

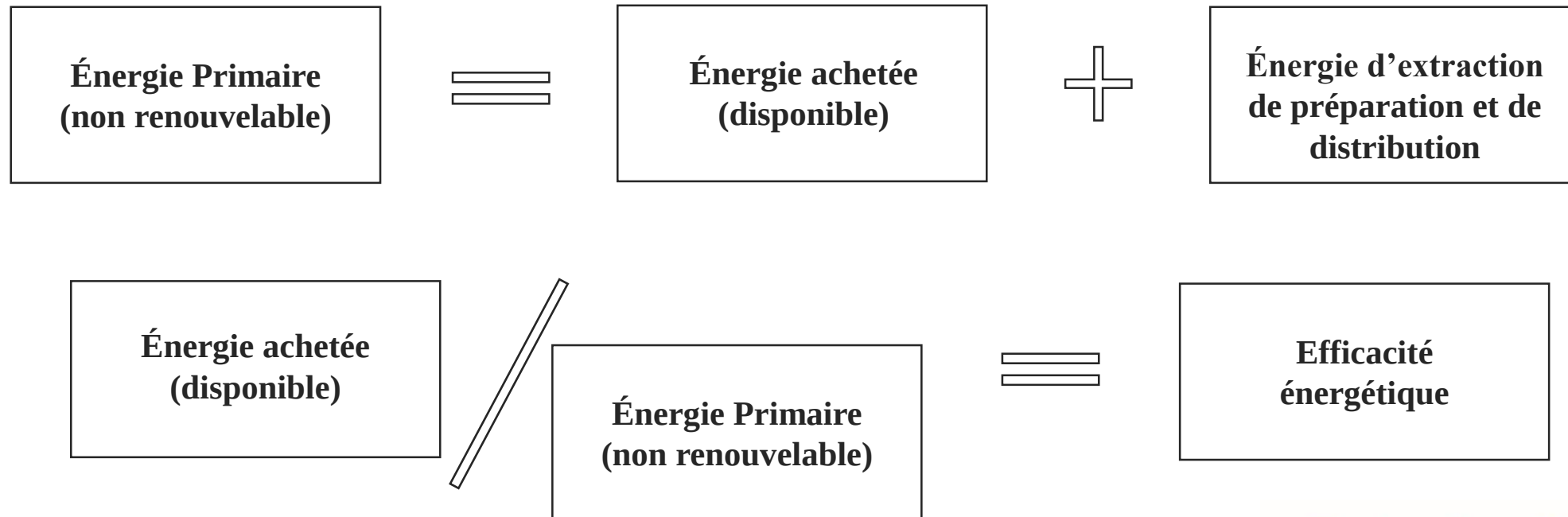


Impacts CO2 et énergétiques

Principe du Bilan énergétique

Demande en énergie primaire non renouvelable

Énergie contenue dans les vecteurs énergétiques à leur extraction de l'environnement



Impacts CO2 et énergétiques

Principe du Bilan énergétique

Energie primaire non renouvelable et émissions de CO2

Energie	Energie primaire non renouvelable [MJ/unité]	CO ₂ [kg/unité]	Rapport gCO ₂ /MJ primaire non renouvelable
1 kWh Electricité (Europe)	10.5	0.4	37
1 kWh Electricité (US)	12.1	0.457	38
1 kWh Electricité (Japon)	11.5	0.457	40
1 kWh Electricité (CH)	7.9	0.045	6
1kWh Electricité (Chine)	10.4	0.644	62

Impacts CO2 et énergétiques

Principe du Bilan énergétique

Energie primaire non renouvelable et émissions de CO2

Energie	Energie primaire non renouvelable [MJ/unité]	CO ₂ [kg/unité]	Rapport gCO ₂ /MJ primaire non renouvelable
1 litre d'essence	42.9	0.49	11
1 litre d'essence *	42.9	2.88	65
1 kg de fioul	56.8	3.71	65

Impacts CO2 et énergétiques

Principe du Bilan énergétique

Energie primaire non renouvelable et émissions de CO2

Transport	Energie primaire non renouvelable [MJ/unité]	CO ₂ [kg/unité]	Rapport gCO ₂ /MJ primaire non renouvelable
1000 km kg transport 32t	2.6	0.15	58
1 pers.km train	0.98	0.06	58
1.pers.km avion	3	0.19	60
1.pers.km voiture	3	0.17	57

Impacts CO2 et énergétiques

Principe du Bilan énergétique

Energie primaire non renouvelable et émissions de CO2

Matériau	Energie primaire non renouvelable [MJ/unité]	CO ₂ [kg/unité]	Rapport gCO ₂ /MJ primaire non renouvelable
1 kg acier (faiblement allié)	27.4	1.63	59
1 kg aluminium primaire	160.4	9.55	60
1 kg aluminium recyclé	22.4	1.32	60
1 m ³ de béton	1381	257	186
1 kg de polyéthylène	76.4	1.56	20

Impacts CO2 et énergétiques

Principe du Bilan énergétique

Energie primaire non renouvelable et émissions de CO2

Fin de vie	Energie primaire non renouvelable [MJ/unité]	CO ₂ [kg/unité]	Rapport gCO ₂ /MJ primaire non renouvelable
1 kg acier en décharge	27.4	1.63	59
1 kg aluminium en décharge	160.4	9.55	60
1 kg aluminium recyclé	22.4	1.32	60
1 m ³ de béton	1381	257	186

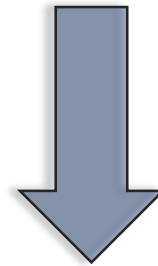
Impacts CO2 et énergétiques

Principe du Bilan énergétique

Energie primaire non renouvelable et émissions de CO2

**Impact CO₂ production 1kg
Aluminium (9.6 kg)**

**Impact CO₂ production 1kg
Acier (1.63 kg)**



Acier moins impactant ?

Impacts CO2 et énergétiques

Principe du Bilan énergétique

Cadre de vélo en acier vs aluminium



Alliage 7020 T5

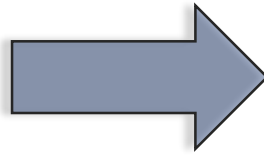


**Alliage AISI 4135 durci
trempé revenu**

Impacts CO2 et énergétiques

Principe du Bilan énergétique

Cadre de vélo en acier vs aluminium



**Indice de performance à
considérer ?**



Impacts CO2 et énergétiques

Principe du Bilan énergétique

Cadre de vélo en acier vs aluminium



General information

Designation ⓘ

Aluminum, 7020, T5, wrought

Condition ⓘ



T5 (Cooled from an elevated-temperature shaping process and artificially aged)

UNS number ⓘ



A97020

EN name ⓘ



EN AW-7020 (EN AW-Al Zn4,5Mg1)

EN number ⓘ



3.4335

Typical uses ⓘ

Transportable bridging, weapons industry, armour plating, military equipment.

Young's modulus	ⓘ	70	-	74	GPa
Specific stiffness	ⓘ	25.1	-	26.7	MN.m/kg
Yield strength (elastic limit)	ⓘ	299	-	331	MPa
Tensile strength	ⓘ	356	-	394	MPa
Specific strength	ⓘ	107	-	119	kN.m/kg
Elongation	ⓘ	13	-	15.1	% strain
Compressive strength	ⓘ	* 299	-	331	MPa

Impacts CO2 et énergétiques

Principe du Bilan énergétique

Cadre de vélo en acier vs aluminium



General information

Ansys Name	Low alloy steel, 4135, hardened & tempered
Designation	Low alloy steel, AISI 4135, air melted, quenched & tempered
Condition	Quenched & tempered
UNS number	G41350
US name	SAE 4137, SAE 4135H, SAE 4135, SAE 17-22-A S, ASTM L7M, ASTM L7B, ASTM G41370, ASTM G55, ASTM F70, ASTM F65, ASTM B1, ASTM 4137, ASTM 4130H, ASTM 4130, ~SAE 4130, ~ASTM H 70, ~ASTM H65, ~ASTM H55, ~ASTM G41300, ~ASTM G70, ~ASTM G65, ~ASTM 4130
EN name	~34CrMo4
EN number	~1.7226, ~1.722
ISO name	34CrMoS4, 33CrAlMo5-4, ~34CrMo4
GB (Chinese) name	~ML35CrMo
JIS (Japanese) name	SCM430, SCM 3
Typical uses	General construction, general mechanical engineering, automotive, pressure vessels, pipework

Specific stiffness	25.5 - 26.9	MN.m/kg
Yield strength (elastic limit)	690 - 1.21e3	MPa
Yield strength with temperature	689 - 1.21e3	MPa
Paramètres : Temperature = 23°C		
Specific strength	88.1 - 155	kN.m/kg
Elongation	6 - 12	% strain
Tangent modulus	2.64e3	MPa
Compressive strength	* 752 - 1.25e3	MPa

Impacts CO2 et énergétiques

Principe du Bilan énergétique

Cadre de vélo en acier vs aluminium



1kg



4.5kg

Impacts CO2 et énergétiques

Principe du Bilan énergétique

Hypothèse



Cadre 50 % du brut

Impacts CO2 et énergétiques

Principe du Bilan énergétique

Impact carbone pour :

- **Laminage du brut**
- **Usinage d'ébauche jusqu'à 120% du cadre (en masse)**
- **Usinage de finition (masse finale)**
- **Recyclage**

Impacts CO2 et énergétiques

Principe du Bilan énergétique

Energie primaire non renouvelable et émissions de CO2

Process	Masse à considérer (kg)		Impact carbone unitaire (kg/kg)		kg équivalent CO ₂	
	7020	4135	7020	4135	7020	4135
Production	2	9				
Laminage	2	9				
Usinage d'ébauche	0.8	3.6				
Usinage de finition	0.2	0.9				
Recyclage	2	9				

Impacts CO2 et énergétiques

Principe du Bilan énergétique

Energie primaire non renouvelable et émissions de CO2

Process	Masse à considérer (kg)		Impact carbone unitaire (kg/kg)		kg équivalent CO ₂	
	7020	4135	7020	4135	7020	4135
Production	2	9	14.3	2.38		
Laminage	2	9	0.62	0.67		
Usinage d'ébauche	0.8	3.6	0.13	0.14		
Usinage de finition	0.2	0.9	0.93	1.01		
Recyclage	2	9	2.77	0.7		

Impacts CO2 et énergétiques

Principe du Bilan énergétique

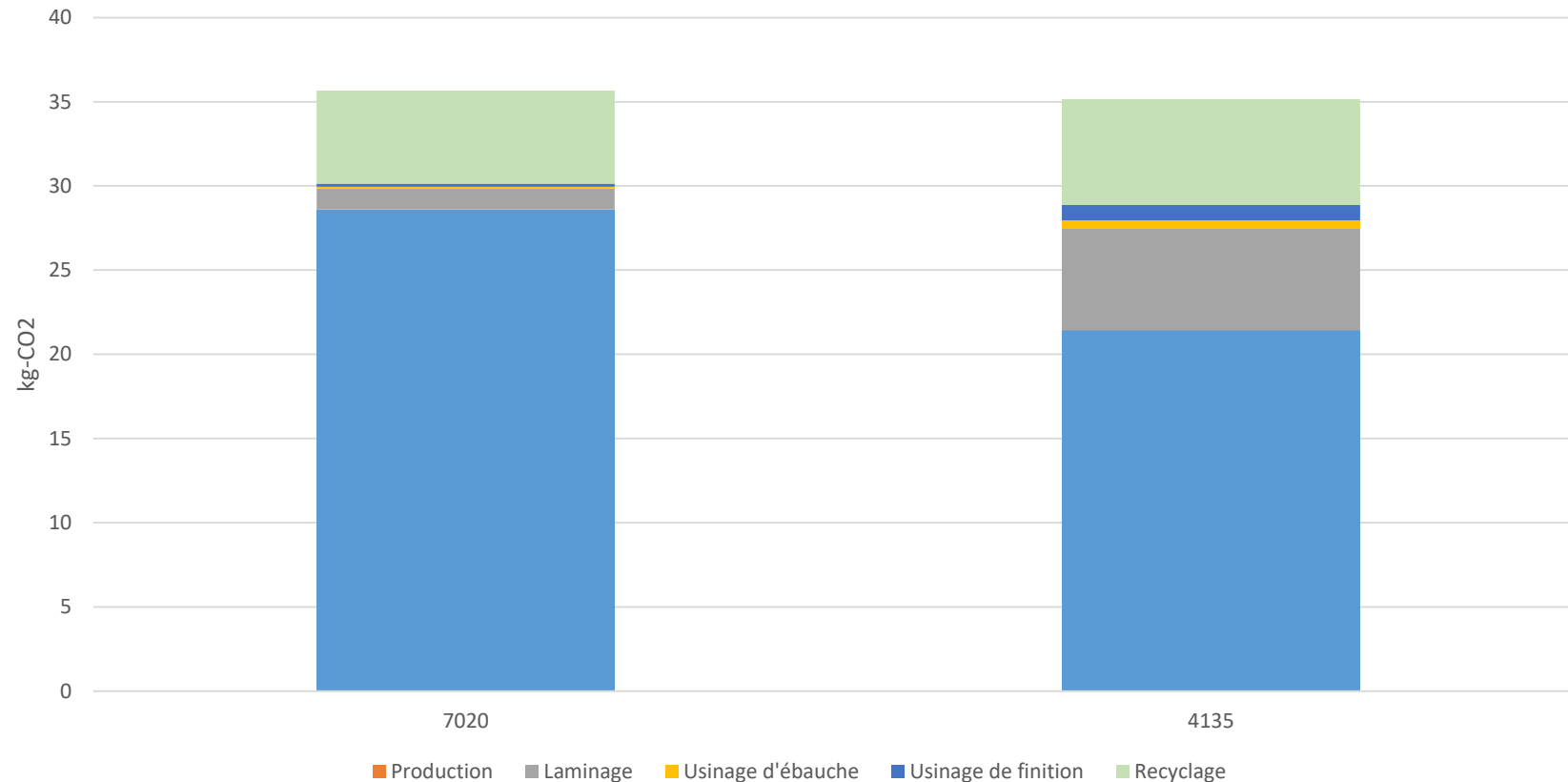
Energie primaire non renouvelable et émissions de CO2

Process	Masse à considérer (kg)		Impact carbone unitaire (kg/kg)		kg équivalent CO ₂	
	7020	4135	7020	4135	7020	4135
Production	2	9	14.3	2.38	28.6	21.42
Laminage	2	9	0.62	0.67	1.24	6.03
Usinage d'ébauche	0.8	3.6	0.13	0.14	0.104	0.504
Usinage de finition	0.2	0.9	0.93	1.01	0.186	0.909
Recyclage	2	9	2.77	0.7	5.54	6.3

Impacts CO2 et énergétiques

Principe du Bilan énergétique

7020 vs 4135



7020	4135
Total 35.67 kg	Total 35.16 kg
80 % du à la production	60% de production Impact non négligeable du laminage
1/6 généré par le recyclage	1/6 généré par le recyclage

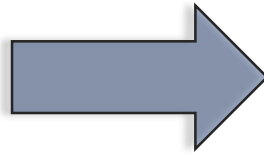
Impacts CO2 et énergétiques

Principe du Bilan énergétique

Recyclage



47%



55%

Impacts CO2 et énergétiques

Principe du Bilan énergétique

Energie primaire non renouvelable et émissions de CO2 (considérant la fraction recyclée)

Process	Masse à considérer (kg)		Impact carbone unitaire (kg/kg)		kg équivalent CO ₂	
	7020	4135	7020	4135	7020	4135
Production	1.06	4.05	14.3	2.38		
Laminage	2	9	0.62	0.67		
Usinage d'ébauche	0.8	3.6	0.13	0.14		
Usinage de finition	0.2	0.9	0.93	1.01		
Recyclage	2	9	2.77	0.7		

Impacts CO2 et énergétiques

Principe du Bilan énergétique

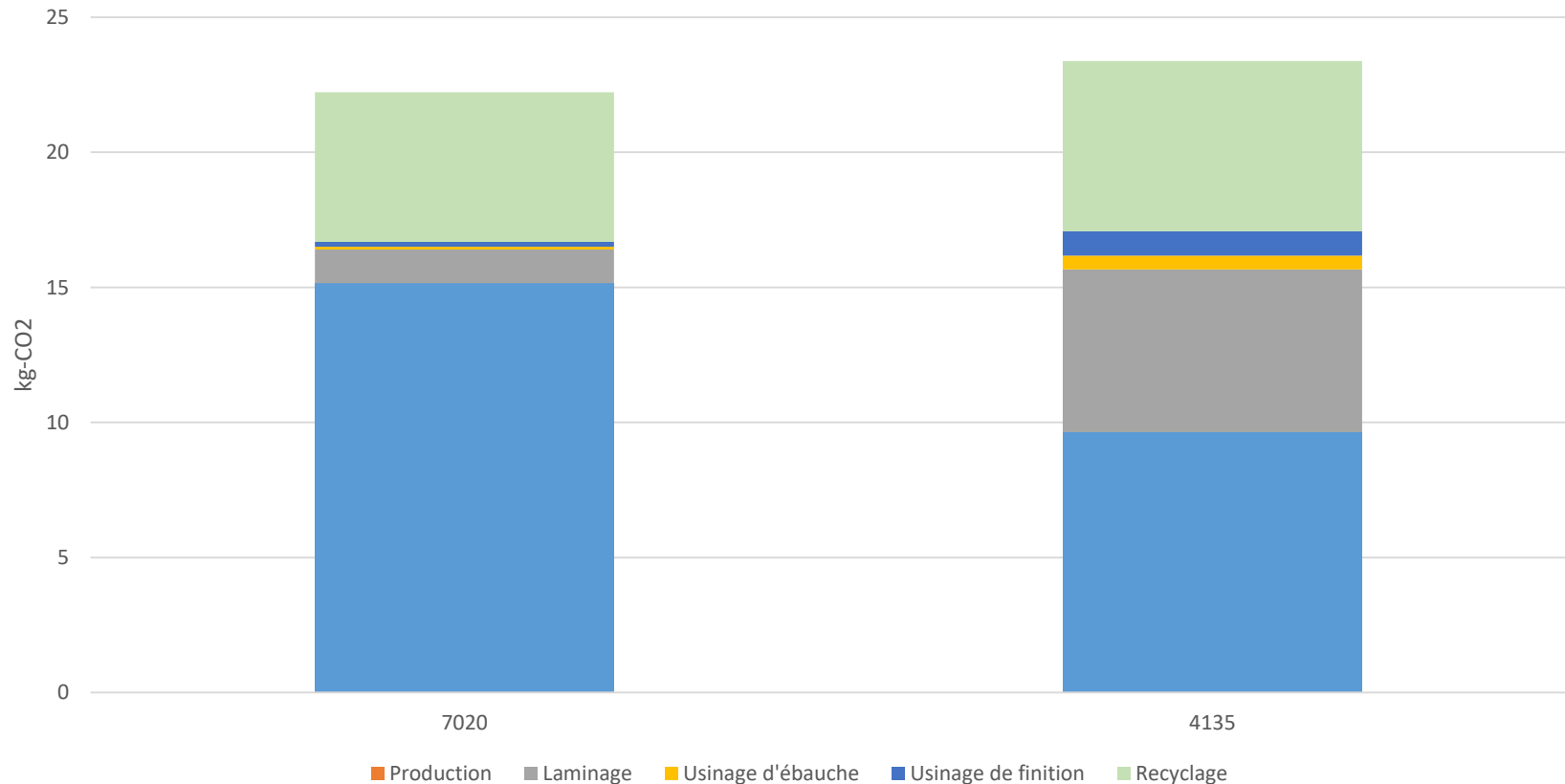
Energie primaire non renouvelable et émissions de CO2 (considérant la fraction recyclée)

Process	Masse à considérer (kg)		Impact carbone unitaire (kg/kg)		kg équivalent CO ₂	
	7020	4135	7020	4135	7020	4135
Production	1.06	4.05	14.3	2.38	15.158	9.639
Laminage	2	9	0.62	0.67	1.24	6.03
Usinage d'ébauche	0.8	3.6	0.13	0.14	0.104	0.504
Usinage de finition	0.2	0.9	0.93	1.01	0.186	0.909
Recyclage	2	9	2.77	0.7	5.54	6.3

Impacts CO2 et énergétiques

Principe du Bilan énergétique

7020 vs 4135 (recyclage considéré)

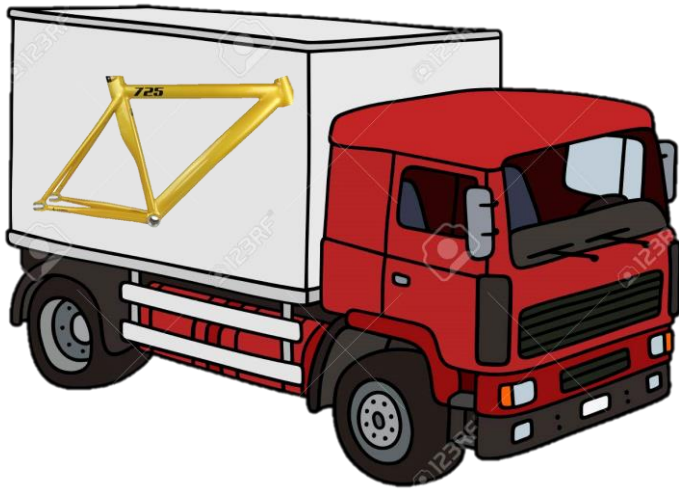


7020	4135
Total 22.23 kg	Total 23.382 kg
68 % du à la production	41% de production Laminage 25%
Baisse globale de 35% des impacts	Baisse globale de 35% des impacts

Impacts CO2 et énergétiques

Principe du Bilan énergétique

Etape de transport

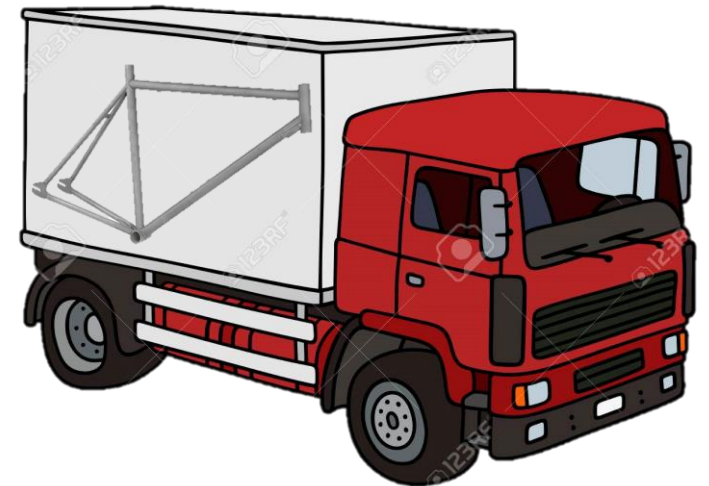


+ 0.33kg eq CO₂

3000 km

14 T 2 essieux

$1.1 \cdot 10^{-4}$ kg/(kg*km)

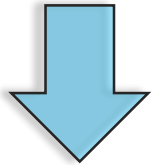


+ 1.49kg eq CO₂

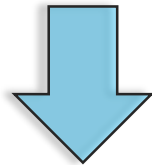
Impacts CO2 et énergétiques

Principe du Bilan énergétique

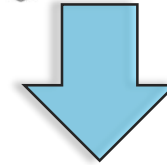
Cadre de vélo en acier vs aluminium: axe d'optimisation ?



Augmentation du % de produit recyclé



Minimisation de l'impact production



Diminution de la masse du cadre



Minimisation de l'impact procédés

Exercice d'application

Principe du Bilan énergétique

Inventaire des émissions bloc avant automobile (Acier, Alu, Composite)



UF



**Bloc avant de rigidité équivalente,
de résistance aux impacts
équivalentes transporté par la
voiture sur 200 000 km**

Exercice d'application

Principe du Bilan énergétique

Inventaire des émissions bloc avant automobile (Acier, Alu, Composite)



Limites



**Chaine d'extraction et de
préparation de l'énergie,
fabrication de la pièce,
élimination et utilisation**

Scénarii



- **Bloc en acier**
- **Bloc composite**
- **Bloc alu**
- **Bloc alu recyclé**

Exercice d'application

Principe du Bilan énergétique

Flux de références et processus unitaires

Substance	Unité	Acier	Composite	Aluminium	Aluminium Recyclé
Matière					
Poids final	[Kg]	10	7	3.8	3.8
Fabrication					
Electricité	[kWh]	19.7	4.7	15.2	15.2
Fioul	[kg]	2.3	0.56	1.8	1.8

Exercice d'application

Principe du Bilan énergétique

Flux de références et processus unitaires

Substance	Unité	Acier	Composite	Aluminium	Aluminium Recyclé
Utilisation ???					
Essence	[l]	??	??	??	??

Quantité d'essence $4 \cdot 10^{-5}$ l par kg de produit transporté et par km

Exercice d'application

Principe du Bilan énergétique

Flux de références et processus unitaires

Substance	Unité	Acier	Composite	Aluminium	Aluminium Recyclé
Fin de vie					
Incinération	[kg]	-	7	-	-
Mise en décharge contrôlée	[kg]	-	-	3.8	-
Mise en décharge pour matériaux inertes	[kg]	10	-	-	-

Vecteur demande (acier)

*10 kg d'acier
19.7 kWh électricité
2.3 kg fioul
80 l essence
10 kg MAD*

Exercice d'application

Matrice d'émission

	Acier [kg]	Composite [kg]	Aluminium [kg]	Aluminium Recyclé [kg]	Electricité (europe)	Fioul [kg]	Essence [l]	MAD Acier [kg]	MAD Alu [kg]	Incinération propylène [kg]
Ressources										
Energie [MJ]	24.7	79.9	162	21.8	10.5	56.9	43.2	0.21	0.53	0.21
Emission dans l'air										
CO ² [kg]	1.28	1.85	9.5	1.2	0.45	3.67	2.8	0.01	0.02	2.54
CO [kg]	0.023	0.00076	0.0056	0.0011	0.00016	0.0013	0.00067	0.000042	0.000097	0.00026
CH ₄ [kg]	0.0027	0.0060	0.015	0.0015	0.00064	0.0032	0.0013	1.8.10 ⁻⁵	3.8.10 ⁻⁵	2.2.10 ⁻⁵
N ₂ O [kg]	3.8.10 ⁻⁵	1.3.10 ⁻⁷	0.00027	2.5.10 ⁻⁵	1.1.10 ⁻⁵	4.1.10 ⁻⁵	8.1.10 ⁻⁶	2.1.10 ⁻⁷	5.4.10 ⁻⁷	4.8.10 ⁻⁶
No _x [kg]	0.0054	0.0096	0.022	0.0025	0.00082	0.0037	0.0018	0.00015	0.00029	0.00039
SO ₂ [kg]	0.004	0.013	0.038	0.0035	0.0018	0.0052	0.0044	1.1.10 ⁻⁵	3.0.10 ⁻⁵	1.9.10 ⁻⁵
Particules	0.0021	0.00038	0.0055	0.00043	0.00012	0.00024	0.00018	1.4.10 ⁻⁵	2.8.10 ⁻⁵	1.3.10 ⁻⁵
Pb	5.6.10 ⁻⁶	5.1.10 ⁻⁹	1.9.10 ⁻⁶	1.9.10 ⁻⁶	6.5.10 ⁻⁸	3.5.10 ⁻⁷	1.7.10 ⁻⁷	2.3.10 ⁻⁹	1.0.10 ⁻⁸	7.7.10 ⁻⁹
Emission dans l'eau										
Nitrates [kg]	1.6.10 ⁻⁵	1.9.10 ⁻⁵	1.9.10 ⁻⁴	1.9.10 ⁻⁴	7.9.10 ⁻⁶	1.1.10 ⁻⁵	7.4.10 ⁻⁶	5.3.10 ⁻⁸	1.9.10 ⁻⁷	5.4.10 ⁻⁵
Pb [kg]	1.5.10 ⁻⁵	1.0.10 ⁻⁶	1.1.10 ⁻⁵	1.1.10 ⁻⁵	4.5.10 ⁻⁷	1.3.10 ⁻⁶	7.1.10 ⁻⁷	2.9.10 ⁻⁸	2.6.10 ⁻⁵	1.5.10 ⁻⁶

Exercice d'application

Matrice d'émission

	Acier [kg]	Composite [kg]	Aluminium [kg]	Aluminium Recyclé [kg]	Electricité (europe)	Fioul [kg]	Essence [l]	MAD Acier [kg]	MAD Alu [kg]	Incinération propylène [kg]
Ressources										
Energie [MJ]	24.7	79.9	162	21.8	10.5	56.9	43.2	0.21	0.53	0.21
Emission dans l'air										
CO ² [kg]	1.28	1.85	9.5	1.2	0.45	3.67	2.8	0.01	0.02	2.54
CO [kg]	0.023	0.00076	0.0056	0.0011	0.00016	0.0013	0.00067	0.000042	0.000097	0.00026
CH ₄ [kg]	0.0027	0.0060	0.015	0.0015	0.00064	0.0032	0.0013	1.8.10 ⁻⁵	3.8.10 ⁻⁵	2.2.10 ⁻⁵
N ₂ O [kg]	3.8.10 ⁻⁵	1.3.10 ⁻⁷	0.00027	2.5.10 ⁻⁵	1.1.10 ⁻⁵	4.1.10 ⁻⁵	8.1.10 ⁻⁶	2.1.10 ⁻⁷	5.4.10 ⁻⁷	4.8.10 ⁻⁶
No _x [kg]	0.0054	0.0096	0.022	0.0025	0.00082	0.0037	0.0018	0.00015	0.00029	0.00039
SO ₂ [kg]	0.004	0.013	0.038	0.0035	0.0018	0.0052	0.0044	1.1.10 ⁻⁵	3.0.10 ⁻⁵	1.9.10 ⁻⁵
Particules	0.0021	0.00038	0.0055	0.00043	0.00012	0.00024	0.00018	1.4.10 ⁻⁵	2.8.10 ⁻⁵	1.3.10 ⁻⁵
Pb	5.6.10 ⁻⁶	5.1.10 ⁻⁹	1.9.10 ⁻⁶	1.9.10 ⁻⁶	6.5.10 ⁻⁸	3.5.10 ⁻⁷	1.7.10 ⁻⁷	2.3.10 ⁻⁹	1.0.10 ⁻⁸	7.7.10 ⁻⁹
Emission dans l'eau										
Nitrates [kg]	1.6.10 ⁻⁵	1.9.10 ⁻⁵	1.9.10 ⁻⁴	1.9.10 ⁻⁴	7.9.10 ⁻⁶	1.1.10 ⁻⁵	7.4.10 ⁻⁶	5.3.10 ⁻⁸	1.9.10 ⁻⁷	5.4.10 ⁻⁵
Pb [kg]	1.5.10 ⁻⁵	1.0.10 ⁻⁶	1.1.10 ⁻⁵	1.1.10 ⁻⁵	4.5.10 ⁻⁷	1.3.10 ⁻⁶	7.1.10 ⁻⁷	2.9.10 ⁻⁸	2.6.10 ⁻⁵	1.5.10 ⁻⁶

Matrice d'émission (acier) = E

Exercice d'application

Inventaire des émissions des émission et extraction (b)

$$b = E.p$$

$$= \begin{bmatrix} 4043 \text{ MJ} \\ 253.9 \text{ kg CO}_2 \\ 0.29 \text{ kg CO} \\ 0.15 \text{ kg CH}_4 \\ 0.0013 \text{ kg N}_2\text{O} \\ 0.22 \text{ kg NO}_x \\ 0.44 \text{ kg SO}_2 \\ 0.038 \text{ kg particules} \\ 7.2 \cdot 10^{-5} \text{ kg Pb (air)} \\ 9.3 \cdot 10^{-4} \text{ kg nitrates} \\ 2.1 \cdot 10^{-4} \text{ kg Pb (eau)} \end{bmatrix}$$

Exercice d'application

Inventaire des émissions

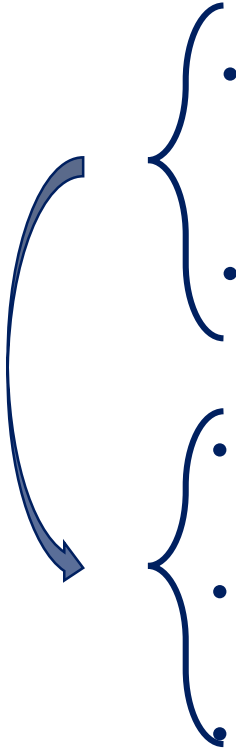
	Acier [kg]	Composite [kg]	Aluminium [kg]	Aluminium Recyclé [kg]
Ressources				
Energie [MJ]	4043	???	???	???
Emission dans l'air				
CO ² [kg]	253.9	???	???	???
CO [kg]	0.29	???	???	???
CH ₄ [kg]	0.15	???	???	???
N ₂ O [kg]	0.0013	???	???	???
No _x [kg]	0.22	???	???	???
SO ₂ [kg]	0.44	???	???	???
Particules	0.038	???	???	???
Pb	7.2.10 ⁻⁵	???	???	???
Emission dans l'eau				
Nitrates [kg]	9.3.10 ⁻⁴	???	???	???
Pb [kg]	2.1.10 ⁻⁴	???	???	???

Remplir la l'inventaire des émissions pour les 4 matériaux

Exercice d'application

Inventaire des émissions des émission et extraction (b)

Calculer

- 
- **L'évolution de la consommation énergétique en fonction de la distance effectuée (0-200k km) Définir à partir de quel kilométrage un matériau devient plus intéressant qu'un autre**
 - **Effectuer les même exercices avec l'équivalent CO2**
 - **Recommencer en considérant une production d'électricité en France puis en Chine**
 - **On prendra une efficacité de 1.5 MJ/MJ pour la France et 4 pour la Chine**
 - **L'impact du kWh pour la France et la Chine est à retrouver sur Granta**

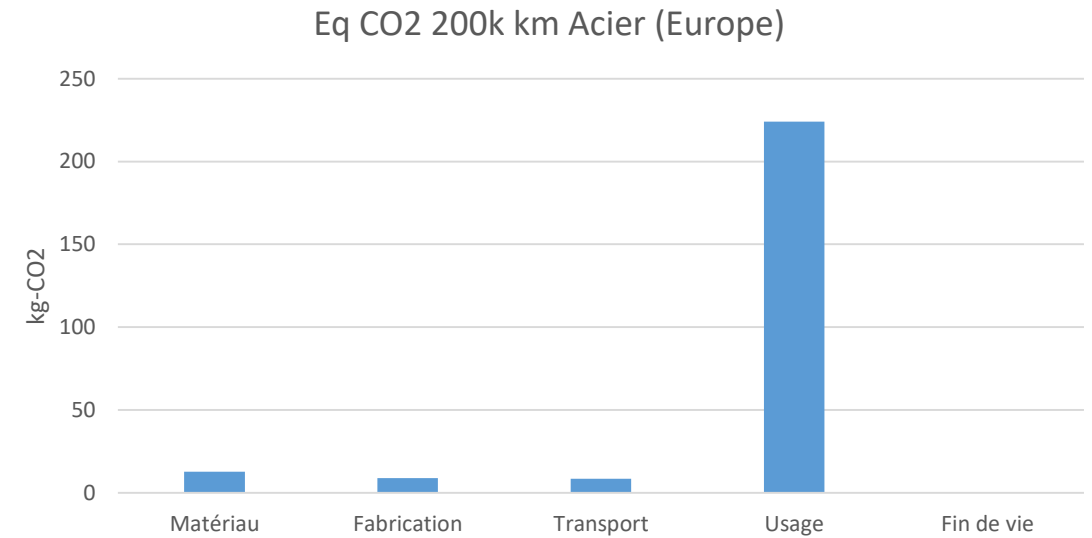
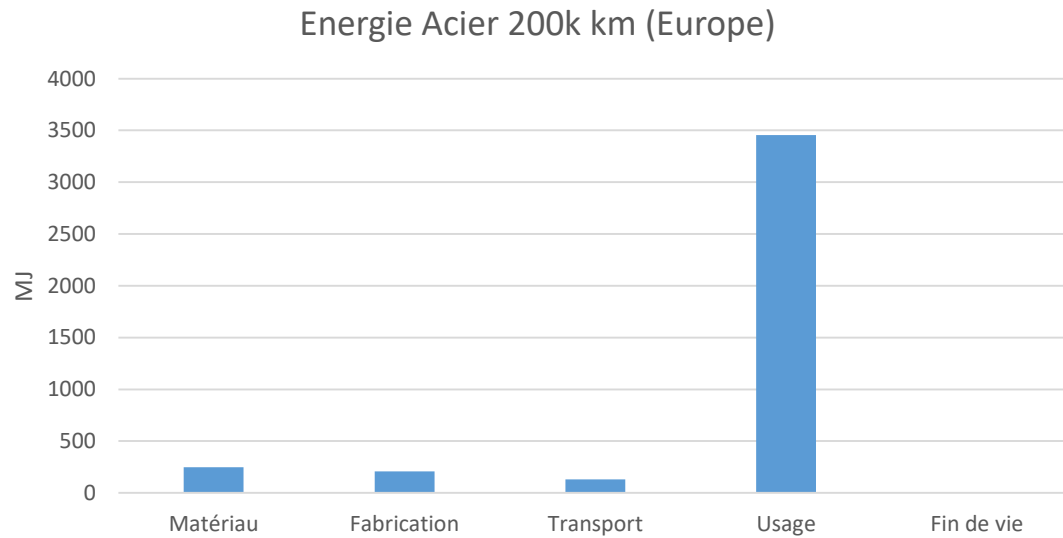
Exercice d'application

Inventaire des émissions

	Acier [kg]	Composite [kg]	Aluminium [kg]	Aluminium Recyclé [kg]
Ressources				
Energie [MJ]	4043	3061	2193	1658
Emission dans l'air				
CO ² [kg]	254.2	191.7	134.7	103.1
CO [kg]	0.29	0.046	0.047	0.029
CH ₄ [kg]	0.15	0.12	0.12	0.061
N ₂ O [kg]	0.0013	0.0006	0.0015	0.0006
No _x [kg]	0.22	0.18	0.16	0.083
SO ₂ [kg]	0.44	0.35	0.32	0.18
Particules	0.039	0.014	0.029	0.0094
Pb	$7.2 \cdot 10^{-5}$	$1.0 \cdot 10^{-5}$	$1.4 \cdot 10^{-5}$	$1.4 \cdot 10^{-5}$
Emission dans l'eau				
Nitrates [kg]	$9.3 \cdot 10^{-4}$	$9.7 \cdot 10^{-4}$	$1.1 \cdot 10^{-3}$	$1.1 \cdot 10^{-3}$
Pb [kg]	$2.2 \cdot 10^{-4}$	$2.7 \cdot 10^{-4}$	$1.71 \cdot 10^{-4}$	$7.3 \cdot 10^{-5}$

Exercice d'application

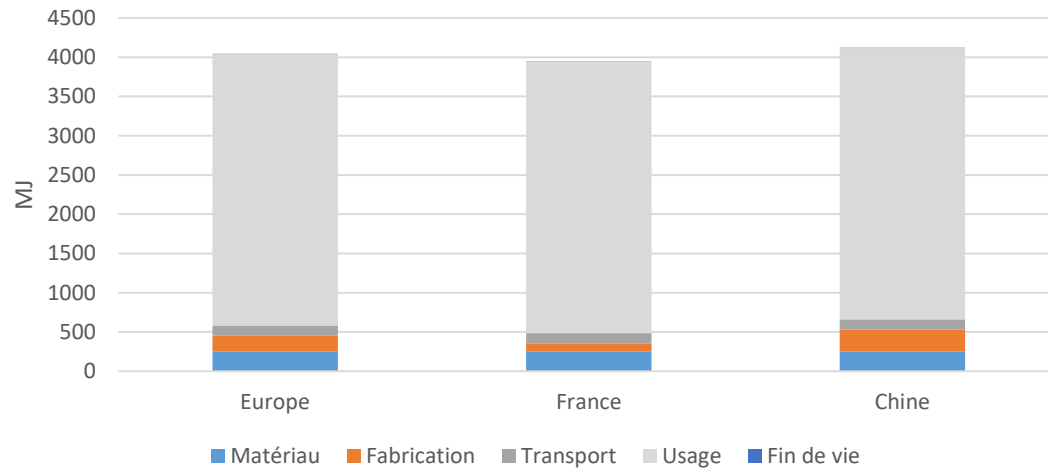
Acier



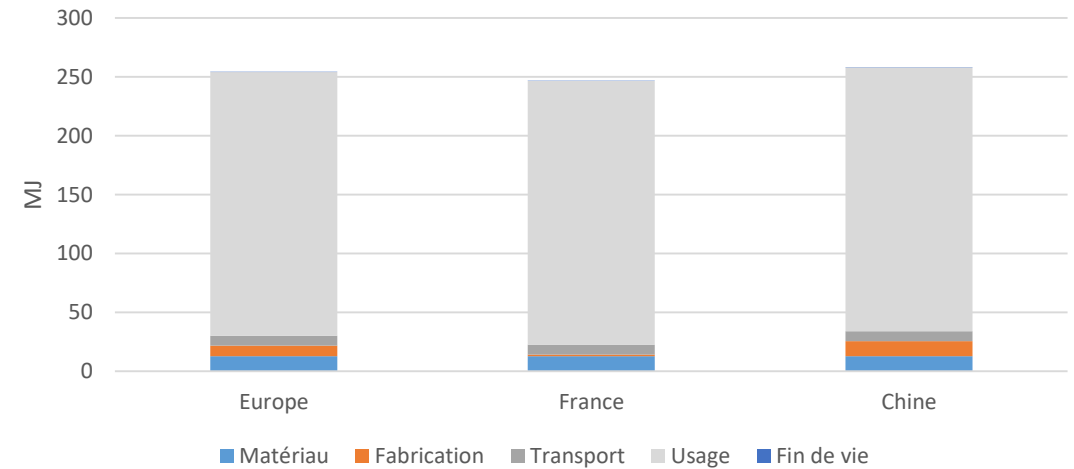
Exercice d'application

Acier

Energie 200k km Europe/France/Chine



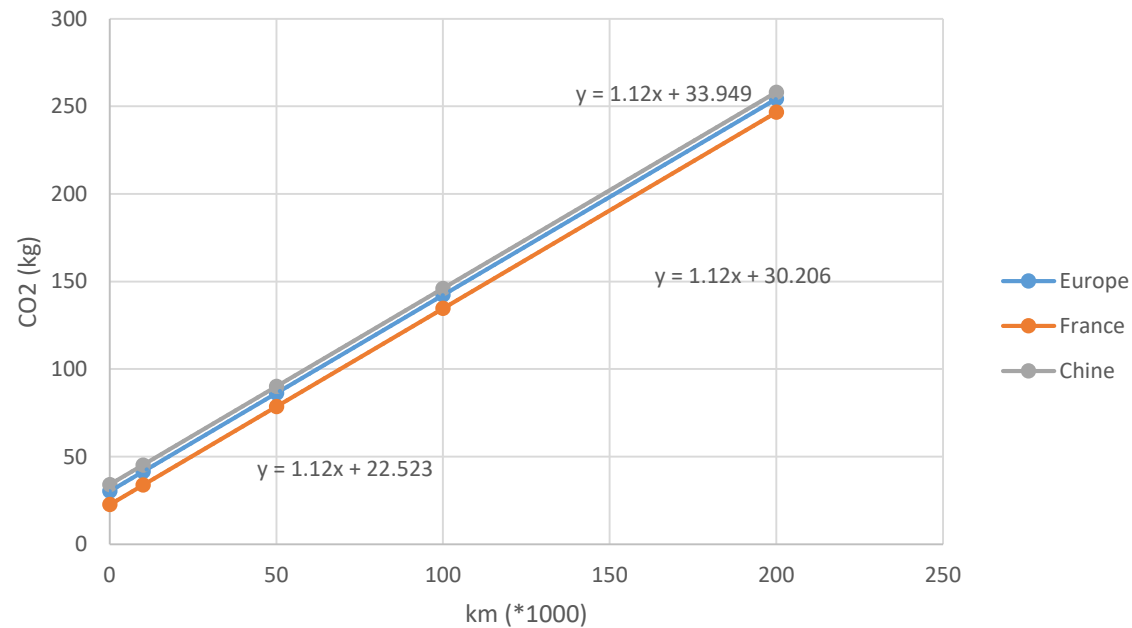
CO2 200k km Europe/France/Chine



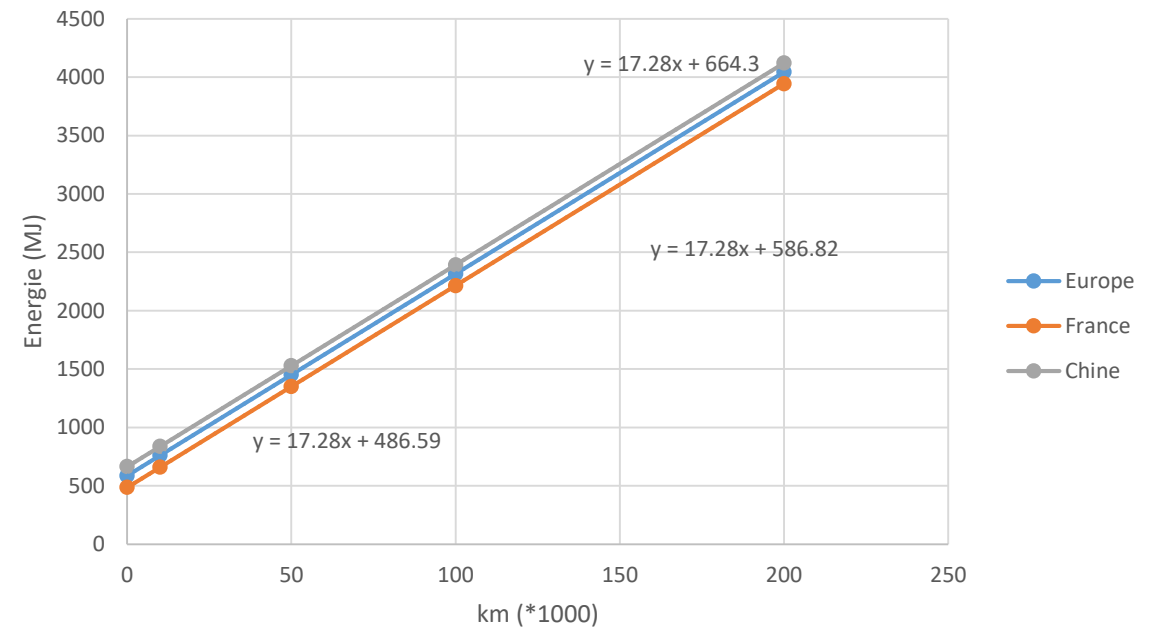
Exercice d'application

Acier

CO2 vs usage



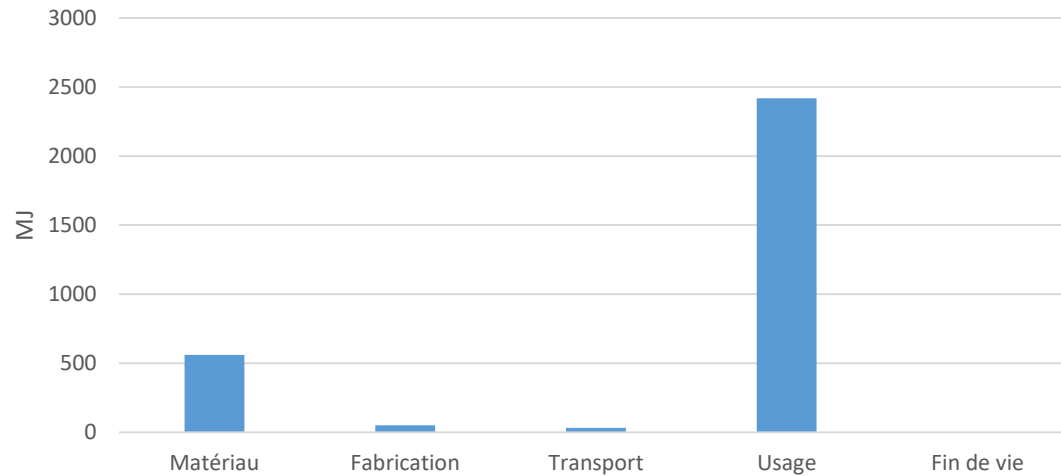
Energie vs usage



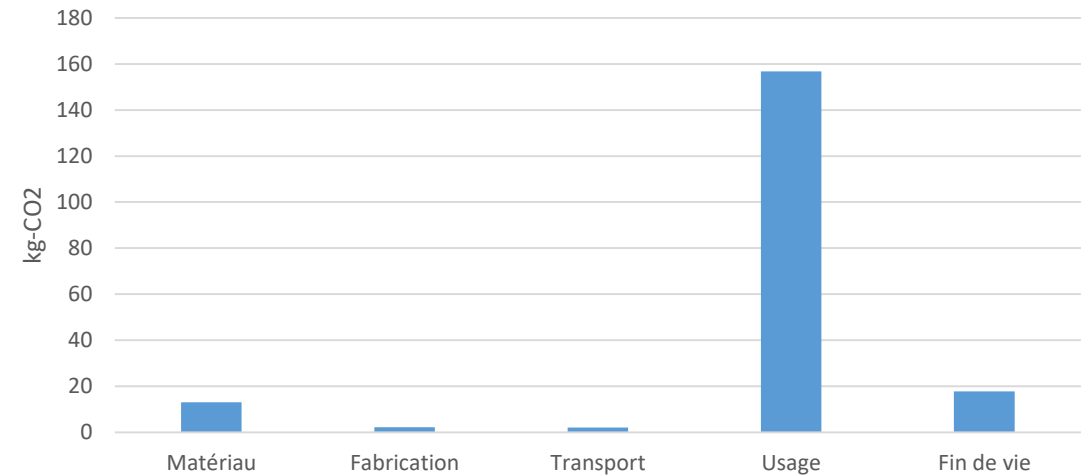
Exercice d'application

Composite

Energie Comp 200k km (Europe)

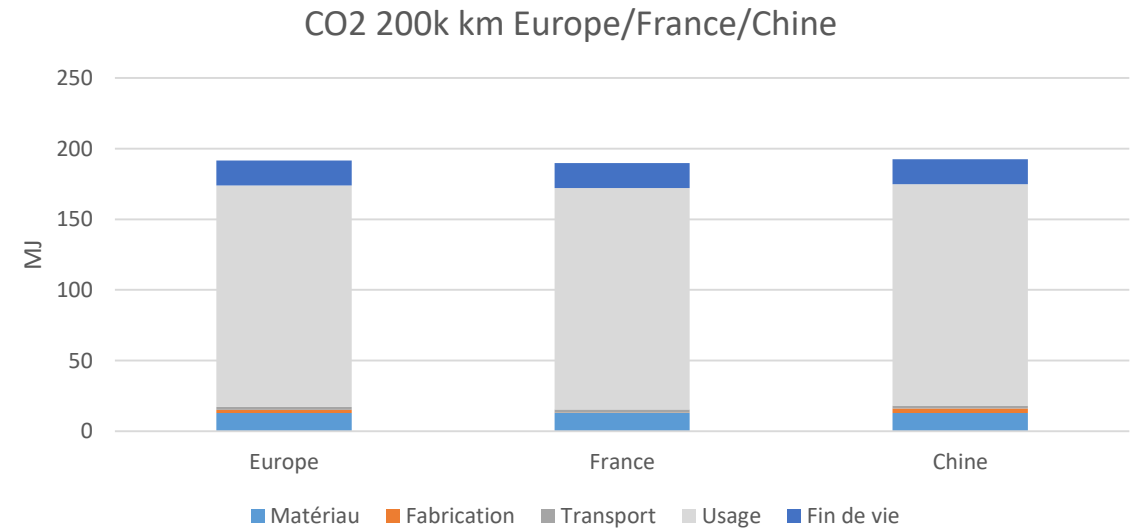
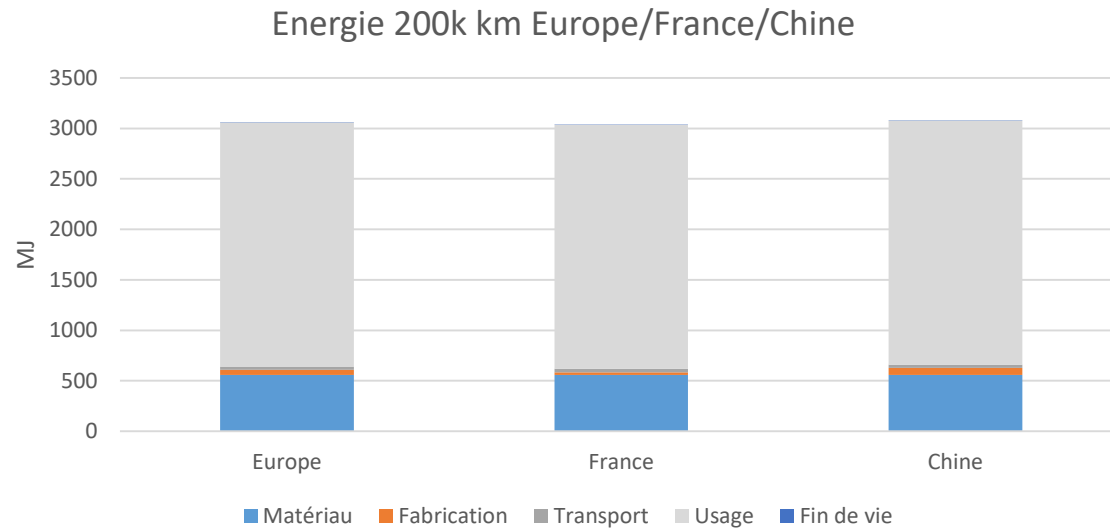


Eq CO2 200k km Comp (Europe)



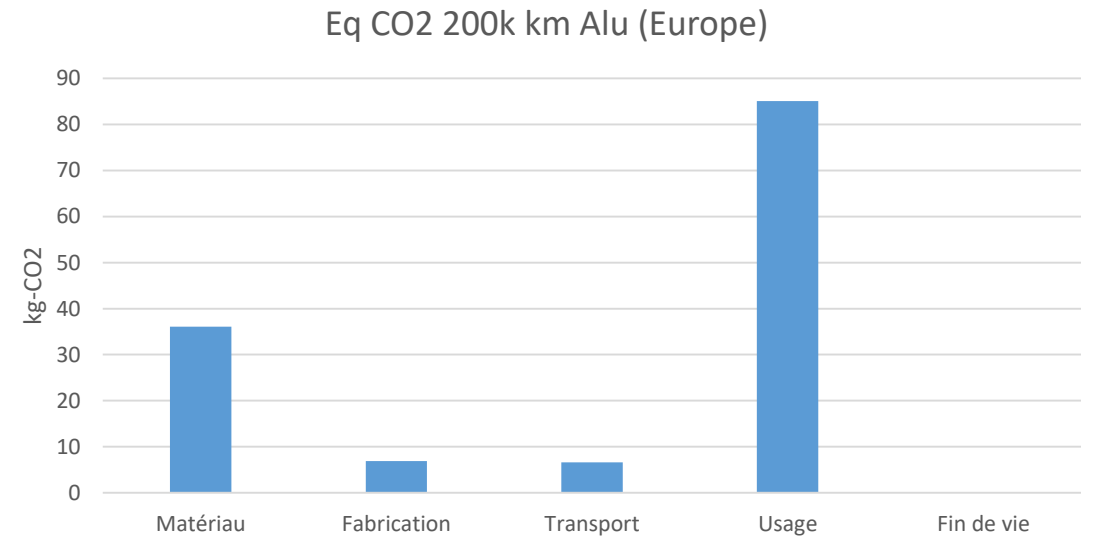
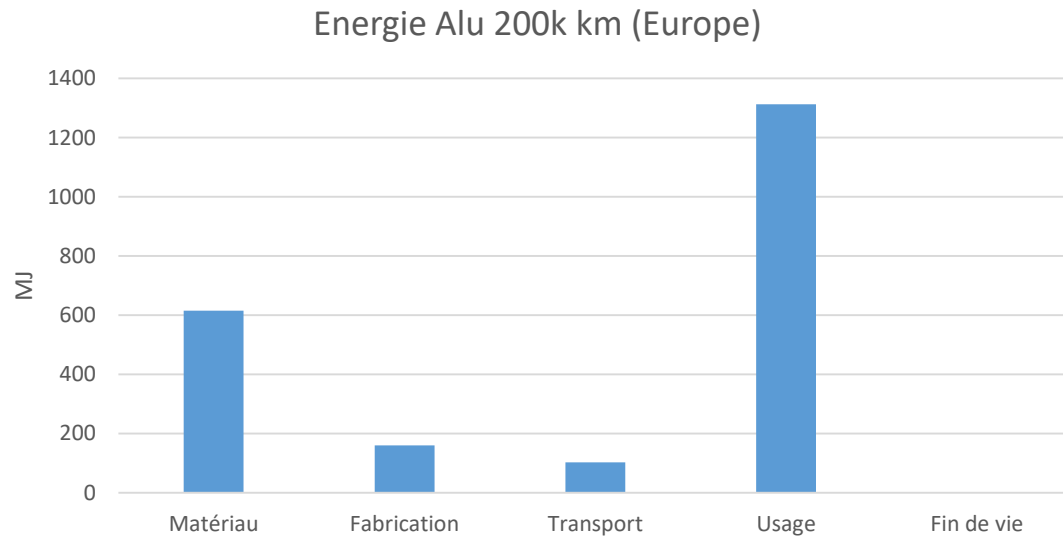
Exercice d'application

Composite



Exercice d'application

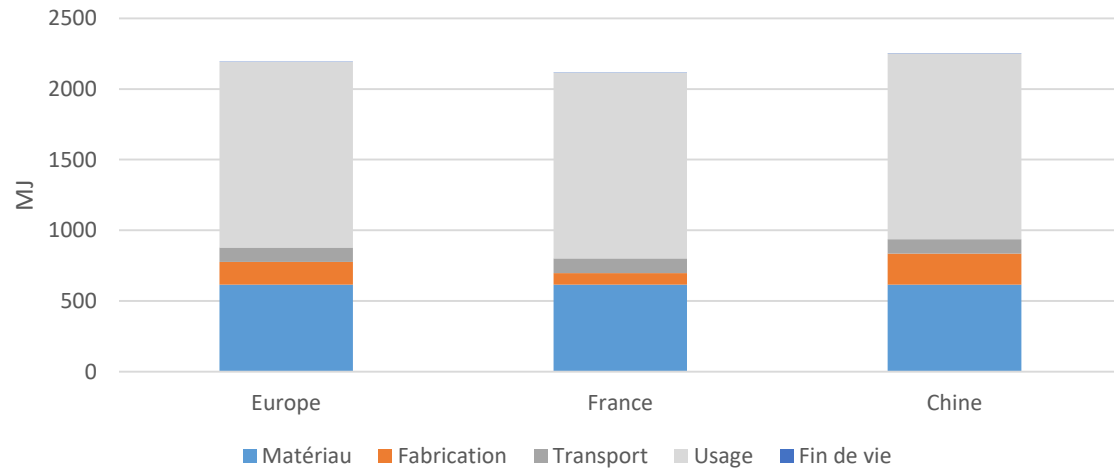
Alu



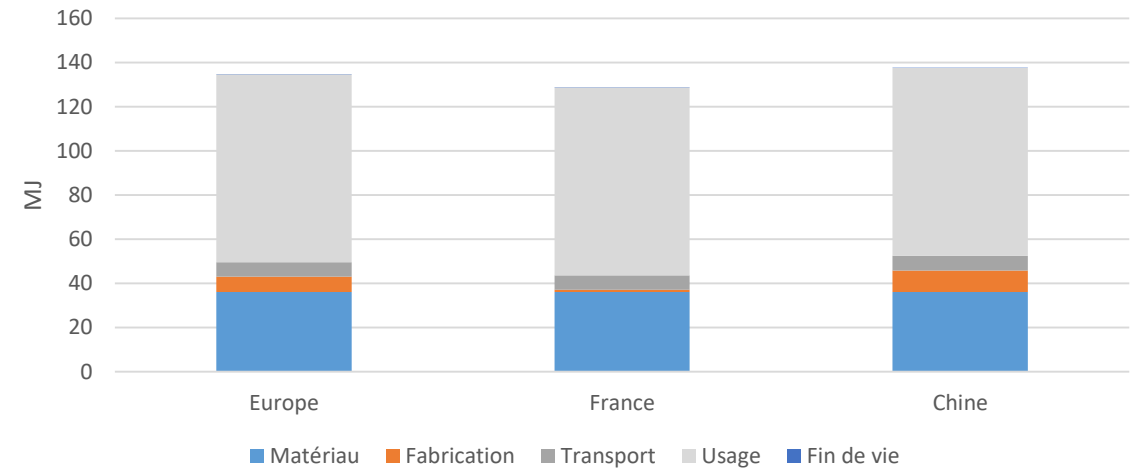
Exercice d'application

Alu

Energie 200k km Europe/France/Chine



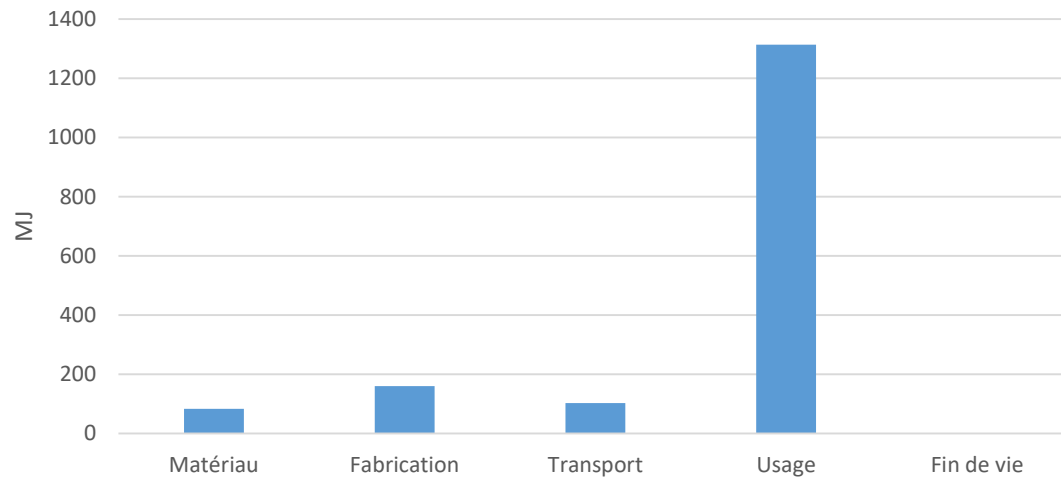
Energie 200k km Europe/France/Chine



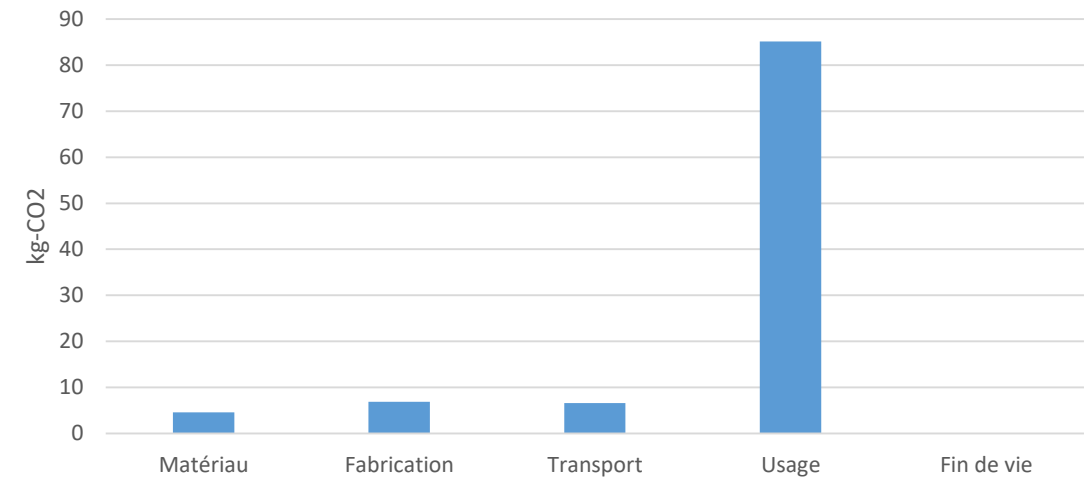
Exercice d'application

Alu recyclé

Energie Acier 200k km (Europe)



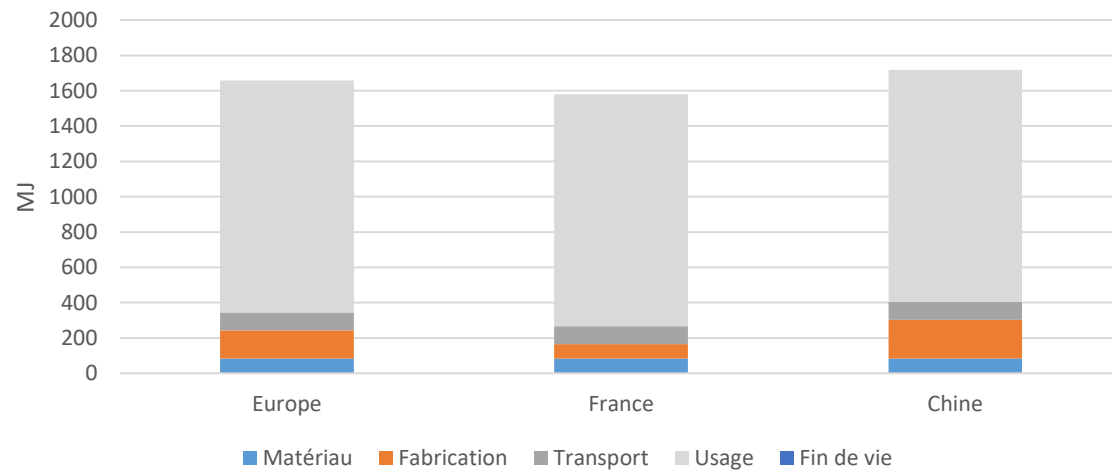
Eq CO2 200k km Alu-R (Europe)



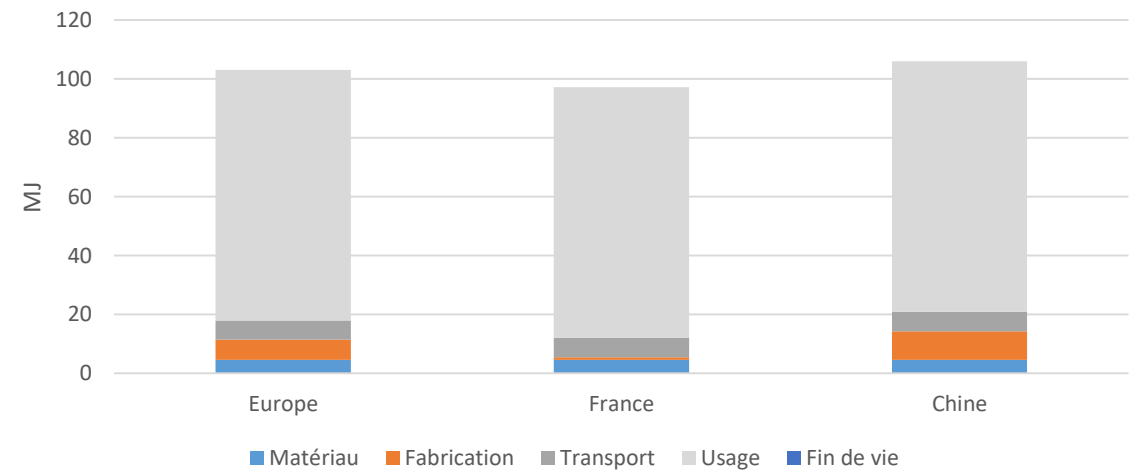
Exercice d'application

Alu recyclé

Energie 200k km Europe/France/Chine



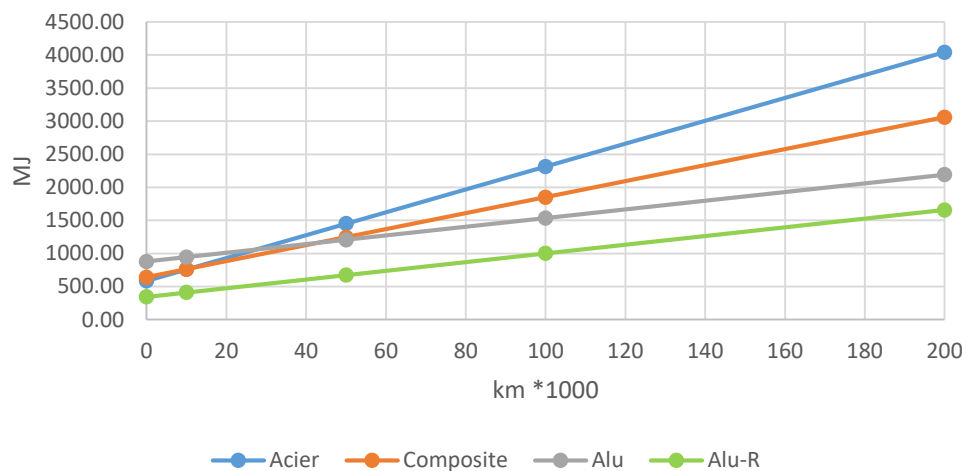
CO2 200k km Europe/France/Chine



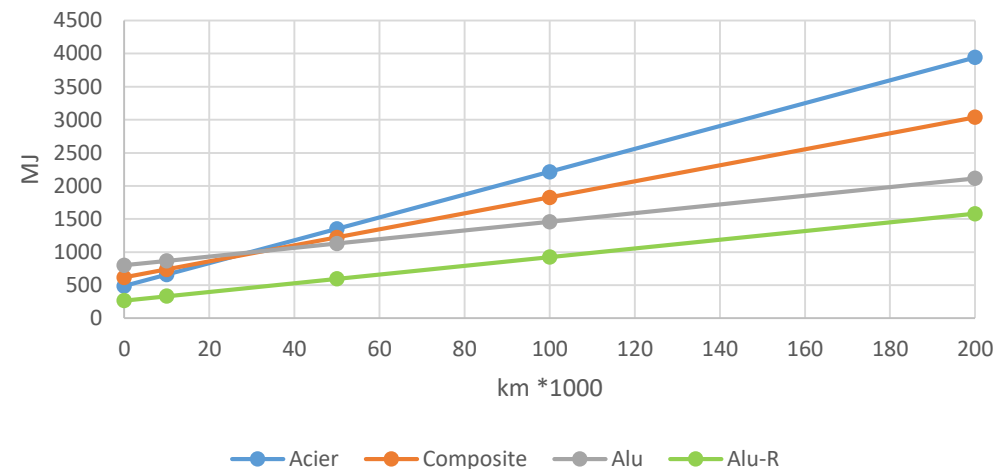
Exercice d'application

Comparaisons

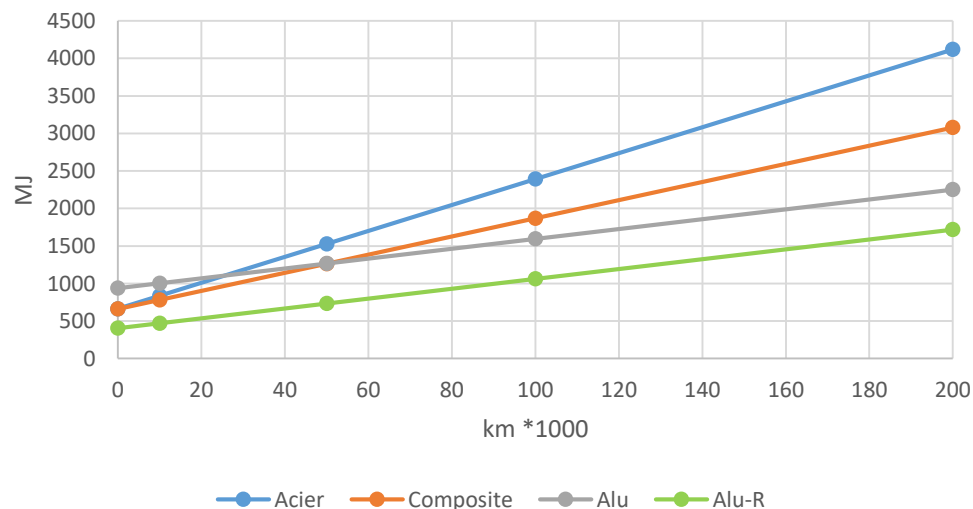
Energie vs Usage Europe



Energie vs Usage France



Energie vs Usage Chine

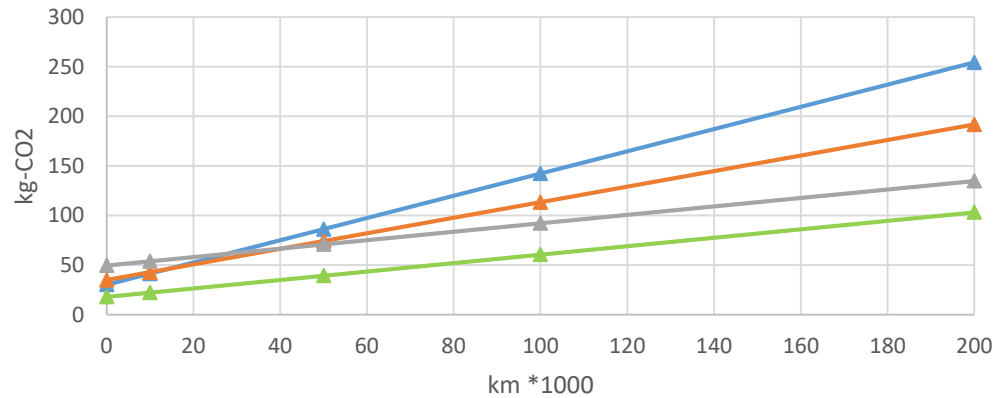


- **Alu recyclé plus performant sur toute la durée de vie**
- **Impact de Fabrication plus important pour l'aluminium et l'acier**
- **Alu et Acier plus impacté par une fabrication plus énergivore**

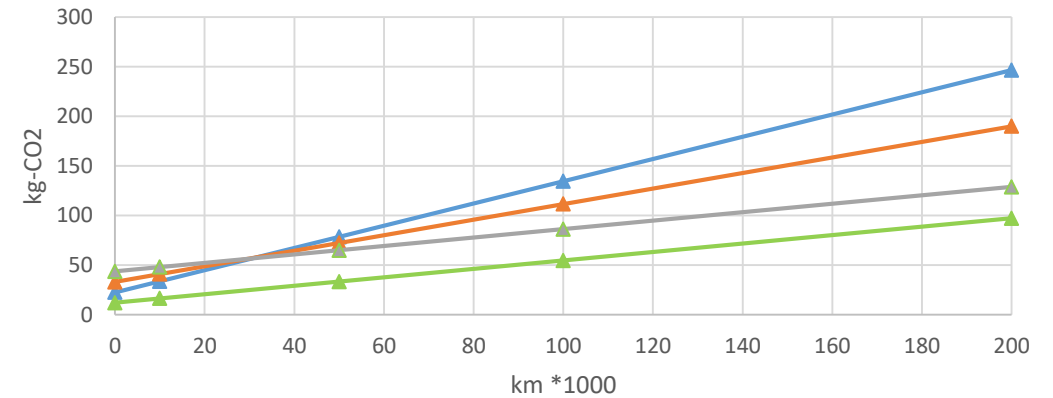
Exercice d'application

Comparaisons

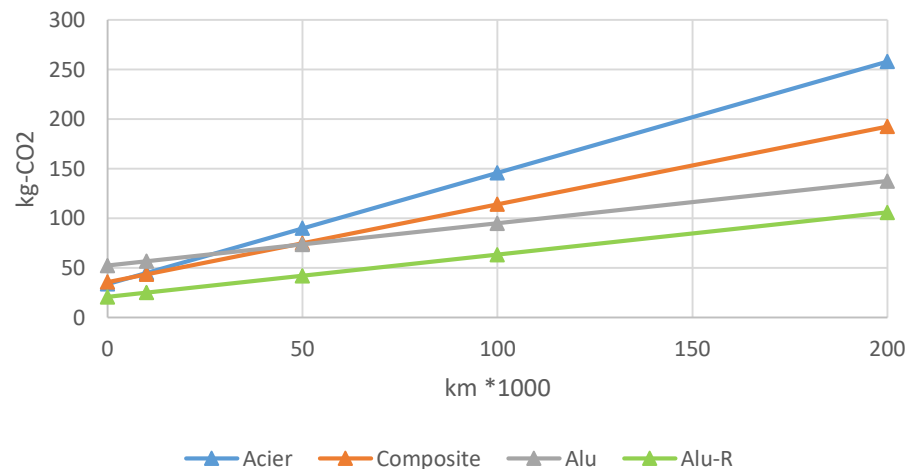
eq-CO2 vs usage (Europe)



eq-CO2 vs usage (France)



eq-CO2 vs usage (Chine)



- **Tendance quasi identiques qu'avec les observations énergétiques**
- **A partir de 31k km (au pire) le composite est moins impactant que l'acier**
- **A partir de 50k km (au pire) l'aluminium est moins impactant que le composite**

Conclusion

- **ACV outil multicritère permettant d'éviter le transfert de pollution**
- **Aide à la décision**
- **Importance de prioriser les actions (ex gobelet)**
- **Le choix de l'UF et des limites du systèmes sont déterminants**
- **L'impact de la fabrication d'un produit est liée à l'efficacité de la production**
- **Plus la phase d'usage est prépondérante plus une minimisation de masse sera impactante**