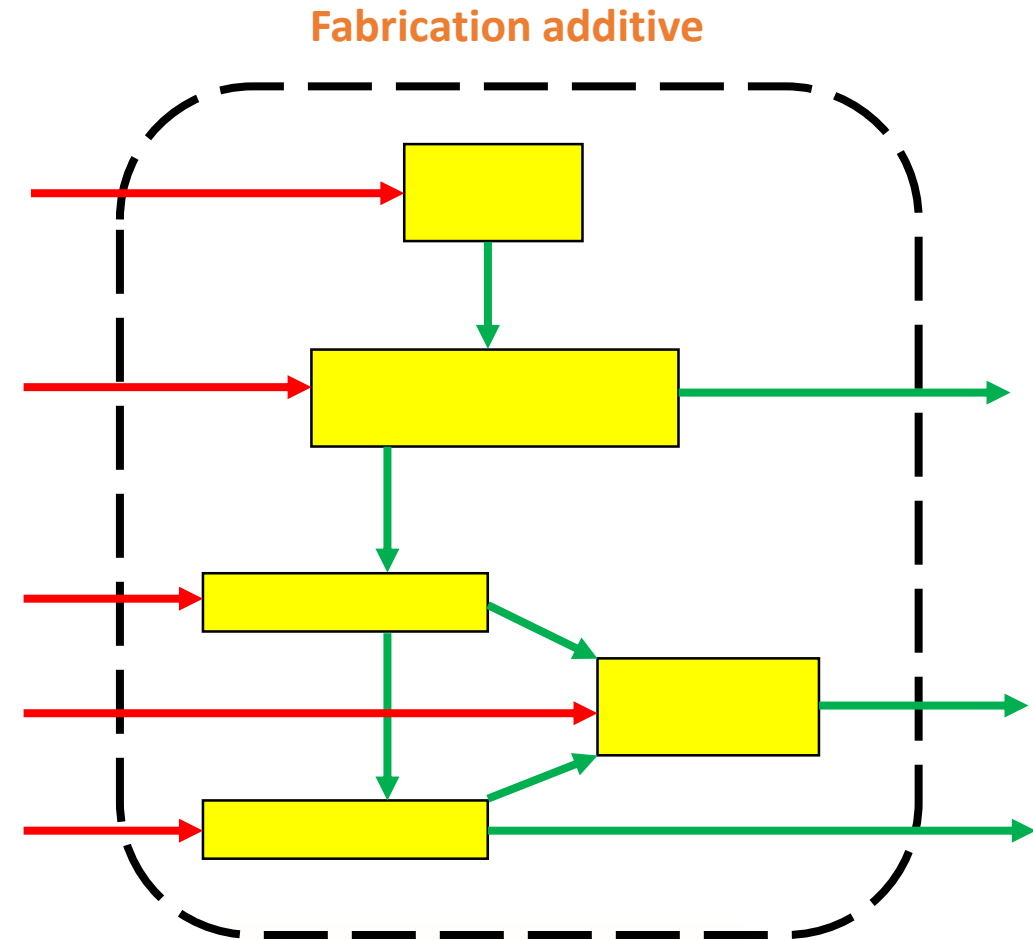
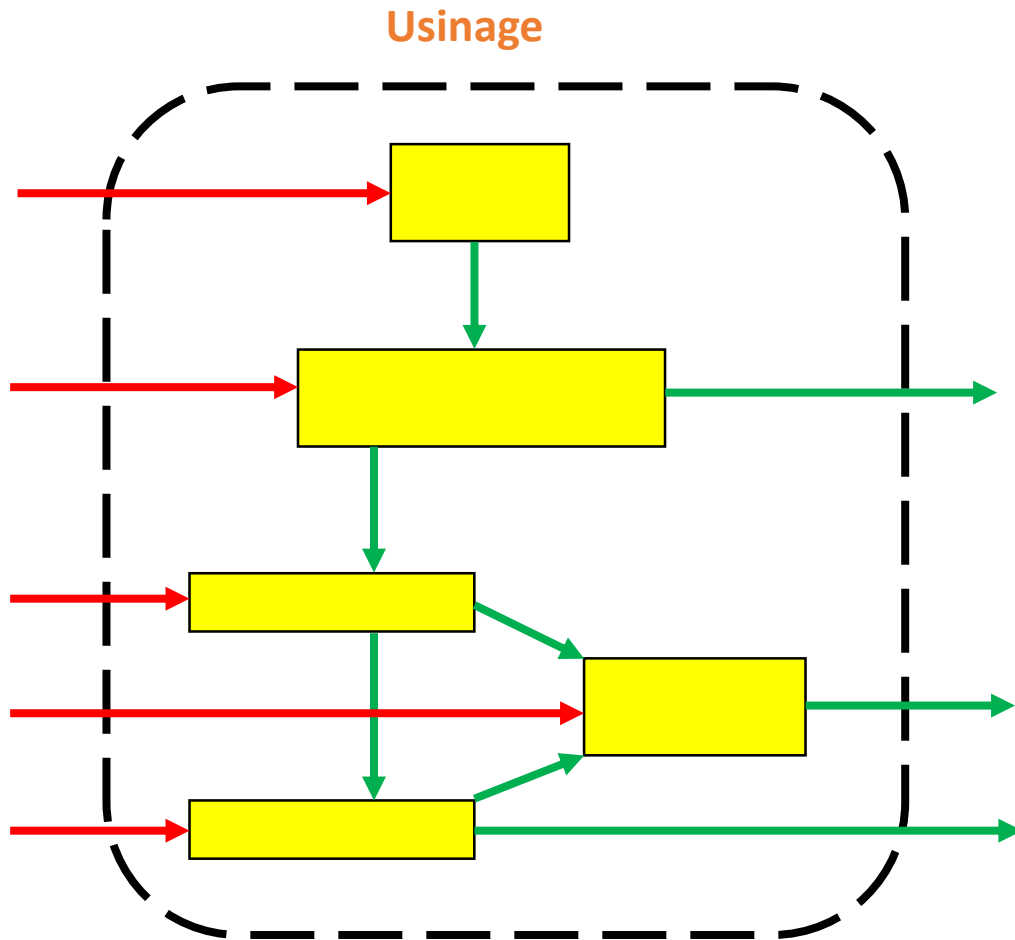
- Arbre des processus
- Consommations d'énergie électrique, basées sur les SEC (MJ/kg)
- Usinage / Fab additive

- L'énergie électrique
- La consommation et le rejet de matériaux
- ~~La consommation et le rejet des fluides~~

Quelles sont les informations nécessaires manquantes ?



Exercice 3 : Comparaison d'impacts environnementaux



Exercice 3 : Comparaison d'impacts environnementaux

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

2. Analyse de l'inventaire

Usinage

- Masse de la pièce finale : 1,8 kg
- La pièce finale représente 50 % de la masse du brut
- Répartition de l'usinage : ébauche 85 % / finition 15 %
- Rendement de l'obtention du brut : 94 %

- SEC de l'extraction de l'aluminium : 161 MJ/kg
- SEC de l'obtention du brut : 14,5 MJ/kg
- SEC de l'usinage d'ébauche : 2,4 MJ / kg
- SEC de l'usinage de finition : 19,5 MJ / kg
- SEC du recyclage des copeaux : 18 MJ / kg

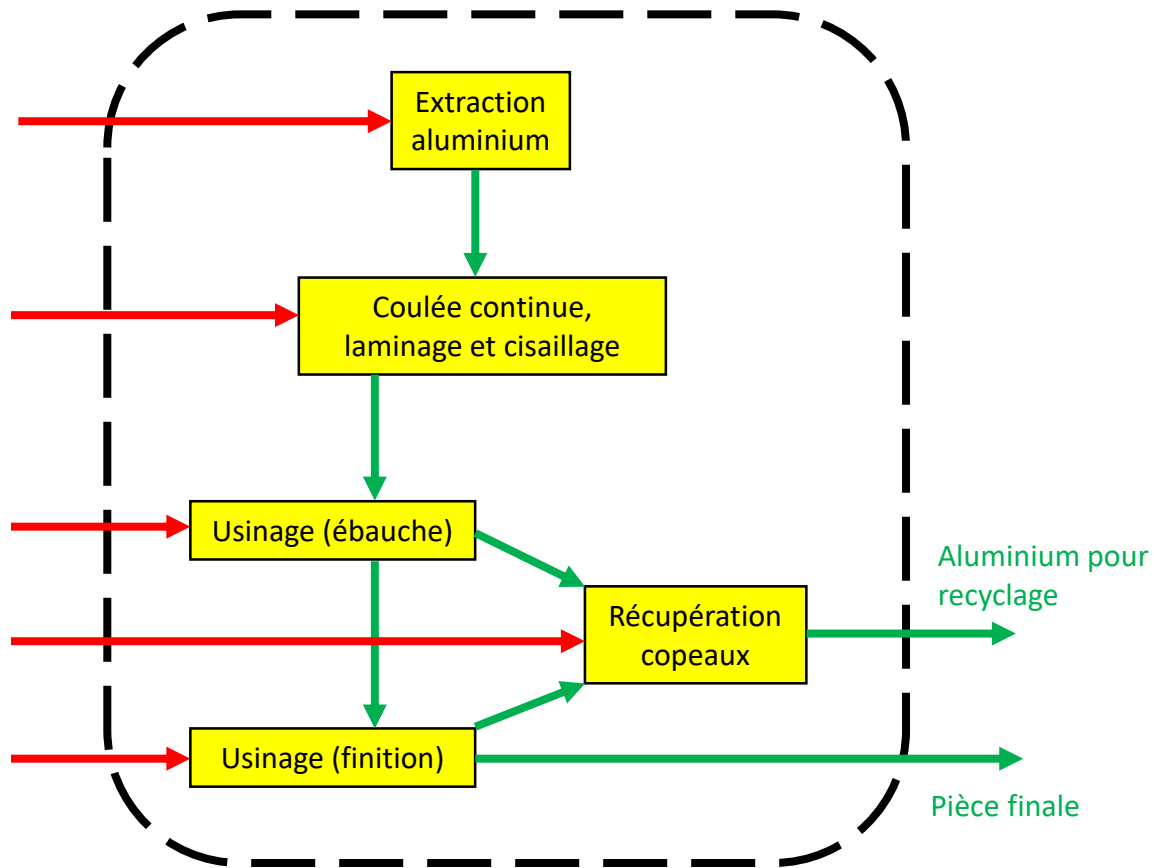
Fabrication additive

- Masse de la pièce finale : 1 kg
- La pièce finale représente 80 % obtenue par FA (usinage de finition des surfaces fonctionnelles)
- Rendement de l'atomisation : 97%

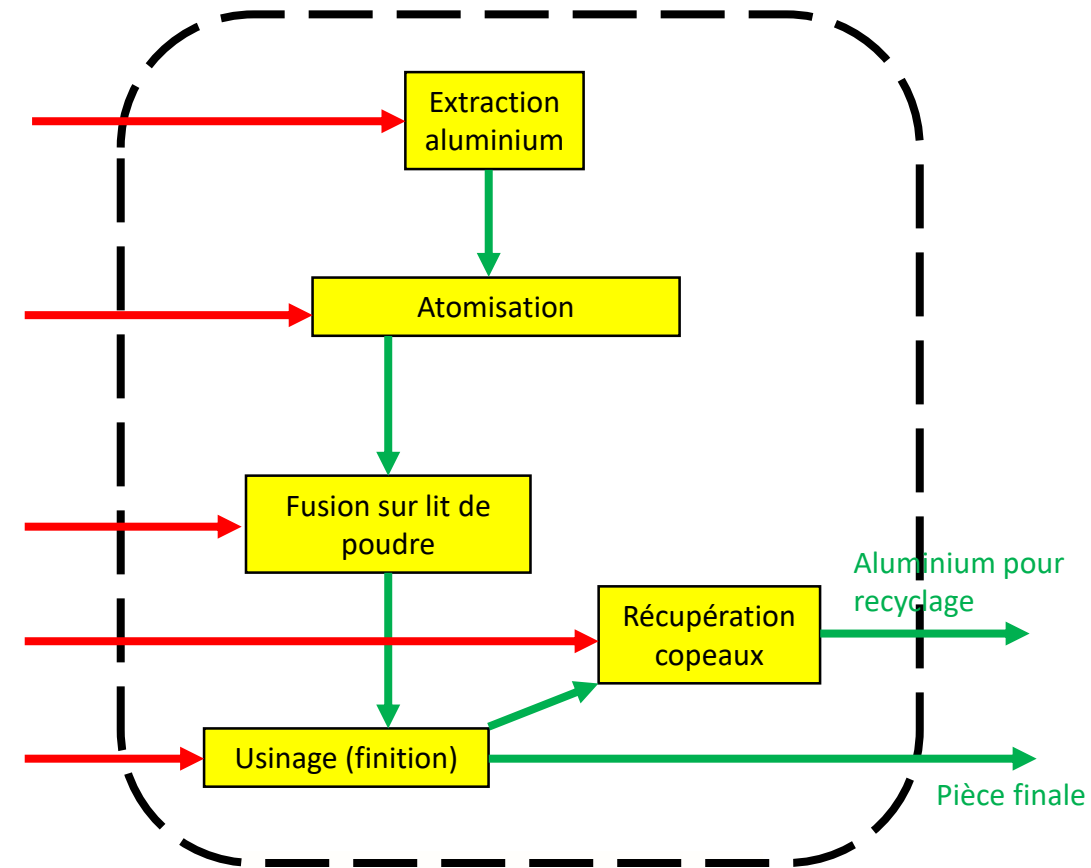
- SEC de l'extraction de l'aluminium : 161 MJ/kg
- SEC de l'atomisation : 50 MJ/kg
- SEC de la fusion sur lit de poudre : 350 MJ/kg
- SEC de l'usinage de finition : 19,5 MJ / kg
- SEC du recyclage des copeaux : 18 MJ / kg

Exercice 3 : Comparaison d'impacts environnementaux - corrigé

Usinage

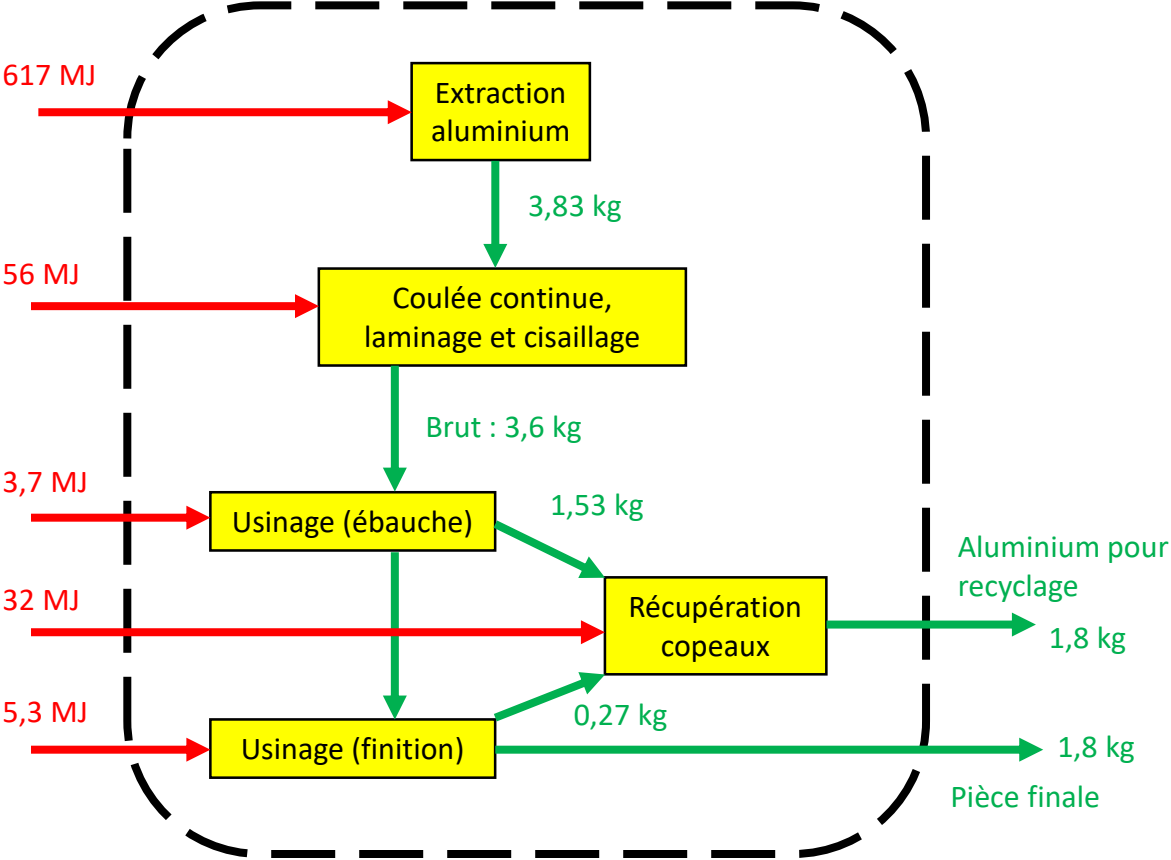


Fabrication additive

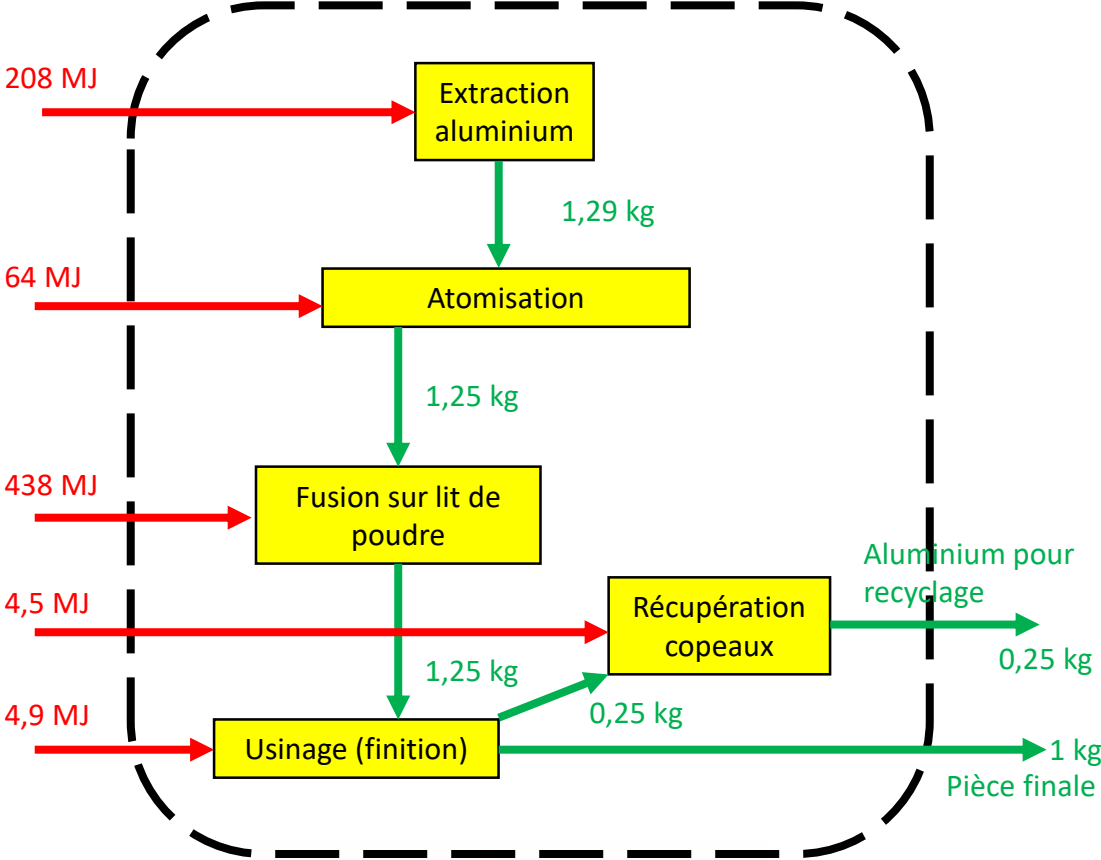


Exercice 3 : Comparaison d'impacts environnementaux - corrigé

Usinage



Fabrication additive



Exercice 3 : Comparaison d'impacts environnementaux

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

2. Analyse de l'inventaire

3. Evaluation des impacts environnementaux

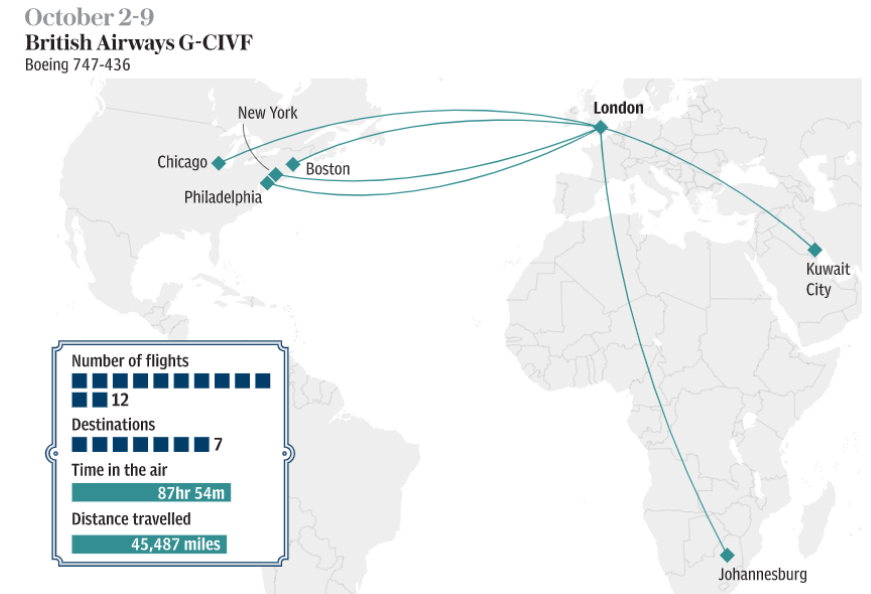
- Fabrication en France. Recyclabilité des copeaux : 80 %
- Consommer 1 KWh d'électricité produite en France = entre 37.3 et 91.8 gCO₂ eq → 0,23 kg / MJ
- Autre scénario à étudier :
 - Usinage au Québec, recyclabilité des copeaux : 80 % / Fabrication additive aux USA
 - Consommer 1 kWh d'électricité produite au Québec = entre 22.5 et 28.9 gCO₂ eq → 0,09 kg / MJ
 - Consommer 1 KWh d'électricité produite aux Etats-Unis = entre 554 et 624 gCO₂ eq → 2,16 kg / MJ

Quel est le meilleur scénario (point de vue environnemental) ?

Exercice 3 : Comparaison d'impacts environnementaux

1. Définition des objectifs et du champ de l'étude
2. Analyse de l'inventaire
3. Evaluation des impacts environnementaux
4. Résultats et interprétation

Prise en compte de la phase d'usage ?



- Une année d'exploitation de l'avion (500 vols)
- Un vol transatlantique : 5 kg CO₂/kg

Exercice 3 : Comparaison d'impacts environnementaux - corrigé

Usinage

	Masse(kg)	SEC (MJ/kg)	Énergie (MJ)	kg CO2/MJ	kg CO2
Extraction	3,83	161	616,6		
Laminage	3,83	14,5	55,5		
Brut	3,6				
Usinage (ébauche)	1,53	2,4	3,7		
Usinage (finition)	0,27	19,5	5,3		
Recyclage	1,8	18	32,4		
Aluminium recyclé	1,44	-161	-231,8		
Pièce finale	1,8				
Total fabrication			481,6	0,09	43,3

Fabrication additive

	Masse(kg)	SEC (MJ/kg)	Énergie (MJ)	kg CO2/MJ	kg CO2
Extraction	1,29	161	207,5		
Atomisation	1,29	50	64,4		
Fusion sur lit de poudre	1,25	350	437,5		
Usinage (finition)	0,25	19,5	4,9		
Recyclage	0,25	18	4,5		
Aluminium recycle	0,2	-161	-32,2		
Pièce finale	1				
Total fabrication			686,6	2,16	1483



Merci de votre attention

Questions : Olivier.Kerbrat@ens-rennes.fr



École normale supérieure de Rennes | Département Mécatronique

Campus de Ker Lann - Avenue Robert Schuman - 35170 BRUZ – France

www.mecatronique.ens-rennes.fr

