



Haute école d'ingénierie et d'architecture Fribourg
Hochschule für Technik und Architektur Freiburg

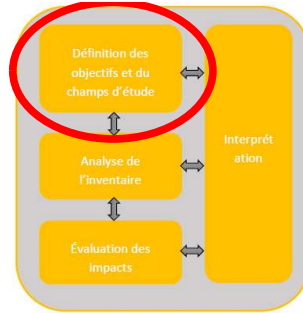
ACV : Etude de cas Liebherr Machines Bulle

Contexte – Etude ACV – Définition du cadre

Contexte : Approche de Conception «Classique» avec des indicateurs décisionnaire «Cout, Qualité» Conception et Production des moteurs diesel et gaz, des systèmes d'injection ainsi que des composants hydrauliques et des caisses de transfert de pompes

Objectifs :

1. Faire «découvrir» la démarche d'Eco-conception dans la démarche «classique» de conception des nouveaux produits «motorisation» au plus prêt des «Concepteurs»
2. «Quantifier et identifier» les pistes potentielles d'améliorations «environnemental» d'un cas concret D966 H Diesel
3. «Comparaison» pour cette motorisation du cas «Diesel» et «Hydrogène»



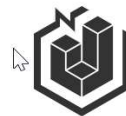
Contexte – Etude ACV - Définition du cadre

Comment ?

1. Au travers d'un projet d'étudiant de 2^{ème} Année INP Grenoble – durée 6 mois /2020
2. Avec le logiciel Ecodesign Studio de la société Altermaker <https://altermaker.fr/>



Altermaker



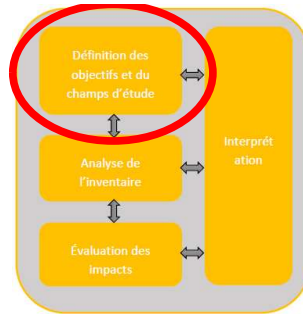
ECODESIGN STUDIO
by Altermaker

La solution logicielle pour vos projets
d'ACV et d'éco-conception

La boîte à outils la plus complète pour connaître et
améliorer la performance environnementale de vos
produits

Base IMPACTS® 2.01

Base FD E01-008
(spécialisation
Mécanique)



Haute école d'ingénierie et d'architecture Fribourg
Hochschule für Technik und Architektur Freiburg

Contexte – Etude ACV - Définition du cadre

Objet de l'étude ?

→ Nouveau développement d'un moteur Diesel 6 Cylindres pour une application ferroviaire

D966

Moteur diesel



Configuration
Nombre de cylindres
Cylindrée
Puissance nominale
Couple max.
Valeurs d'émissions

Moteur en ligne

6

13,5 l

300 - 450 kW

2 800 Nm

EPA Tier 0 (Consommation de carburant optimisée) / EPA Tier 4f / EU Stage IIIA / EU Stage V

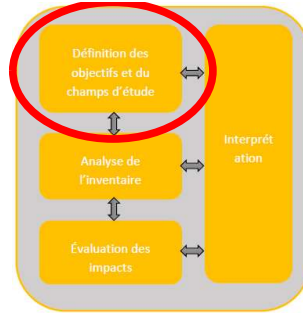
Nouveau

VOITH

RailPacks



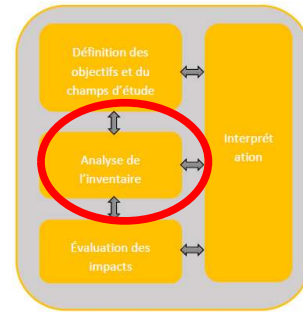
<https://www.liebherr.com/en/usa/latest-news/news-press-releases/detail/premiere-at-innotrans-2018-voith-and-liebherr-unveil-their-brand-new-%CB%AEvoith-rail-engine%E2%80%9D.html>



Functional Unit :

“To provide traction energy for 10 years with an average of 4,000 h/year on a 'TecRec 100 Suburban' type journey with a maximum output of 450 kW at a load factor of between 25 and 40 %, operating in Germany with a STAGE V emission standard.”

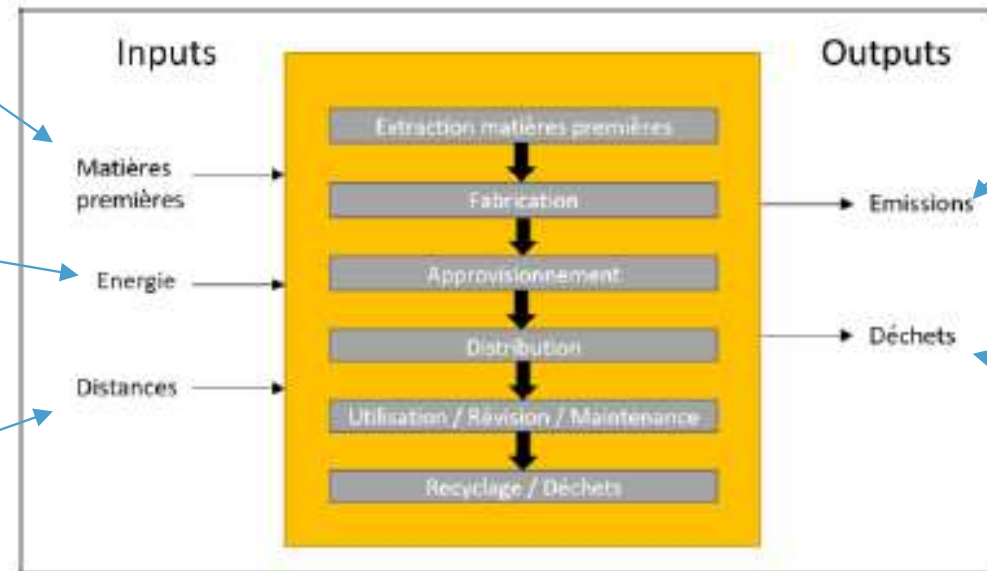
Contexte – Etude ACV – Analyse de l'inventaire



«Bill Of materials» du moteur (Dept BE)

Mesures «terrains» (Dept Production & Montage)

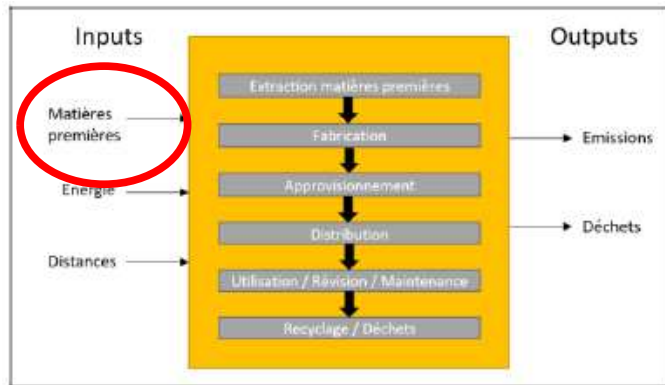
Supply chain (Dept Achat)



Mesures «terrains» (Dept Production & Montage)

Mesures «terrains» (Dept Production & Montage)

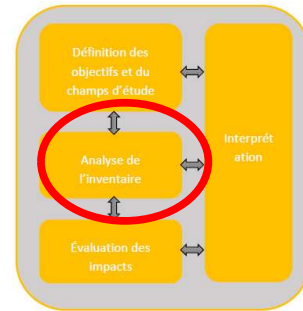
Contexte – Etude ACV – Analyse de l'inventaire



Bill of Materials D966 H : plus de 1300 pièces

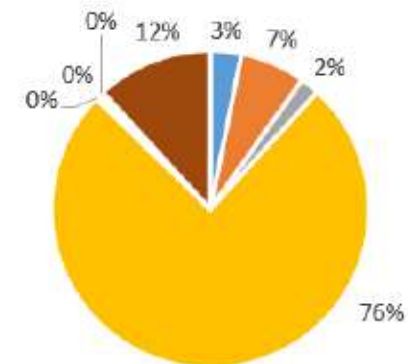
Hypothèses matières :

- Si matériaux/processus non présent dans FD E01-008 (< 5% en poids des pièces) -> étude de sensibilité – Maximisant/Minimisant avec Maximisant retenu



→ Répartitions par masse/typologie de pièces :

Répartition des masses par groupe de pièces



■ Visserie

■ Quincaillerie

■ Conduite

■ Fonderie

■ Joint

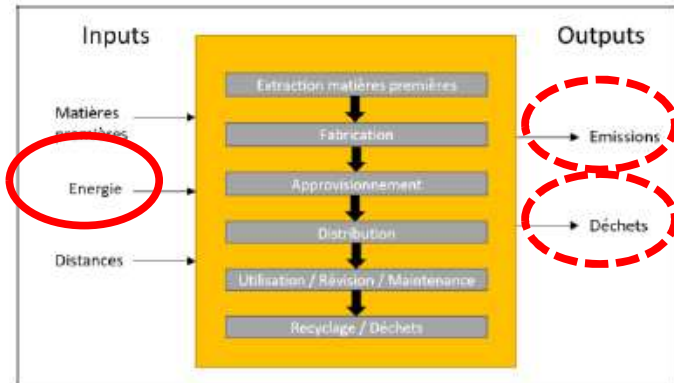
■ Electronique

■ Plastique

■ Pièces assemblées

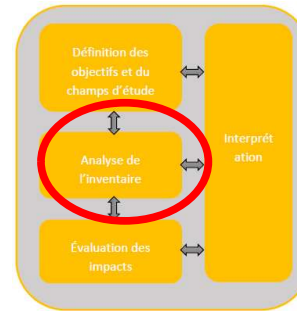
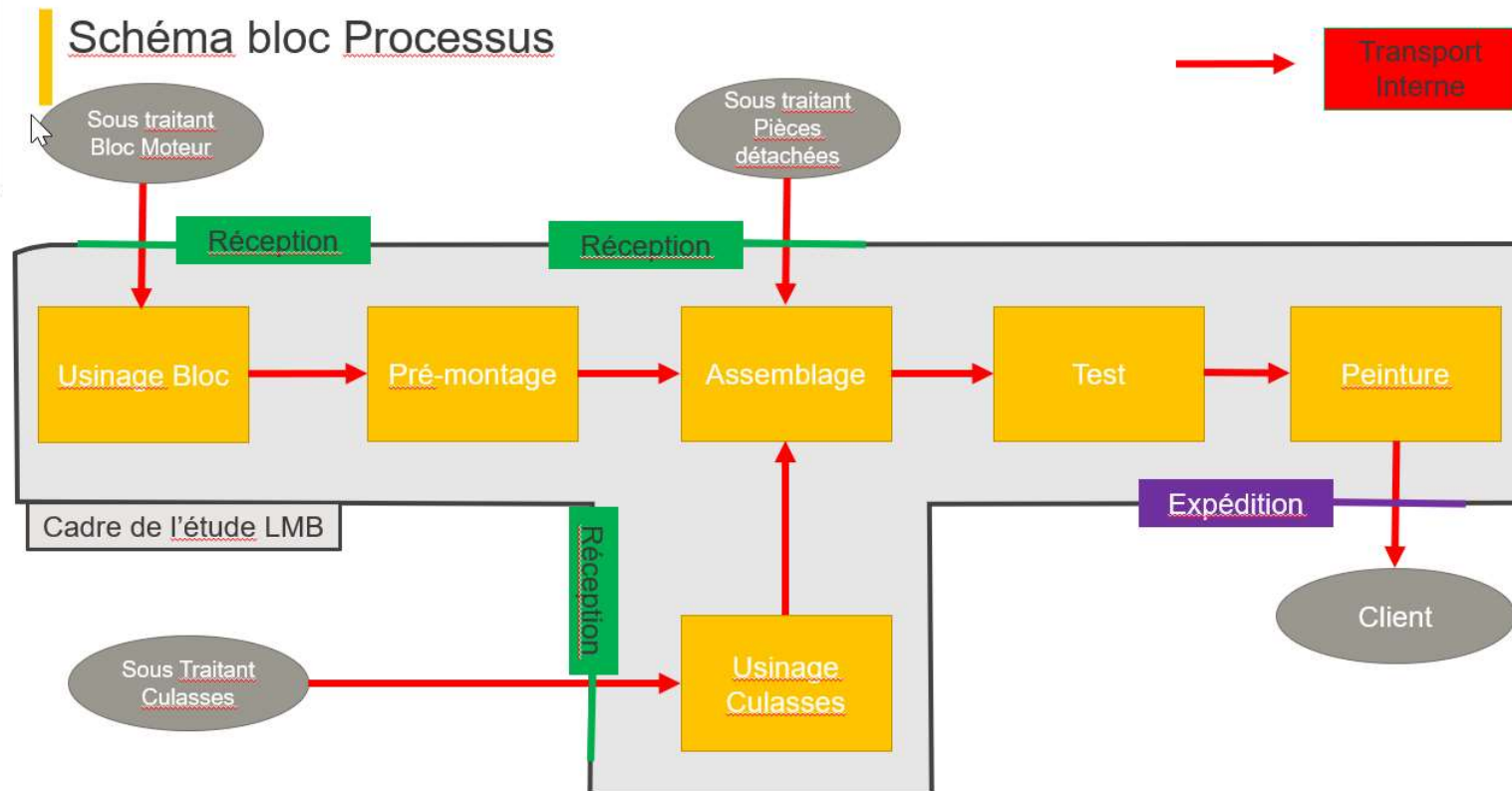


Contexte – Etude ACV – Analyse de l'inventaire

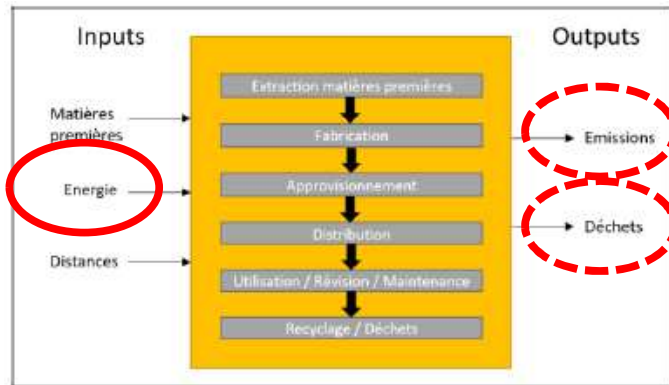


→ Bilan réalisé au travers d'une analyse VSM (Value Stream Mapping) Energie/déchets

Schéma bloc Processus



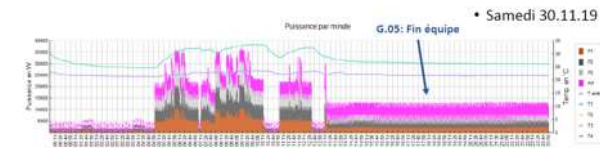
Contexte – Etude ACV – Analyse de l'inventaire



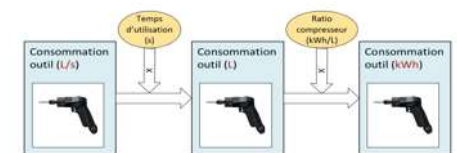
Méthodes de Mesure

ENERGIE

- Usinage Bloc → Capteur E2PME
- Usinage Culasses → Capteur E2PME

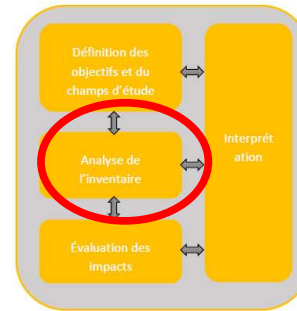


- Assemblage → Fiches techniques + Temps d'utilisation
- Pré-Montage → Fiches technique+ Temps d'utilisation
- Transport → Fiches techniques + Temps d'utilisation
- Peinture → Estimatif conso avec puissance absorbée

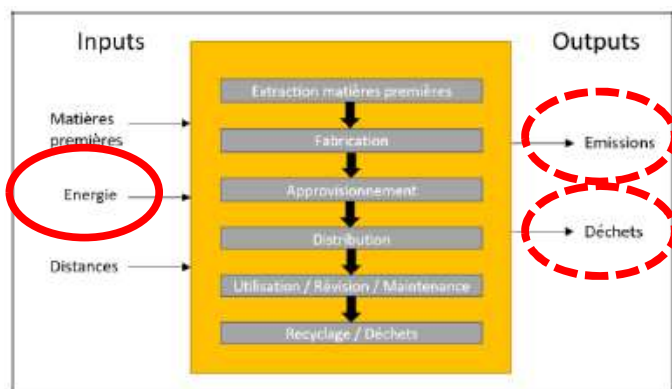
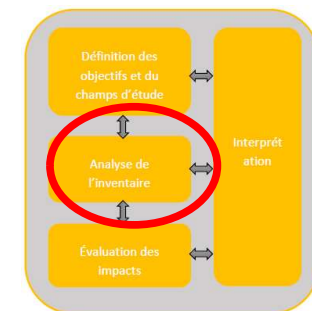


DECHETS

- Assemblage → pesée
- Usinage → ratio par rapport au nombre total de moteur de la halle d'usinage
- Test (émissions) → calcul par rapport au cycle d'homologation

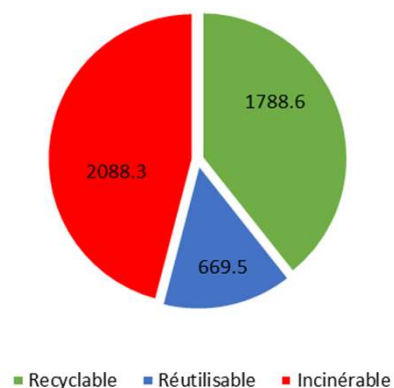


Contexte – Etude ACV – Analyse de l'inventaire

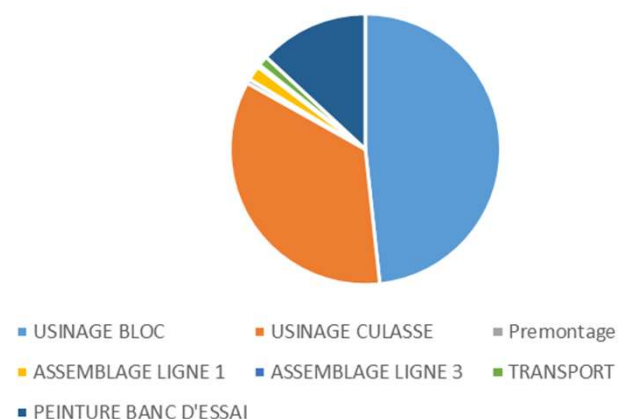


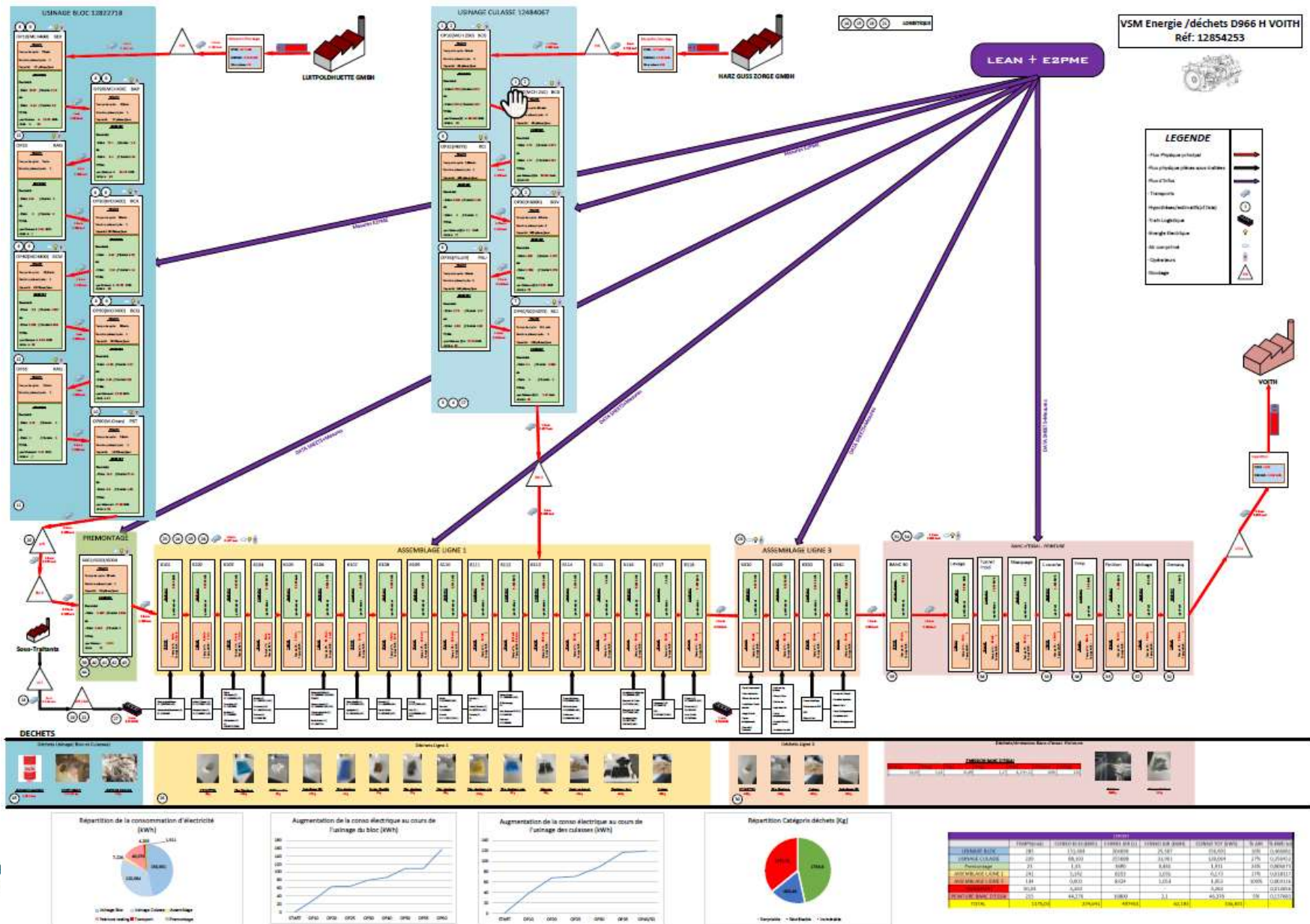
D966H							
	TEMPS(min)	CONSO ELEC(kWh)	CONSO AIR (L)	CONSO AIR (kWh)	CONSO TOT (kWh)	% AIR	% kWh tot
USINAGE BLOC	283	140,0	248800	31,1	171,1	18%	48%
USINAGE CULASSE	229	89,3	272488	34,1	123,4	28%	35%
Premontage	23	1,5	3690	0,5	1,9	24%	1%
ASSEMBLAGE LIGNE 1	241	5,1	8253	1,0	6,2	17%	2%
ASSEMBLAGE LIGNE 3	134	0,0	8324	1,1	1,1	100%	0%
TRANSPORT	50	4,3	-	-	4,3	-	1%
PEINTURE BANC D'ESSAI	215	44,3	16800	2,1	46,4	5%	13%
TOTAL	1175	284,4	558355	69,8	354,2	18%	-

Répartition Catégoris déchets (Kg)

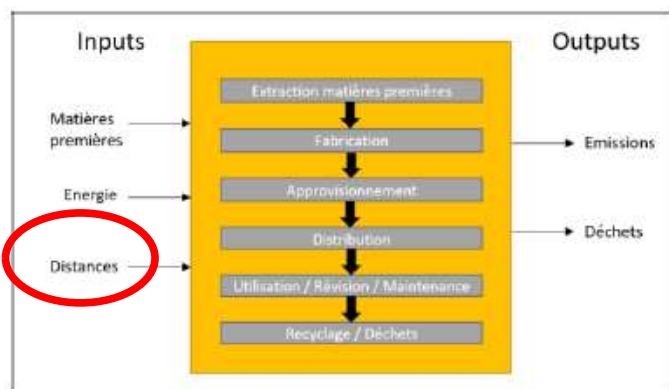
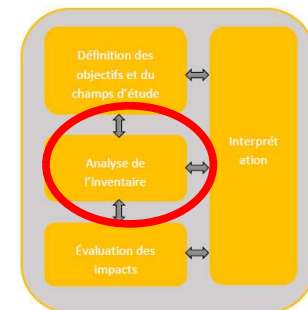


Repartition consommation d'énergie





Contexte – Etude ACV – Analyse de l'inventaire



Origine des articles du moteur D966H :

- **Provenance 49% des articles : Allemagne**
- **Provenance 20% des articles : Suisse**
- **Provenance 11% des articles : Italie**
- **Provenance 4% des articles : France**
- **Provenance 3% des articles : Chine**
- **Provenance 2% des articles : Grande Bretagne**
- **Provenance 2% des articles : Slovaquie et Pologne**
- **Provenance entre 0 et 1% des articles : Hongrie, Inde, Argentine, Suède, Turquie, Indonésie, Qatar, Brésil, Estonie, Singapour, Vietnam, Rep Tchèque, USA, Espagne.**

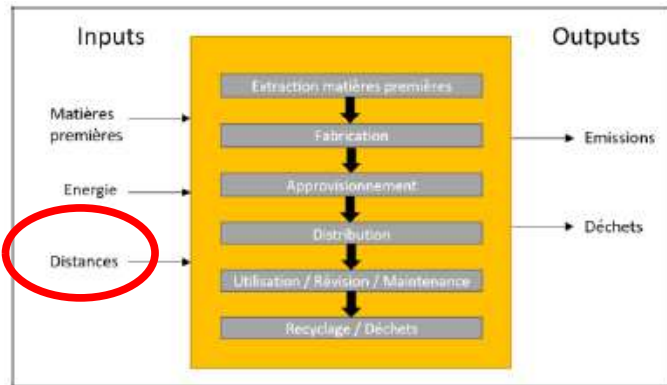
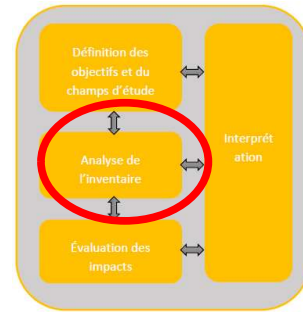


Trajets Complexes :

- **Trajets principalement en bateau**
- **Trajets principalement en camion**



Contexte – Etude ACV – Analyse de l'inventaire



Hypothèses :

Trajet routier (phases approvisionnement, expédition moteur, expédition railpack, remanufacturing) :

- Choix itinéraires direct le plus court
(<https://www.autoroutes.fr/fr/itineraires.htm>)

Trajet maritime :

- Choix itinéraires direct le plus court
(<https://www.autoroutes.fr/fr/itineraires.htm>)



Contexte – Etude ACV – Analyse de l'inventaire

Exemple Trajet Brésil-Suisse pour le vilebrequin:

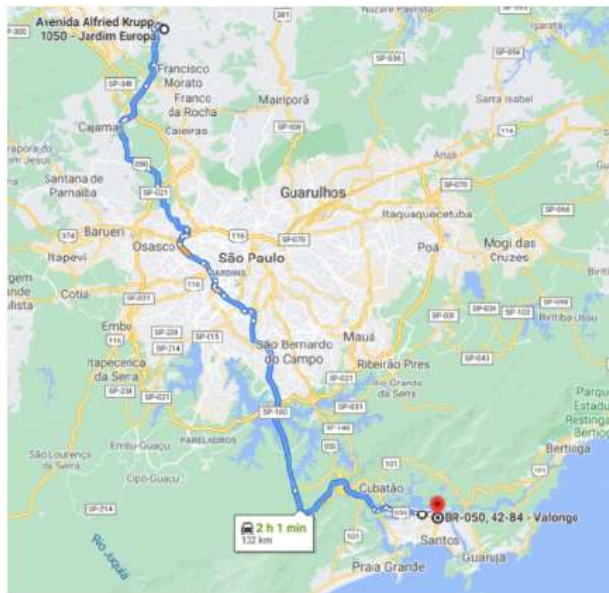
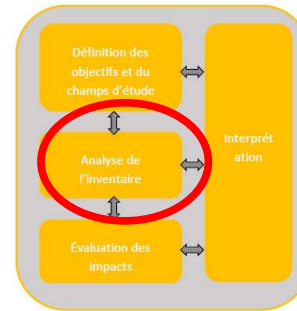


Figure 2 : Trajet Thyssenkrup - Port de Santos (132km) _ Google Map



Figure 3 : Trajet Port de Santos - Gènes (10388 km) _ Google Earth

➤ DÉPART 1630 Bulle, Suisse
➤ ARRIVÉEaeroporto di genova
➤ Modifier la recherche
➤ Calculer l'itinéraire retour

Distance : 411.38km dont 82.91 km sur autoroutes
Temps : 10H59
Impact trafic : +00H00
Coût estimé : 49.15 EUR
Péage 0 EUR | Carburant 49.15 EUR

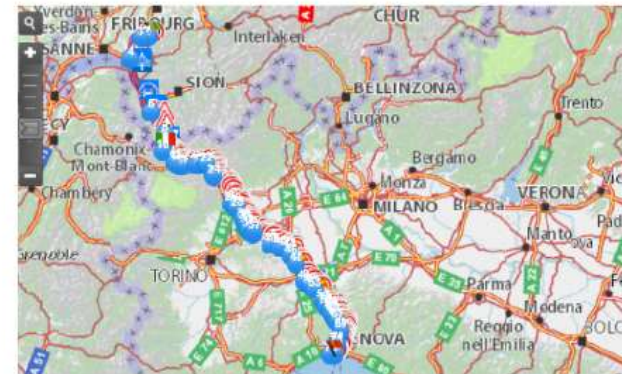
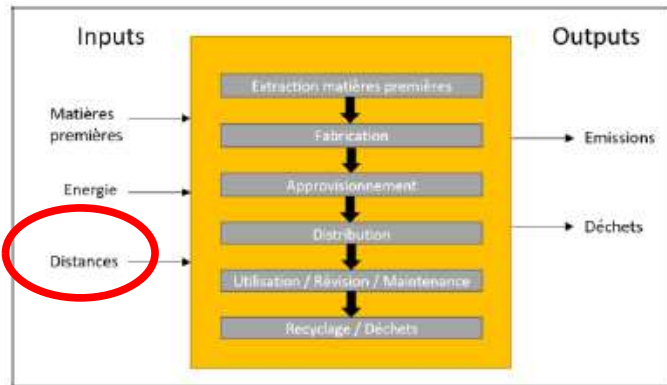
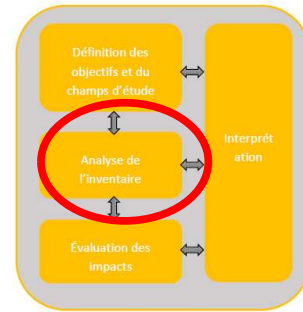


Figure 4 Trajet Gène-Bulle (411 km) _ site ASFA

<https://www.autoroutes.fr/fr/itineraires.htm>

Contexte – Etude ACV – Analyse de l'inventaire



Hypothèses :

Trajet routier :

- Choix itinéraires direct le plus court (<https://www.autoroutes.fr/fr/itineraires.htm>)

Trajet maritime :

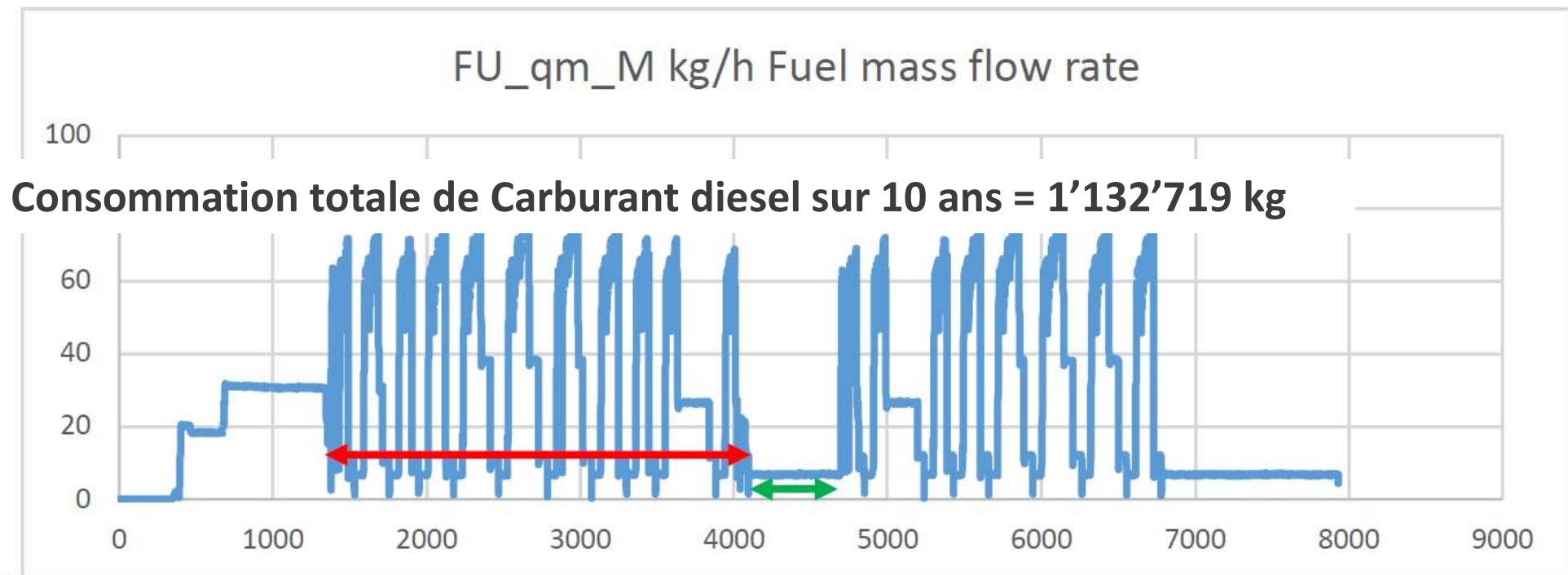
- Choix itinéraires direct le plus court (<https://www.autoroutes.fr/fr/itineraires.htm>)



Contexte – Etude ACV – Analyse de l'inventaire - Utilisation

« Apporter l'énergie de traction pendant 10 ans avec une moyenne de 4 000 h/an sur un trajet de type 'TecRec 100 Suburban' et avec une puissance maximale de 450 kW pour un facteur de charge compris entre 25 et 40 %, circulant en Allemagne muni d'une Norme anti-pollution STAGE V. »

Evolution de la quantité de carburant Diesel consommée (en Kg/h) au cours du temps (en sec)



Contexte – Etude ACV – Analyse de l’inventaire – Maintenance

Pièces changées :
Courroie striée (3000 h)
Transmission par courroie (6000 h)
Clapet visqueux (10 000 h) 
<i>Huile moteur</i> et filtre à huile (1500 h)
Cartouche filtrante du séparateur d'huile (3000 h)
<i>Liquide de refroidissement</i> (6000 h)
Préfiltre à carburant (1500 h)
Filtre fin du carburant (1500 h)



Contexte – Etude ACV – Analyse de l’inventaire – Maintenance

MAINTENANCE (Toutes les 1500h)

Hypothèses : Huile

« Seulement 50 L sur les 56 seront changées toutes les 1500h »

Calcul sur 40 000h : $40\,000 / 1500 = 26.667$

Soit $50\text{ L} * 26 = 1300\text{ L}$ d’huiles = **1111.5 kg** d’huile en considérant une densité de 0,855 kg/L.

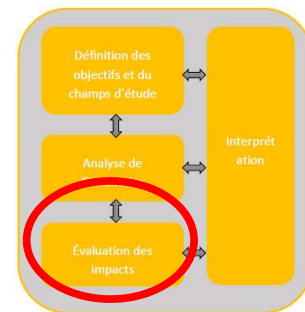
Hypothèses : Liquide de refroidissement

Calcul sur 40 000h : $40\,000 / 6000 = 6.667$

Soit $22.9\text{ L} * 6 = 137.4\text{ L}$ d’eau = **147.568 kg** de liquide de refroidissement pour une densité de 1.074 kg/L
(Densité à 20 °C DIN 51 757/4 env. 1,074 g/cm³).



Contexte – Etude ACV – Evaluation des Impacts - Diesel

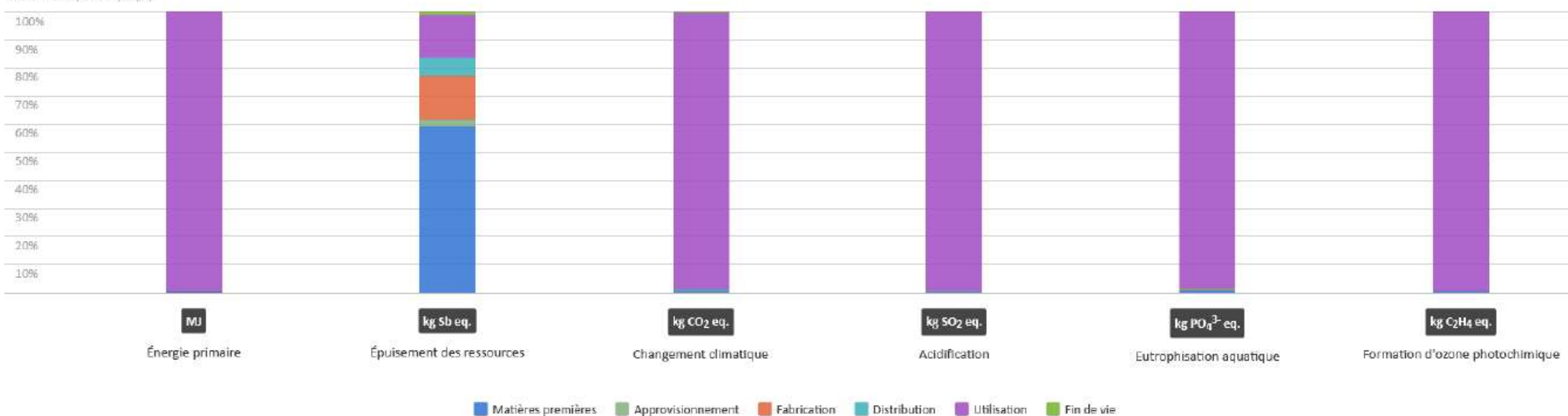


Répartition des impacts par phase du Cycle de Vie (Produit)

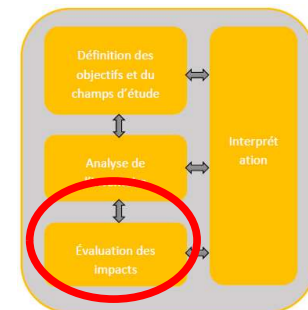
CARACTERISATION

NORMALISATION

Jour d'un européen moyen (jet)



Contexte – Etude ACV – Evaluation des Impacts - Diesel

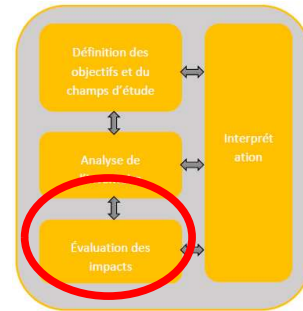


Catégorie d'impacts	Énergie primaire		Épuisement des ressources		Changement climatique		Acidification		Eutrophisation aquatique		Formation d'ozone photochimique	
Phases / Unité	(MJ)	%	(kg Sb eq.)	%	(kg CO ₂ eq.)	%	(kg SO ₂ eq.)	%	(kg PO ₄ ³⁻ eq.)	%	(kg C ₂ H ₄ eq.)	%
Matières premières	8,30E+04	0,13	3,92E+01	59,42	5,38E+03	0,15	2,73E+01	0,41	9,13E+00	1,05	2,26E+00	0,57
Approvisionnement	3,16E+03	0,00	1,34E+00	2,03	1,91E+02	0,01	1,29E+00	0,02	1,83E-01	0,02	4,11E-02	0,01
Fabrication	2,83E+04	0,04	1,04E+01	15,76	1,30E+03	0,04	6,09E+00	0,09	3,28E+00	0,38	3,21E-01	0,08
Distribution	1,01E+04	0,02	4,26E+00	6,46	6,05E+02	0,02	2,31E+00	0,04	4,66E-01	0,05	7,36E-02	0,02
Utilisation	6,55E+07	99,81	1,02E+01	15,45	3,57E+06	99,77	6,57E+03	99,43	8,59E+02	98,46	3,94E+02	99,30
Fin de vie	1,47E+03	0,00	5,88E-01	0,89	6,28E+02	0,02	5,22E-01	0,01	3,47E-01	0,04	7,39E-02	0,02
Total	6,56E+07	100,00	6,60E+01	100	3,58E+06	100	6,61E+03	100	8,72E+02	100	3,97E+02	100

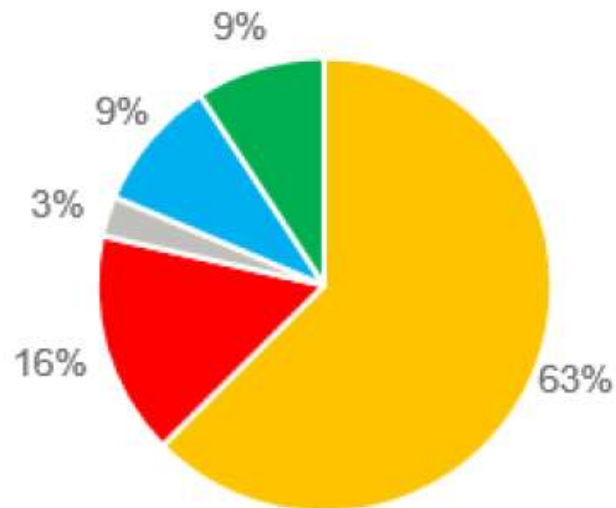
Figure 16 : Tableau récapitulatif quantifiant les impacts de chaque phase de vie du moteur

Contexte – Etude ACV – Evaluation des Impacts - Diesel

Sans phase utilisation :



Changement climatique : kg CO2 eq.



■ Matières premières ■ Fabrication ■ Approvisionnement ■ Distribution ■ Fin de vie



Contexte – Etude ACV – Interprétation

Sans phase utilisation :

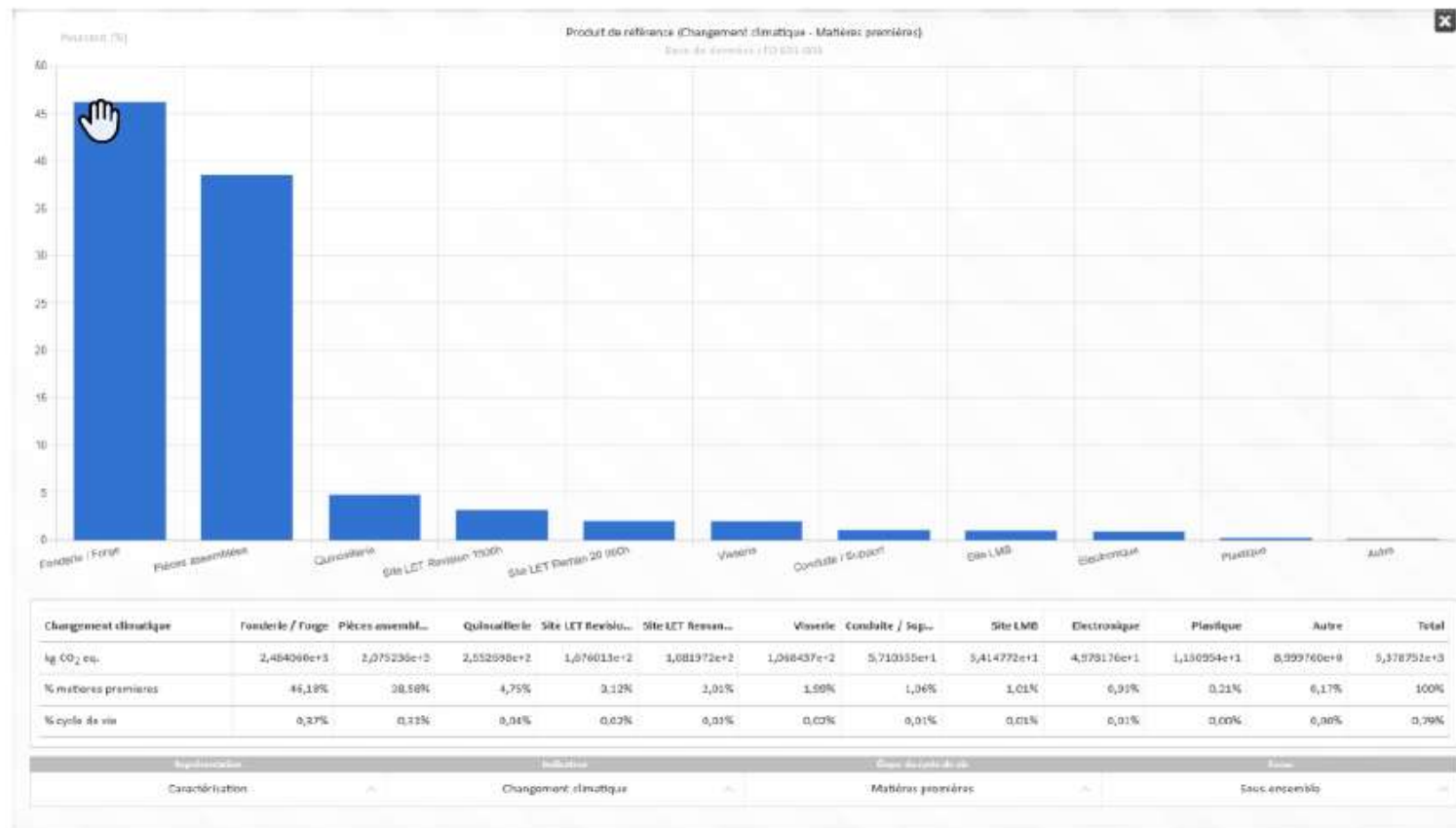
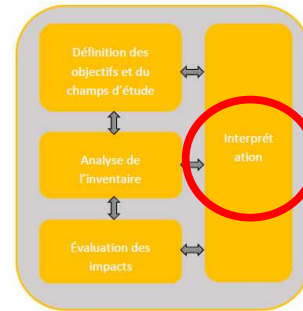
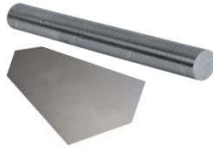


Figure 20 : Graphique comparant les émissions de CO₂ et l'impact sur le réchauffement climatique des différents groupes de pièces du moteur

Contexte – Etude ACV – Interprétation



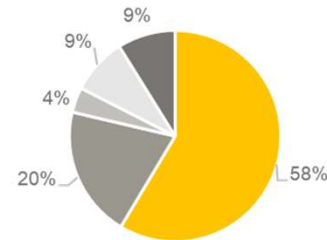
Aluminium



Steel



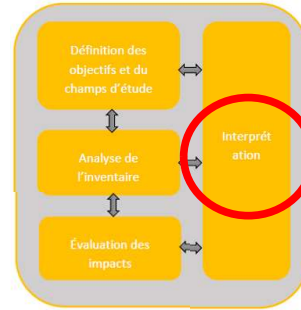
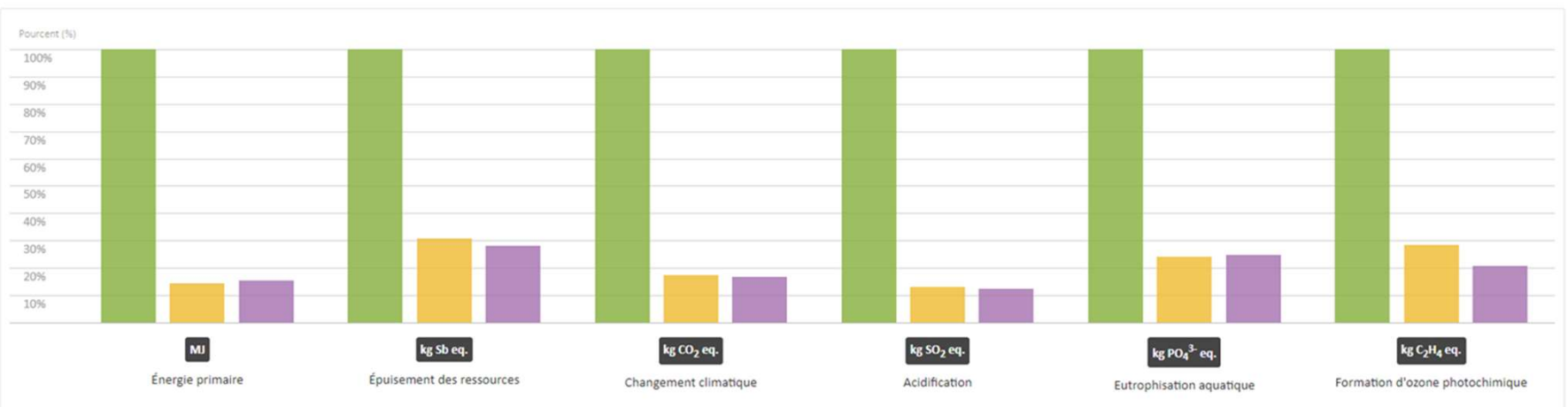
Changement climatique (kg CO₂ eq.)



- -2%
- -300 kg de CO₂

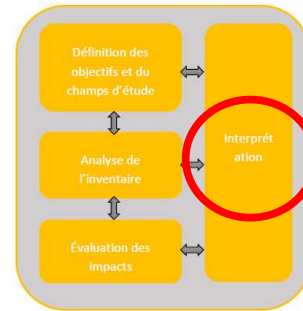
■ Matières premières ■ Fabrication ■ Approvisionnement

Aluminium de fonderie (AlSi10Mg) - Lingot	Fonte de seconde fusion	Acier faiblement allié - Tôle
84 kg	118.2 kg	84 kg

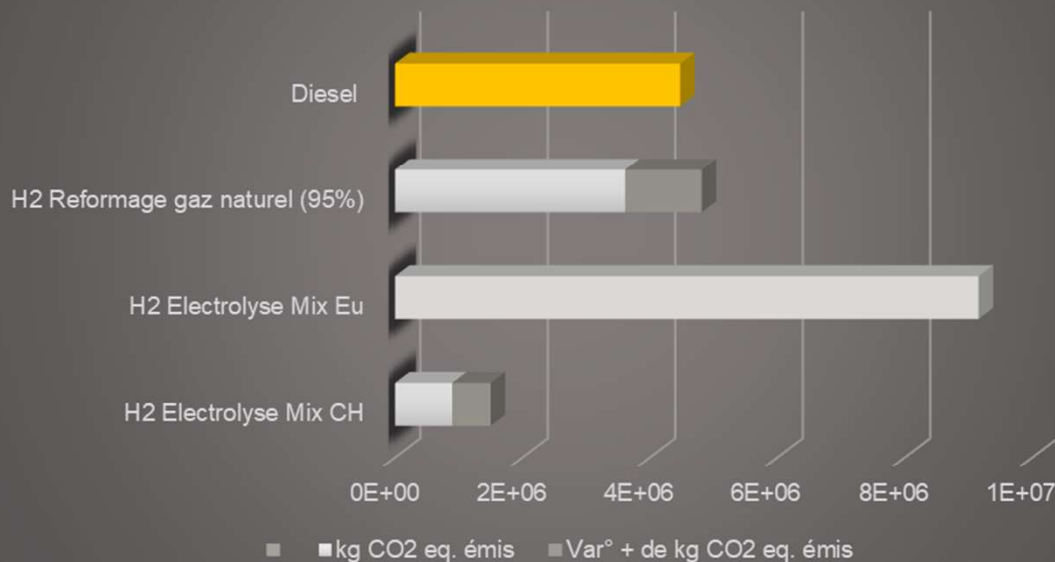


Contexte – Etude ACV – Interprétation

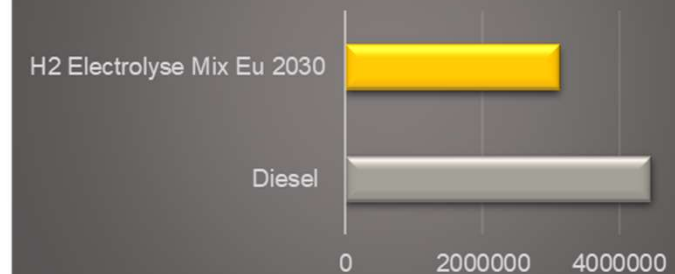
Changement de vecteurs énergétiques



Comparison of GHG impact on different engines (UF)



Comparison of GHG in 2030



*0,15 kg CO2 eq / kWh
Portion of renewable: 32 %*

<https://www.techniques-ingenieur.fr/actualite/articles/sept-pays-menacent-les-objectifs-climatiques-de-lue-85641/#:~:text=Divis%C3%A9e%20par%20deux%2C%20la%20production,kWh%20et%20425%20gCO2%2FkWh.>

Conclusions

Projet pilote

Importance de déployer la démarche au prôt du «terrain de la conception»
(sensibilisation, formation, accompagnement autour d'une démarche structurée
appuyé par des outils «accessibles»

Nécessité d'un soutien et engagement fort du Top Management afin de sortir de
l'approche classique Cout/Fonction → Cout/Fonction/impact

Notion de valeur : Satisfaction des besoins / couts-consommation des ressources