

# Optimisation énergétique de machine-outil

## Exemple concret : Liebherr Machines Bulles SA

**Daniel Wirz:** Responsable du service technique et de la sécurité (Liebherr Machines Bulle SA)

**Joël Clerc:** Chef de projet énergie (Liebherr Machines Bulle SA)

**Yannick Riesen :** Responsable du pôle monitoring énergétique (Planair SA/AEnEC)

**Patrick Reusser:** Chef de projet optimisation énergétique – spécialiste machines-outils et usinage (Planair SA/AEnEC)

# Factsheet : le groupe d'entreprises en bref (2022)



# 1949

Fondation par  
Dr.-Ing. E.h. Hans Liebherr à  
Kirchdorf a.d. Iller  
(Allemagne)

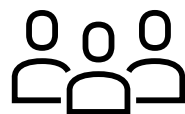


société faîtière :  
**Liebherr-International AG**  
Bulle (Suisse)

**Liebherr est une  
entreprise familiale,  
entreprise  
technologique**

# 13

Segments de produits



# 51.321

Collaborateurs /Collaboratrices

# 40

Sites de production Sites de  
productions



# 12.589

M€ Chiffre d'affaires (CA)

# >140

les sociétés / Entreprises







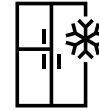
# Une diversification marquée et structures décentralisées



Machines de terrassement



Technique du béton



Réfrigérateurs et congélateurs



Mining



Grues maritimes



Composants



Grues mobiles et sur chenilles



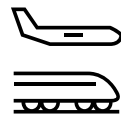
Machines de génie civil spécialisé



Hôtels



Grues à tour



Aérospatiale et ingénierie des transports



Machines de manutention de matériaux



Technologie des engrenages et systèmes d'automatisation

- 
- Sur le plan organisationnel, **l'entreprise technologique** est divisée en divisions indépendantes.
  - Les sociétés de production, de distribution et de service des 13 segments de produits sont placées sous la direction opérationnelle des sociétés mères des divisions.

Le groupe Liebherr

# Orientation vers l'avenir



**Esprit pionnier**



**Recherche**



**Créer des tendances**



**Investissements annuels  
ø 700 millions d'EUR**



# Une entreprise familiale 100 % indépendante



**LIEBHERR**

# Nos valeurs fondamentales

Nous  
sommes  
indépendant

La clé de notre succès  
sont nos collaborateurs  
          

Nous sommes un  
un partenaire fiable  
          

La plus haute qualité,  
dans tout ce que nous  
faisons

Nous  
sommes  
innovant

Nous portons une  
responsabilité  
Responsabilité



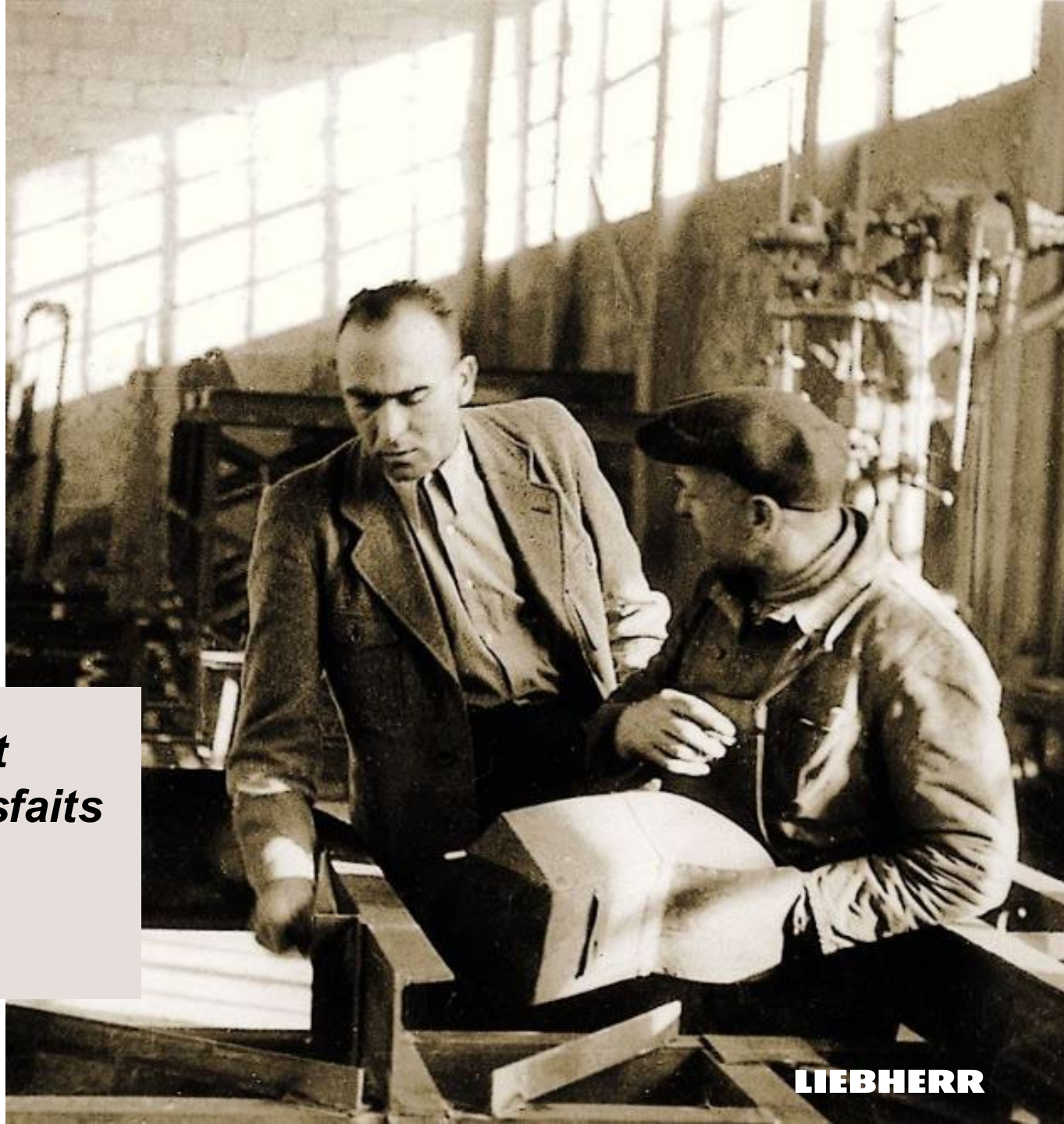
Entrepreneur pionnier et visionnaire

## Le fondateur de l'entreprise Hans Liebherr

- 1er avril 1915 - 7 octobre 1993
- Formation de maître d'œuvre
- Développeur de nombreux produits d'avenir

***"Ce n'est que lorsque nos clients et partenaires commerciaux sont satisfaits que nous pouvons l'être aussi".***

– Hans Liebherr



**LIEBHERR**



# **Chronologie du groupe d'entreprises 1949 - 2020**

---

## L'entreprise : les années 50

**1950**

1960

1970

1980

1990

2000

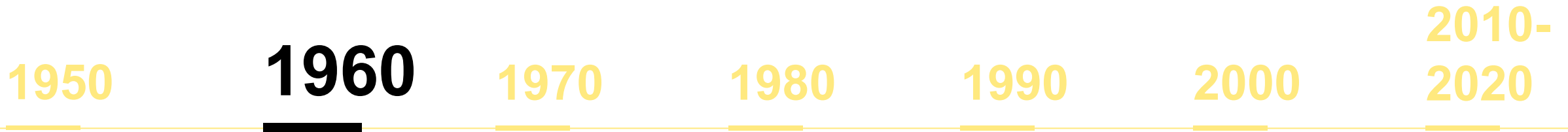
2010-  
2020

### La première pierre d'un groupe international d'entreprises



- Invention de la première grue à tour mobile (TK10) en 1949, pierre angulaire du groupe.
- Premiers succès : 160 grues vendues, 110 collaborateurs et 1,13 million d'euros de chiffre d'affaires (1950)
- Extension de la gamme de produits - des machines de construction aux réfrigérateurs en passant par les machines à tailler les engrenages (1952-54)
- Expansion en Irlande et en Afrique du Sud (1958)
- Bilan du 10e exercice : 2 392 employés et 39,4 millions d'euros de chiffre d'affaires

## L'entreprise : les années 60



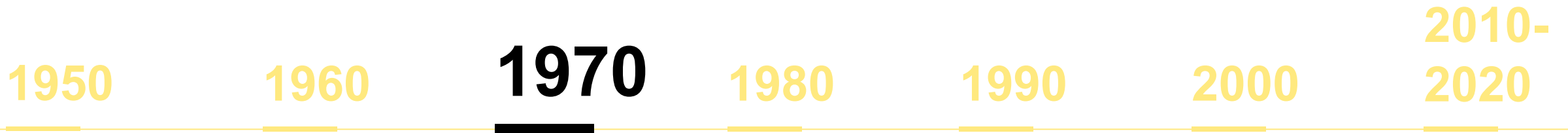
### De nouvelles branches vers de nouveaux sites



- Début des activités aéronautiques (1960)
- Nouvelles usines : Allemagne, Autriche, Suisse, Grande-Bretagne, France
- Nouveaux produits : Grues à montage rapide, grandes pelles hydrauliques, grues mobiles
- 20e exercice : 5 933 employés, 198 millions d'euros de chiffre d'affaires, 20 usines



## L'entreprise : les années 70



### Croissance à travers l'océan



- Liebherr s'établit sur le continent américain aux Etats-Unis, Canada et Brésil (1970-1974)
- Nouvelle expansion en Autriche, en Suisse et en Irlande (1971-80)
- Première grue tout-terrain (1977)
- 30e exercice : 11 136 employés, 870 millions d'euros de chiffre d'affaires et 28 sociétés dans 10 pays

## L'entreprise : les années 80

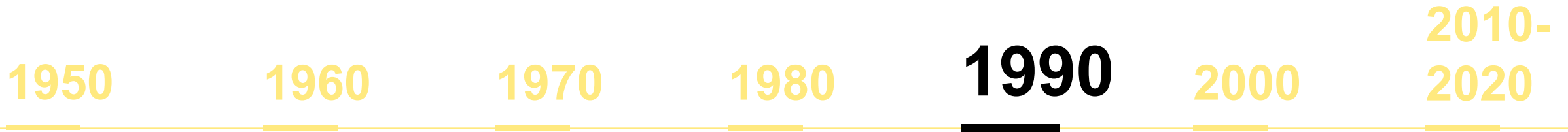


### Expansion et croissance à l'Est



- Nouveaux hôtels : Interalpen-Hotel Tyrol, Hôtel Löwen Schruns
- Expansion au Moyen-Orient, en Asie et en Australie
- 40 ans de machines de construction Liebherr : 14.000 employés et 1,6 milliard d'euros de chiffre d'affaires
- Nouvelle structure de l'entreprise : la Liebherr-International AG en Suisse est placée à la tête de l'entreprise (1983)

## L'entreprise : les années 90



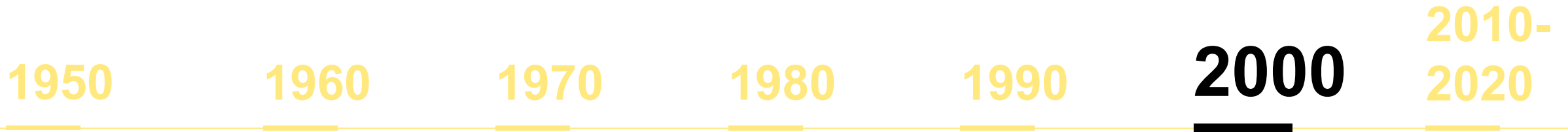
### Changement de génération



- Dr. Ing. E. h. Hans Liebherr décède le 7 octobre 1993
- L'entreprise est désormais dirigée par les frères et sœurs Dr. h.c. Isolde Liebherr et Dr. h.c. (ETH) Willi Liebherr sont à la tête de l'entreprise.
- De nombreuses nouvelles sociétés sont créées, notamment en Chine, Thaïlande, Bulgarie, France, Autriche, Russie, Chili, Suède, Inde et Algérie
- 50 ans de Liebherr : 17.000 employés et 3,1 milliards d'euros de chiffre d'affaires



## L'entreprise : les années 2000



### Des fondations pour l'avenir



- Restructuration du groupe : structure d'entreprise orientée vers les secteurs d'activité  
remplace la forme d'organisation orientée vers les pays (2002-2004)
- Une croissance dynamique : le chiffre d'affaires est plus que doublé (2003-2008)
- Nouveaux sites de production et augmentation de la capacité sur des sites existants
- Extension permanente du réseau de vente et de service dans le monde entier

## L'entreprise : de 2010 à aujourd'hui

1950

1960

1970

1980

1990

2000

2010-  
2020

### Ouvrir la voie à la réussite future



- Site de production de mini-pelles à Colmar (2011)
- La 3e génération d'associés entre dans la direction de l'entreprise (2012 & 2018)
- Livraison de la plus grande grue mobile portuaire du monde (2015)
- Première mondiale : l'A380 vole avec un composant hydraulique imprimé en 3D de Liebherr (2017)
- Liebherr pose les jalons de l'avenir grâce à des technologies modernes : entraînements et commandes de machines alternatifs, Big Data, Predictive Analytics, VR/AR, AI/Robotics, Advanced Materials Technology...



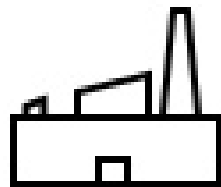




# Liebherr Components Technologies SA

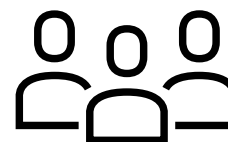
---

# Factsheet Liebherr-Component Technologies AG



**10**

Sites de production



**5 726**

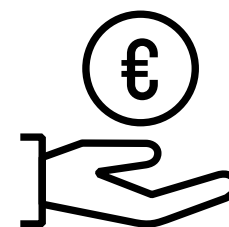
Collaborateurs



**461 millions  
d'euros**

de chiffre

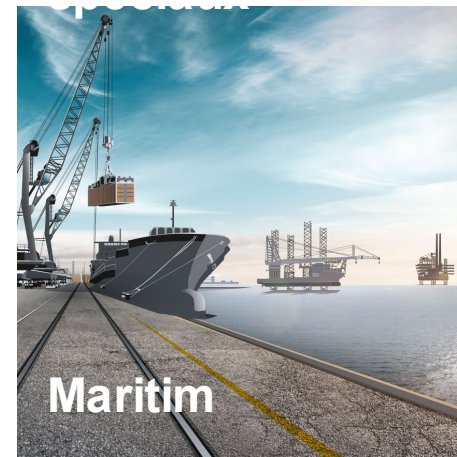
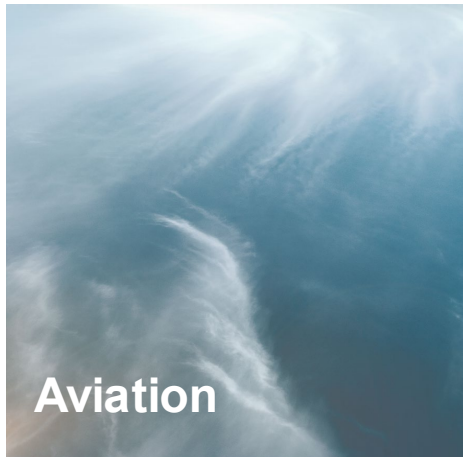
d'affaires externe (2022)



**87 millions d'euros**

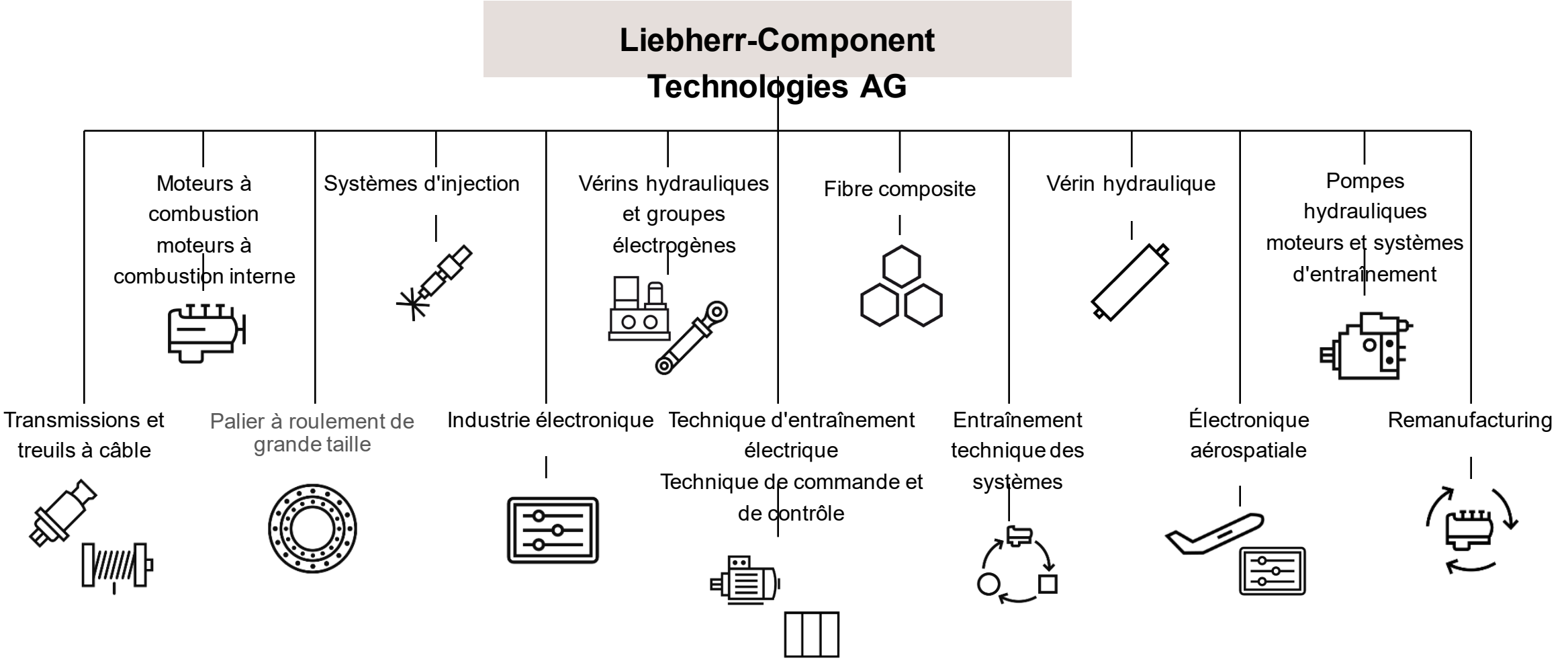
Investissements

# Nos secteurs et applications





# Notre vaste gamme de produits



# Liebherr Machines Bulle SA

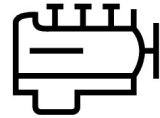


# Factsheet : Liebherr Machines Bulle (2022)



# 1978

Création de



**Secteur d'activité**

**Composants :**

Liebherr-Component Technologies AG,  
Bulle (Suisse)

**Un spécialiste des  
moteurs à combustion  
robustes & de  
l'hydraulique**

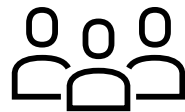
## Segments de produits

Pompes et moteurs hydrauliques Industrie

Pompes et moteurs hydrauliques Aéronautique

Moteurs à combustion

Développement de systèmes CRS



# 1.508

Collaborateurs

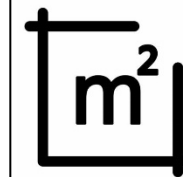
De ça :

- Apprentis : 51
- Stagiaires : 74
- Leasings : 100



# 500

Mio. CHF Chiffre  
d'affaires



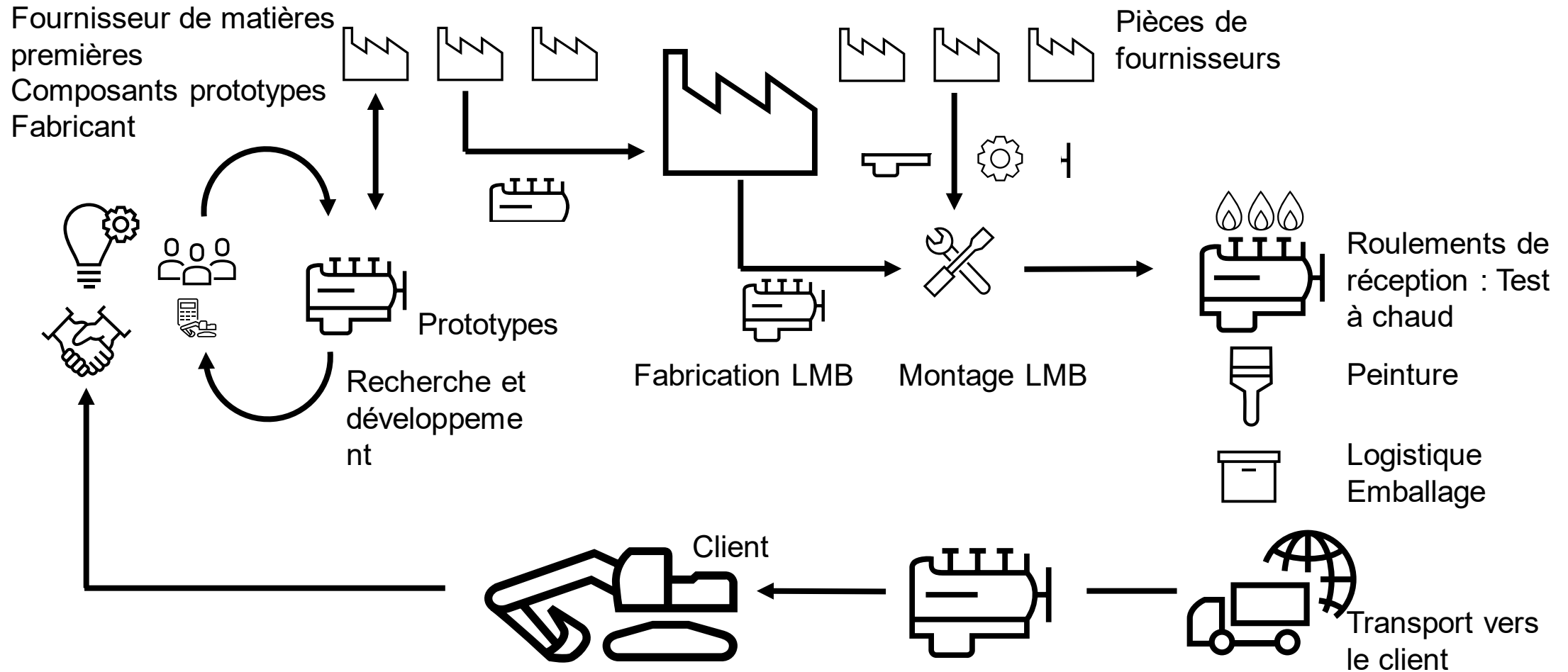
Surface totale : 188 100 m<sup>2</sup>

Surface construite : 83 696  
m<sup>2</sup>

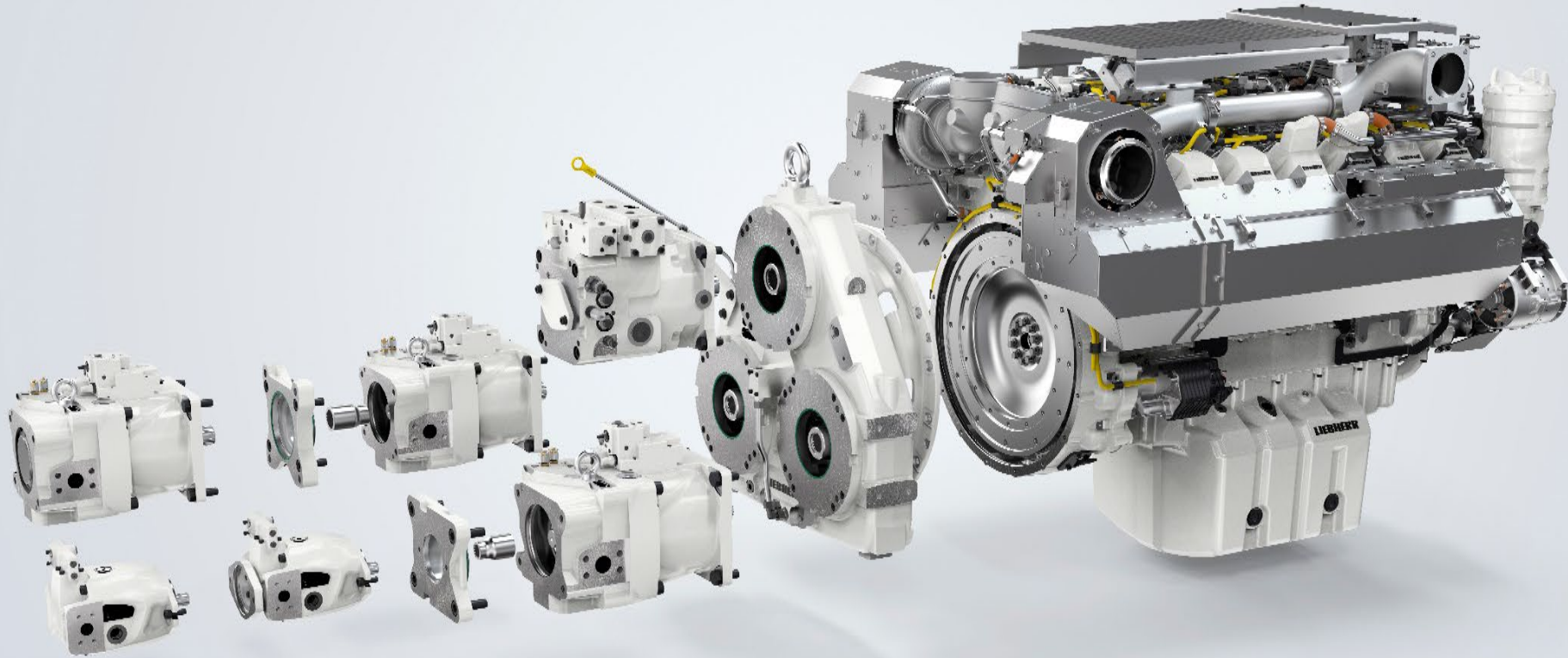
**LIEBHERR**



# Chaîne de valeur



# **Business Unit Moteurs à combustion interne machines à pistons axiaux**



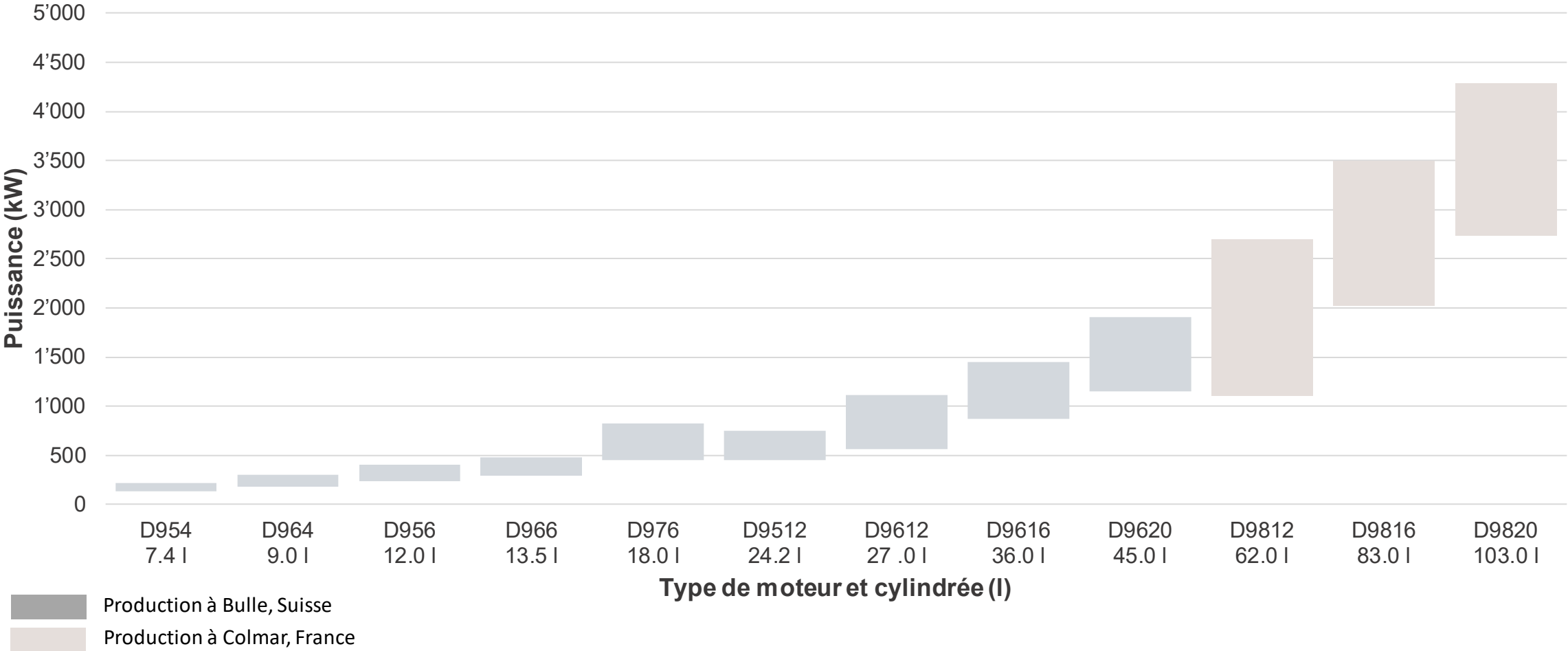
# Moteurs diesel

## Portefeuille de produits



Moteurs diesel

# Portefeuille de produits





# Quelle est la puissance des Moteurs Liebherr ?

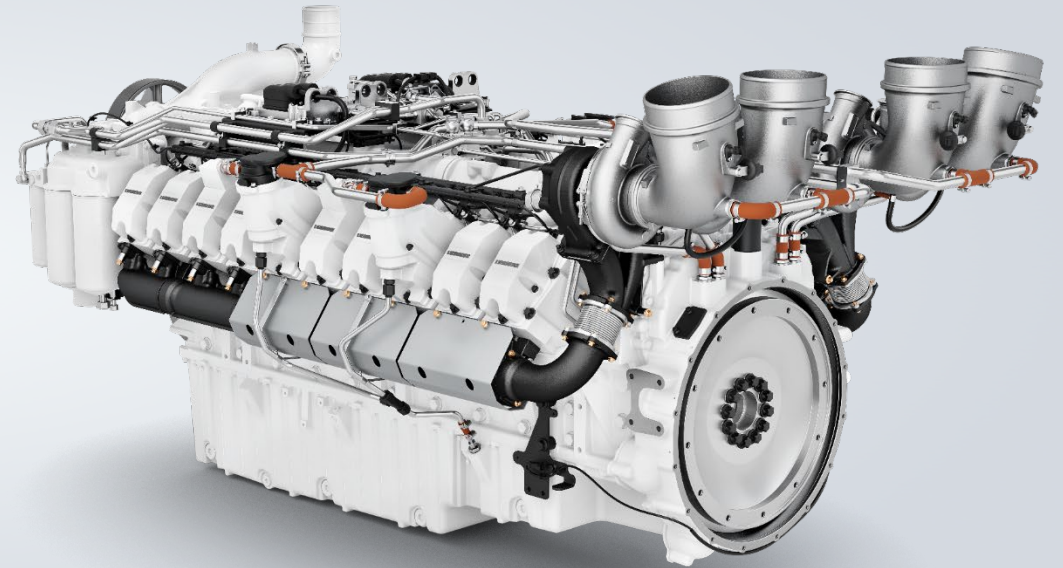
---



# Bugatti vs. Liebherr moteur : Le match



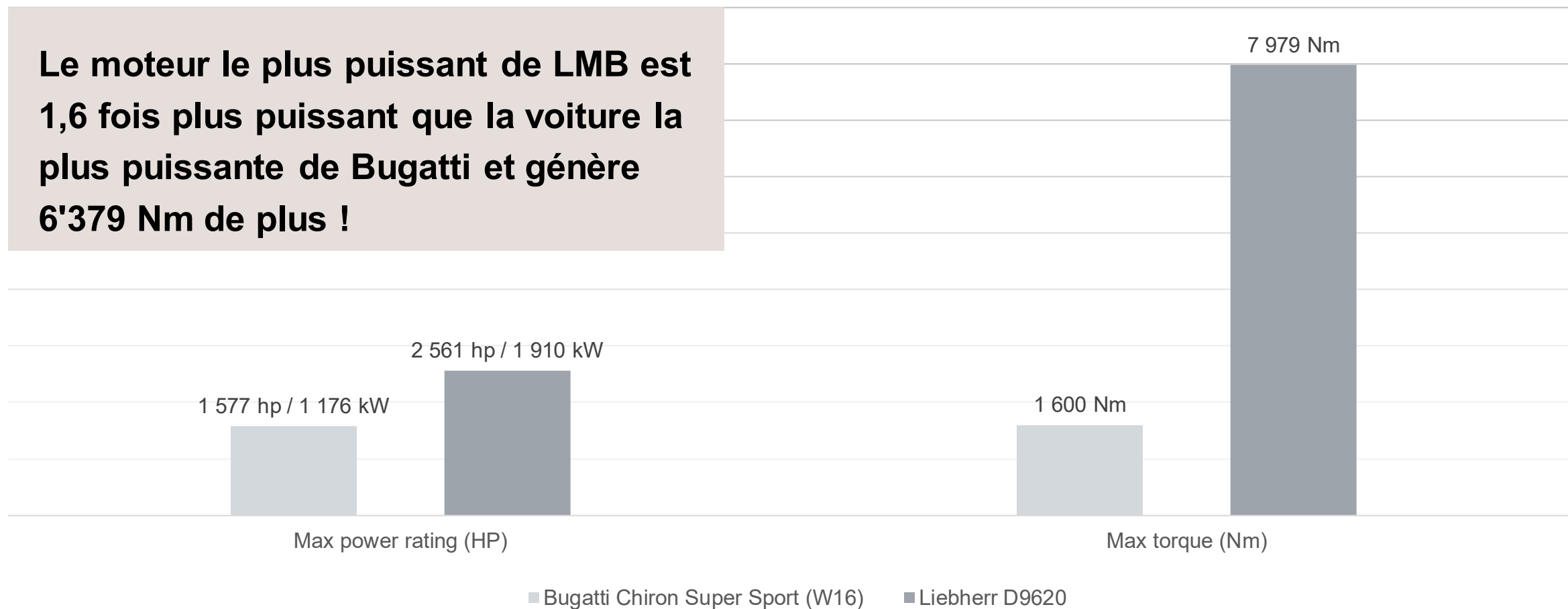
**VS**





# Le match en un coup d'œil

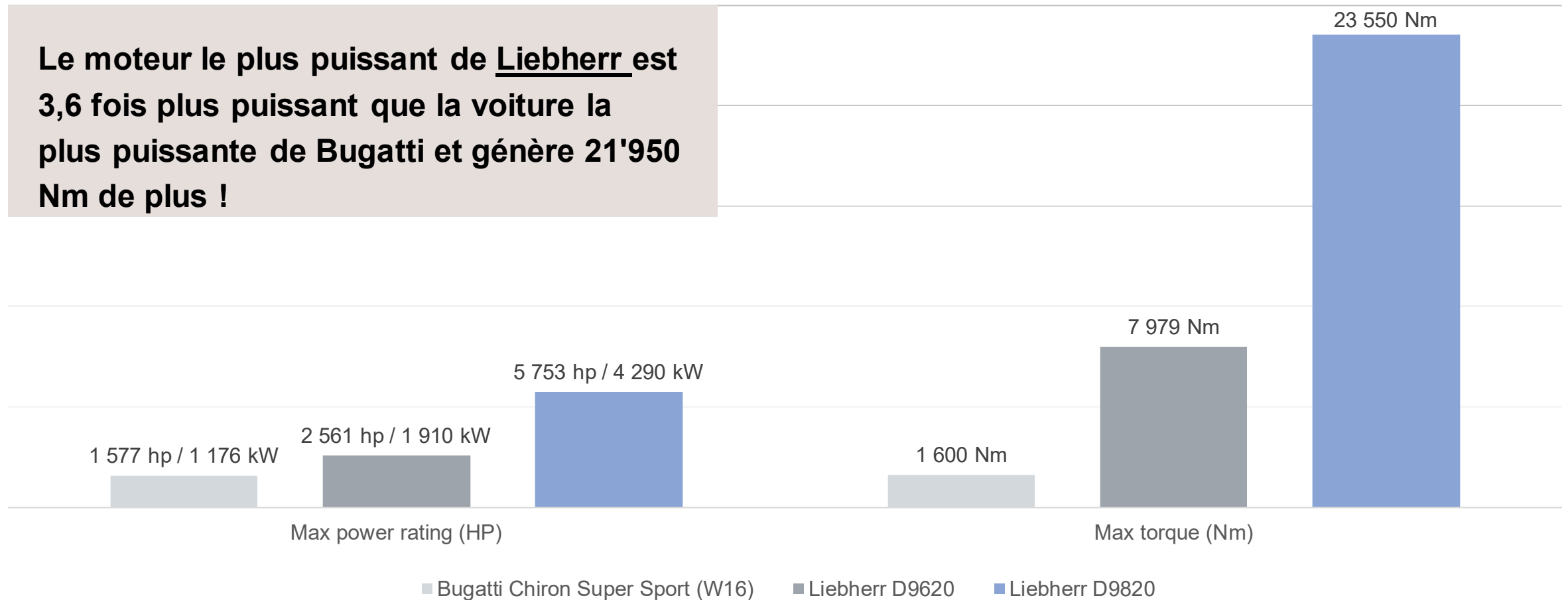
**Le moteur le plus puissant de LMB est 1,6 fois plus puissant que la voiture la plus puissante de Bugatti et génère 6'379 Nm de plus !**





# **Vous avez besoin d'encore plus de puissance ? Liebherr vous fournit.**

**Le moteur le plus puissant de Liebherr est  
3,6 fois plus puissant que la voiture la  
plus puissante de Bugatti et génère 21'950  
Nm de plus !**



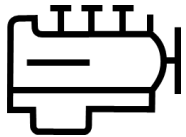
# La perspective de Liebherr vers la neutralité carbone

---

# Notre chemin vers la neutralité climatique

Liebherr est convaincu que les moteurs à combustion interne resteront une solution pour les poids lourds à l'avenir, tout en répondant à l'objectif de neutralité climatique d'ici 2050.

## Aujourd'hui



Moteur à combustion interne avec carburant fossile



Libération de HVO comme carburant (-90% d'émissions de GHG)

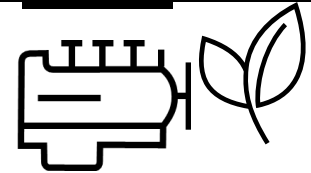


Libération de différents carburants alternatifs : biodiesel, etc.



Développement de moteurs à combustion d'hydrogène et autres améliorations des moteurs

## Demain



Moteur à combustion neutre en CO<sub>2</sub>



# Consommation d'énergie des bancs d'essai >>> et des moteurs toujours plus gros !

## Consommation pour l'essai de moteurs

2013 :

0,4 GWh Gaz naturel (84 ménages)

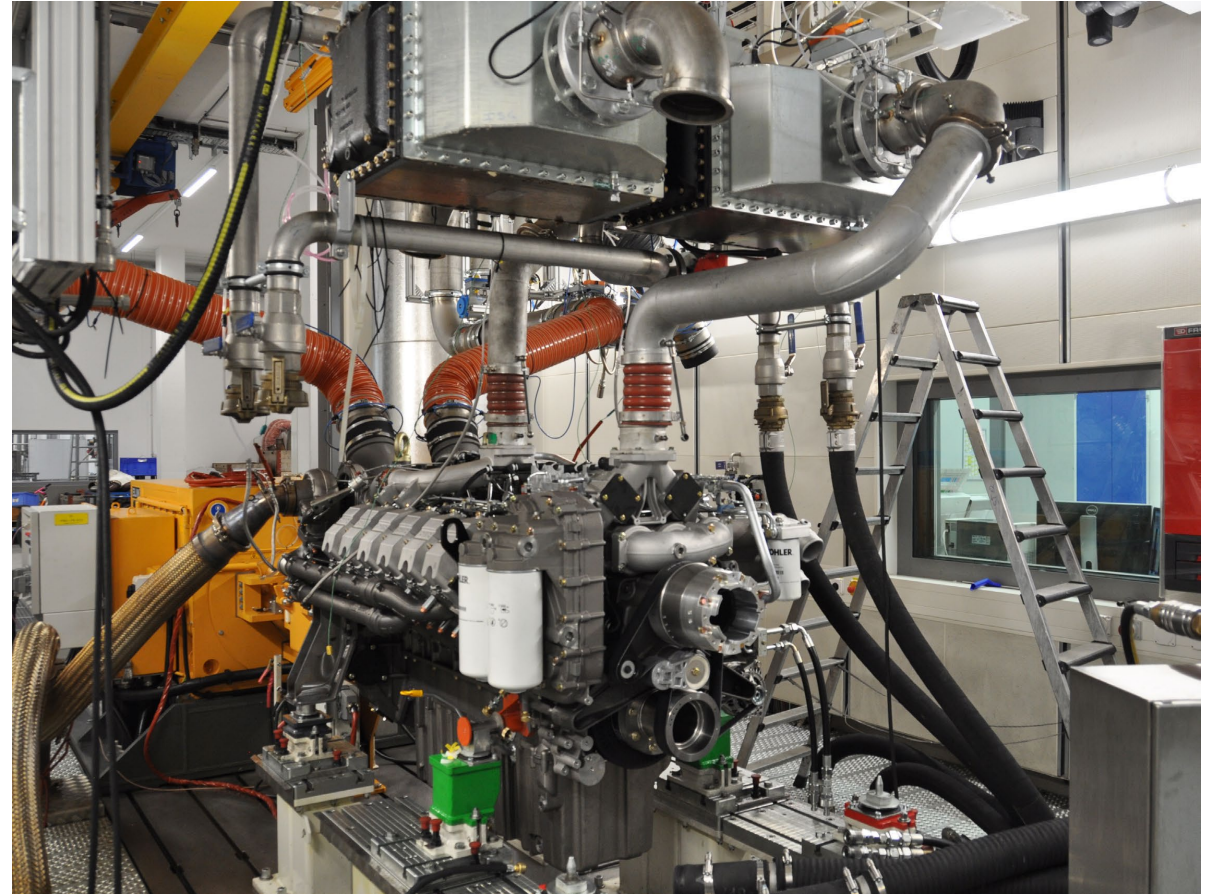
15,8 GWh de diesel (3325 foyers)

2022 :

0,2 GWh de gaz naturel (32 ménages)

29,5 GWh de diesel (6203 ménages)

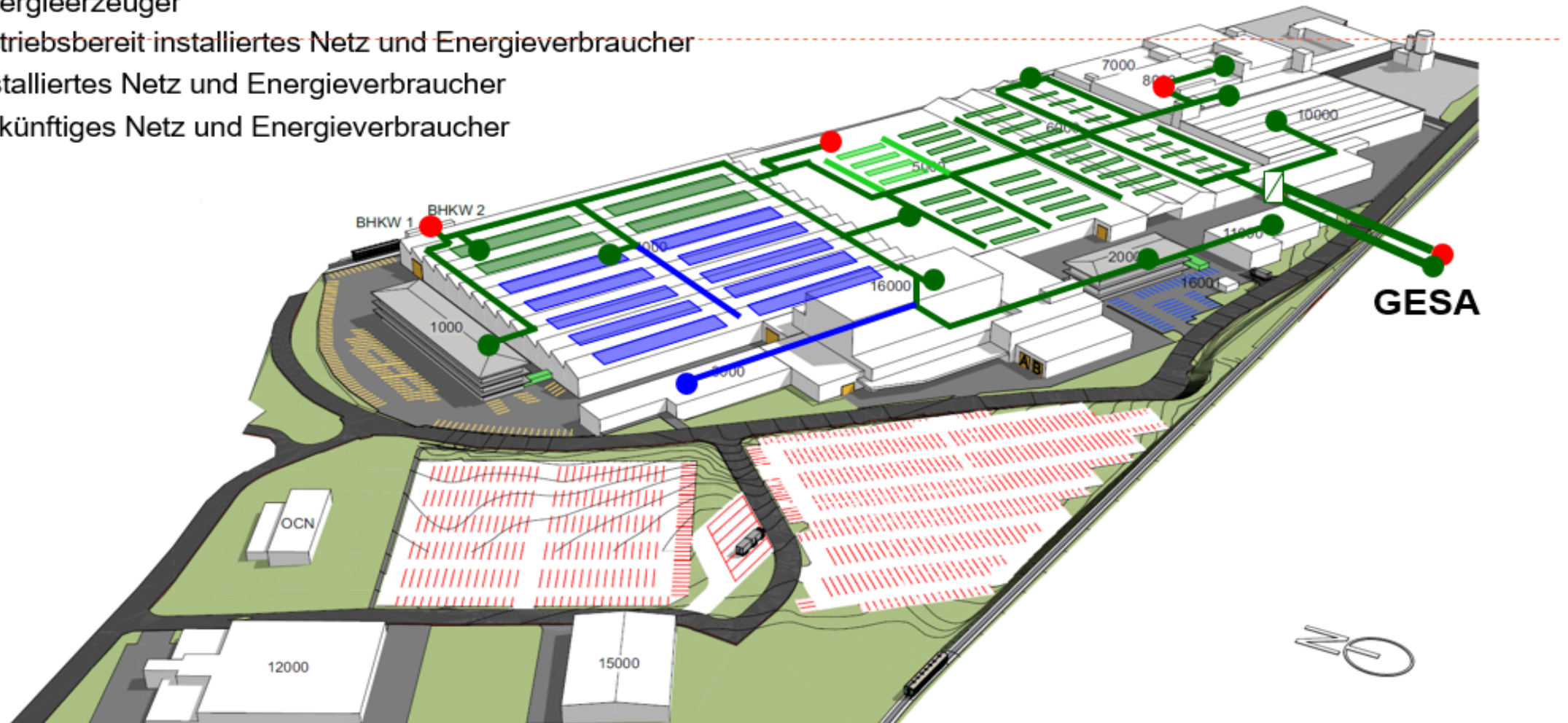
0,4 GWh d'hydrogène (88 ménages)



Projet "Salamandre"

# Économies grâce à la récupération de la chaleur du moteur (énergie opérationnelle)

- Energieerzeuger
- Betriebsbereit installiertes Netz und Energieverbraucher
- Installiertes Netz und Energieverbraucher
- Zukünftiges Netz und Energieverbraucher



# Consommation de gaz des bâtiments LMB (s'éloigner de la dépendance au gaz)

D'ici 2013, chauffage de tous les bâtiments au gaz naturel

**2013 :**

12,9 GWh de gaz naturel (2715 ménages)

8 Bâtiment

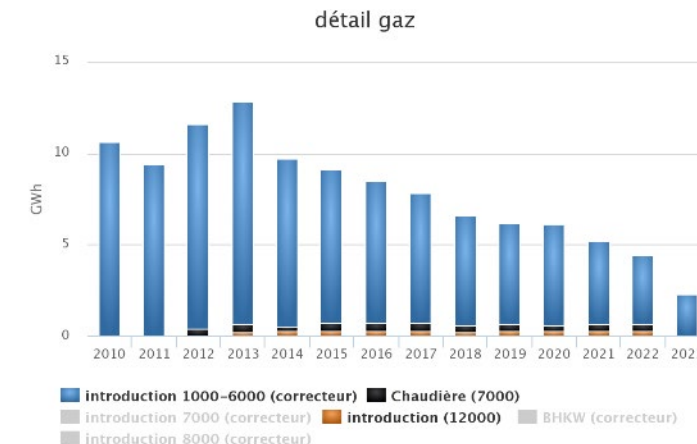
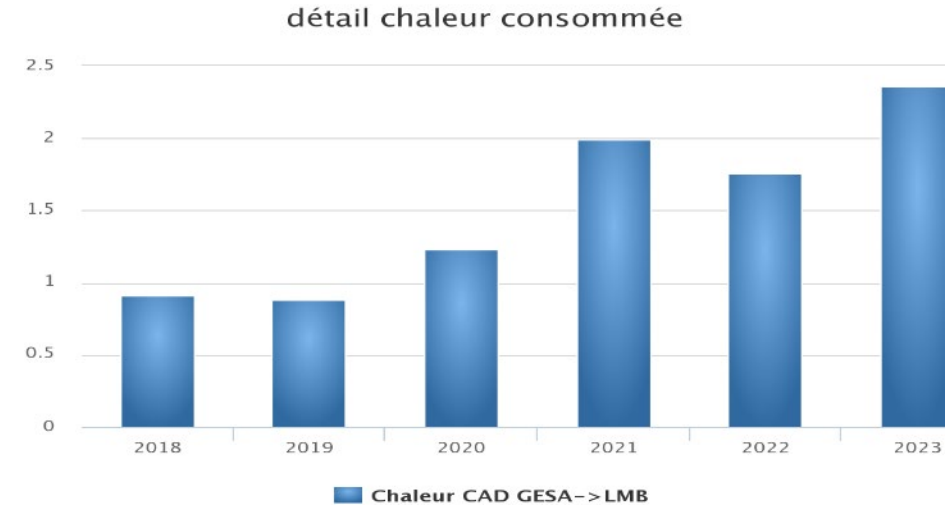
**2022 :**

4,4 GWh de gaz naturel (930 ménages)

1,7 GWh de FW (370 ménages)

12 Bâtiment

**Économie totale : 9 ans au total plus de CHF 3,5 millions**





# Rénovation des façades : 2 millions de CHF sur un total prévu de 5 millions de CHF





## Taxe sur le CO2

### Projet Salamandre

Investissement : CHF 2'750'000

Version : 80/100

Subventions : CHF 500'000 + CHF 250'000

Coût du projet : 2 MIO CHF

### Projet ECOSCAN

Investissement : CHF 1'871'000

Exécution : 95/100

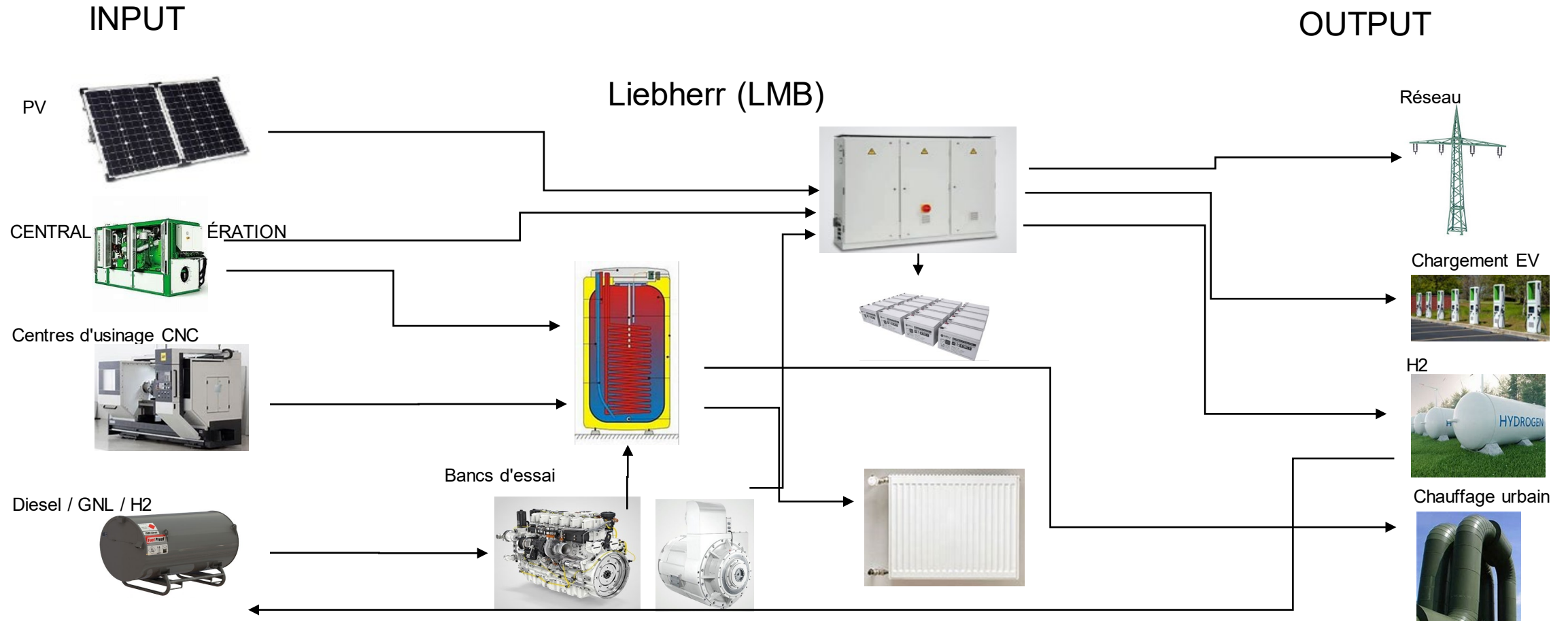
Coûts du projet 1,9 MIO CHF

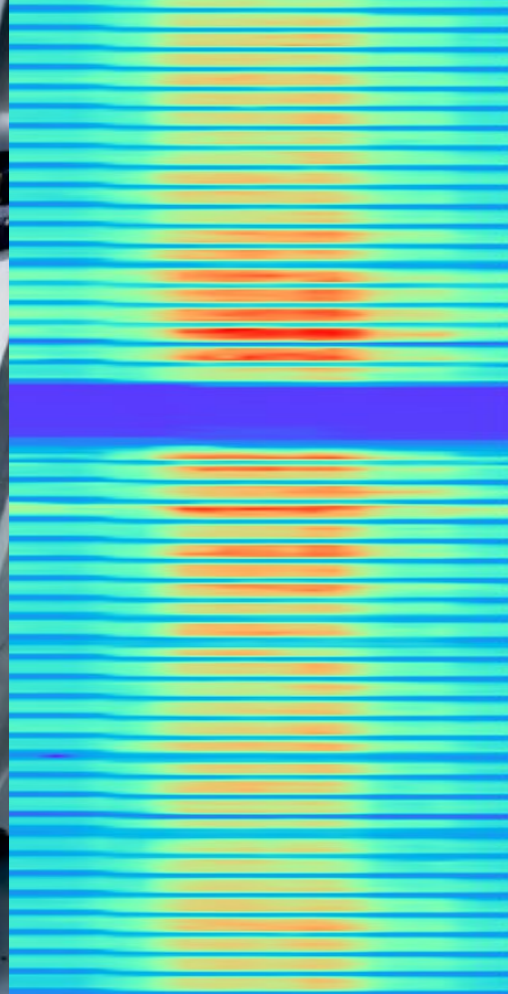
**Total des investissements 3,9 MIO CHF**

**Total remboursement CO2 3,7 MIO CHF**

**La loi sur le CO2 montre clairement son succès dans ce domaine.**

# Du producteur d'énergie au consommateur (interne et externe)

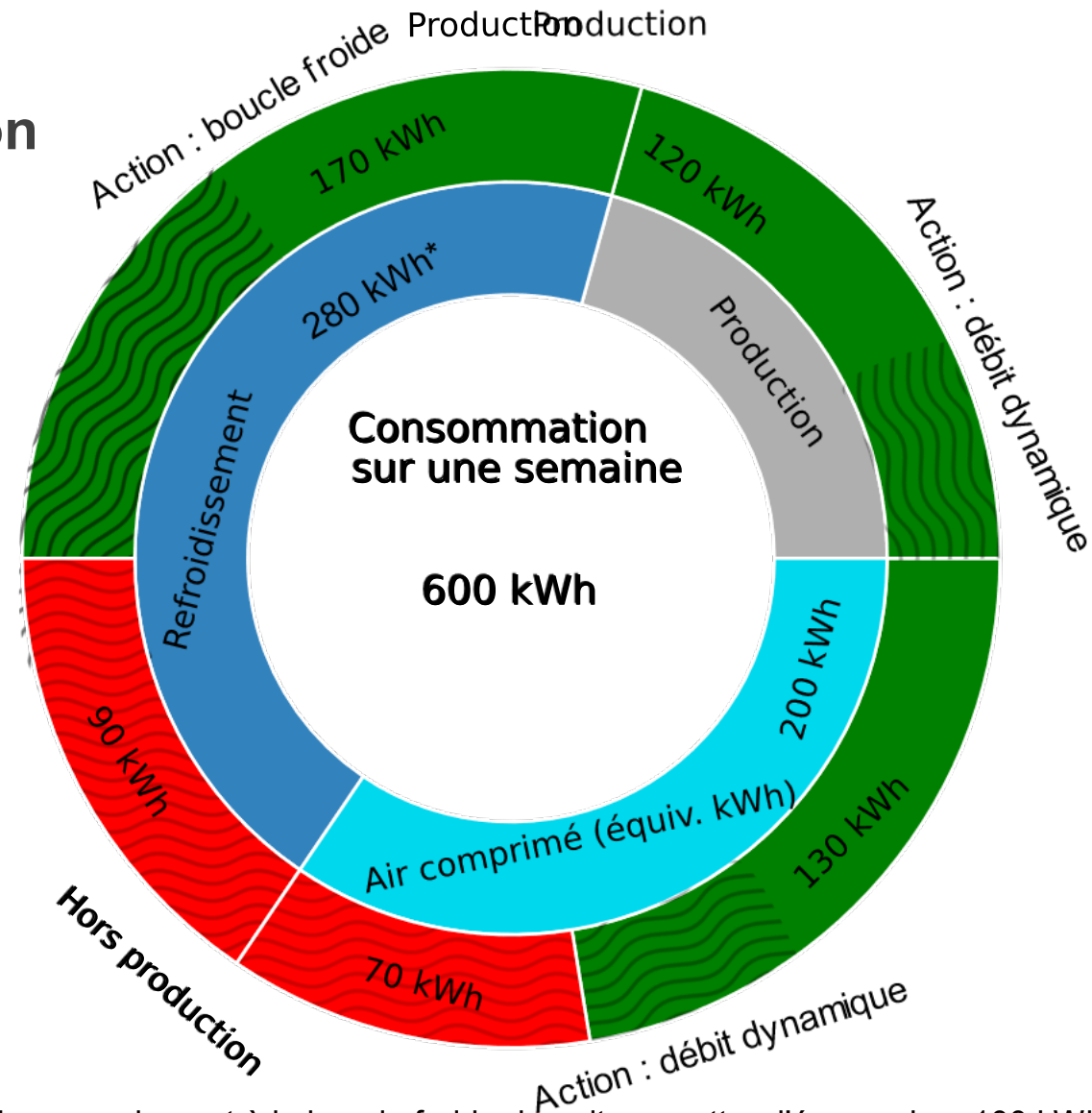




**Mesurer, visualiser, comprendre, économiser**  
**Quelles optimisations sur les machines-outils?**

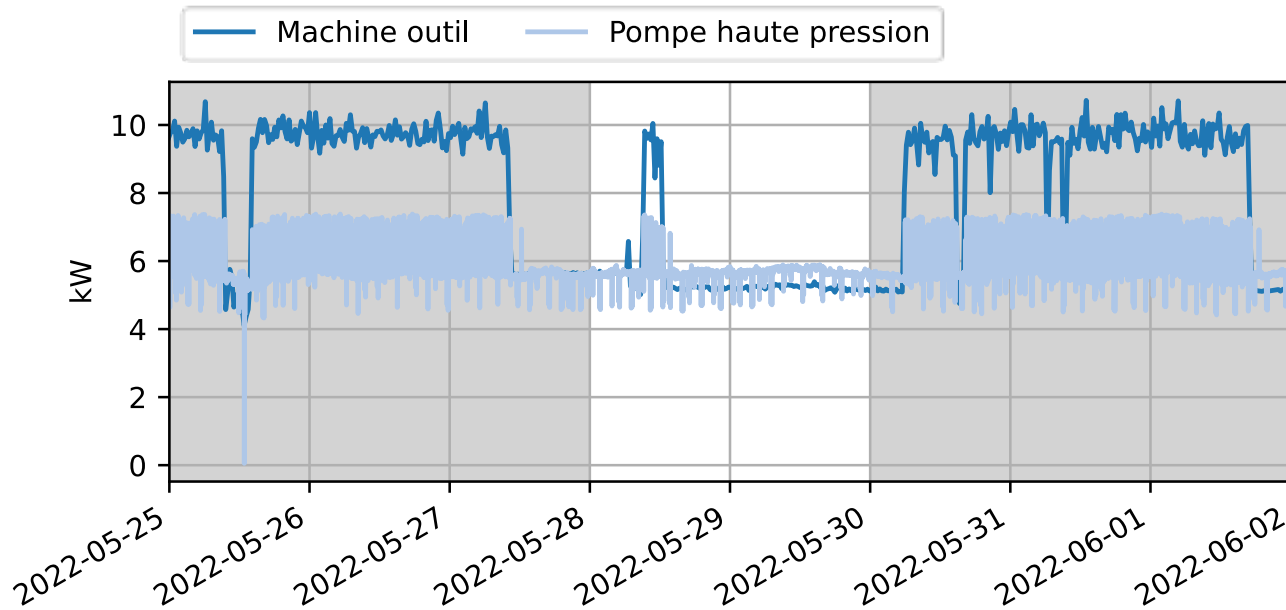
# Exemple de répartition des consommations d'une machine-outil

- La consommation hors heures de production représente **26%** de la consommation totale
- Décomposition de la consommation :
  1. **Refroidissement : 46%**
  2. **Air comprimé : 33%**
  3. **Production : seulement 20%**
- Mesures d'amélioration:
  - Raccorder les machines à une boucle de refroidissement pour valoriser la chaleur ou l'évacuer avec du free-cooling
  - Installer des vannes d'arrêt sur l'air comprimé
  - Réduire la pression de l'air comprimé
  - Réduire la pression de la pompe d'huile

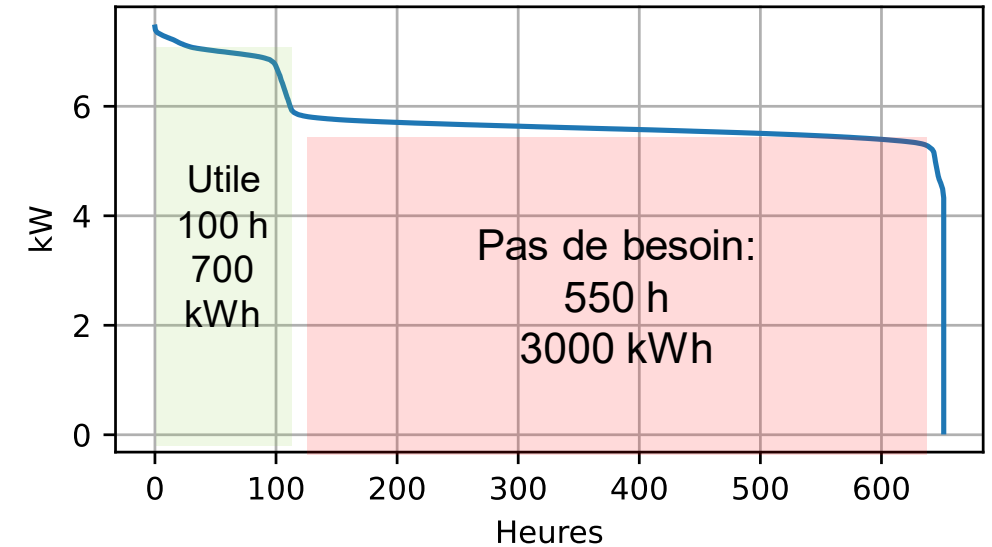




# Exemple d'optimisation possible sur une pompe haute pression

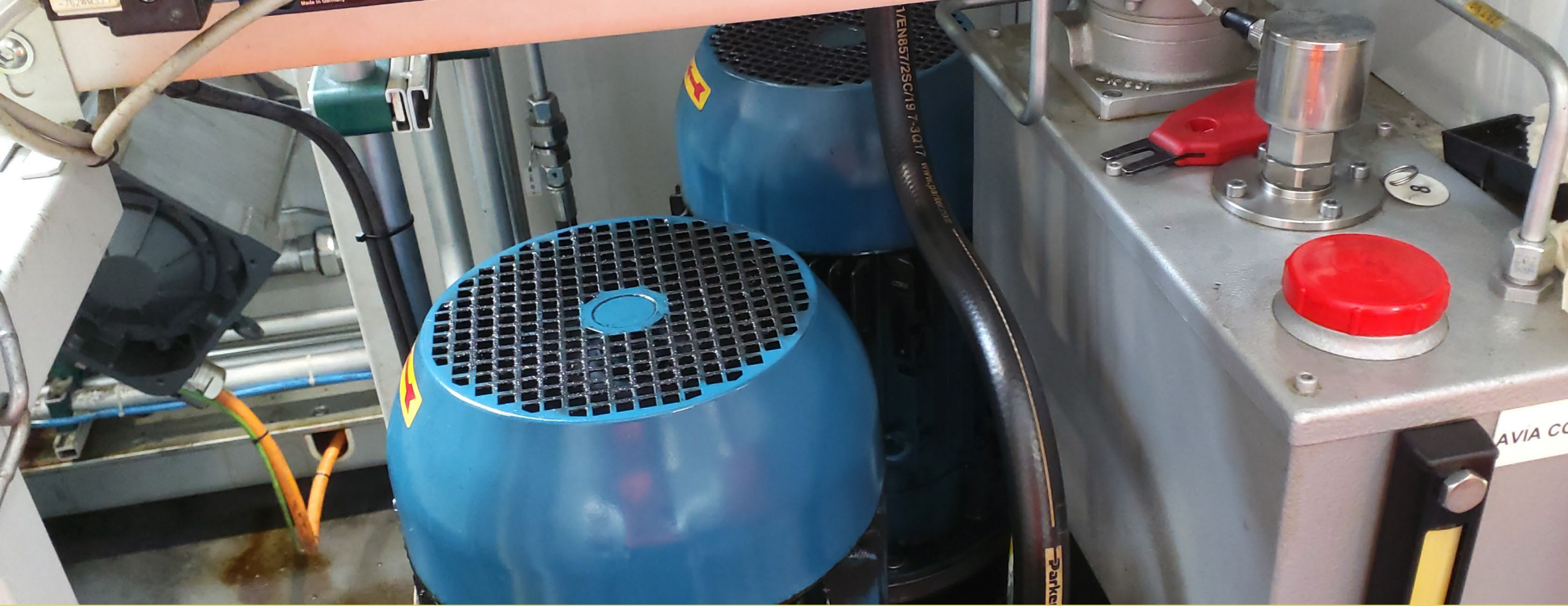


Consommations électriques



Puissances classées pompe haute pression

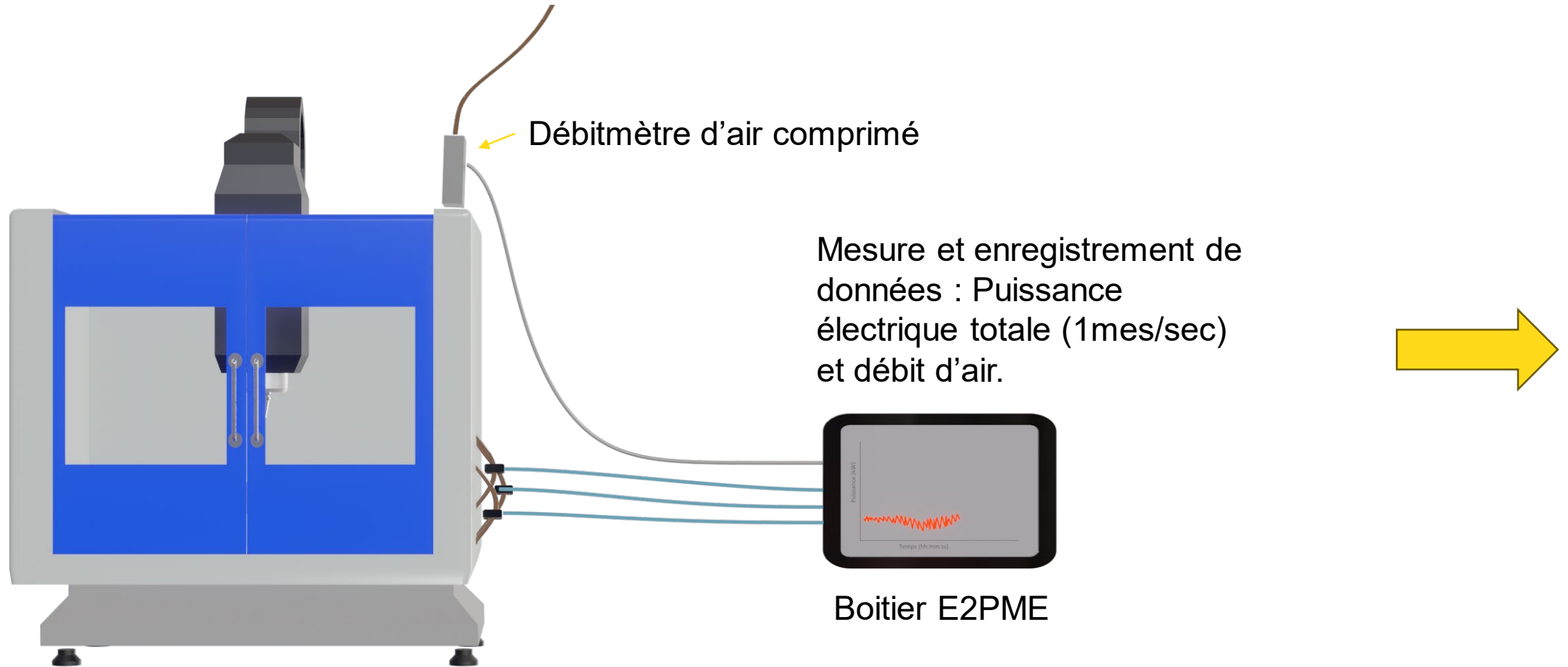
- La pompe haute pression fonctionne en continu alors que la haute pression n'est utilisée que 15 % du temps
- Une régulation en fonction des besoins permet une économie de **35'000 kWh/a/machine soit environ CHF 5'250.—/a/machine**



# Mesurer, visualiser, comprendre, économiser

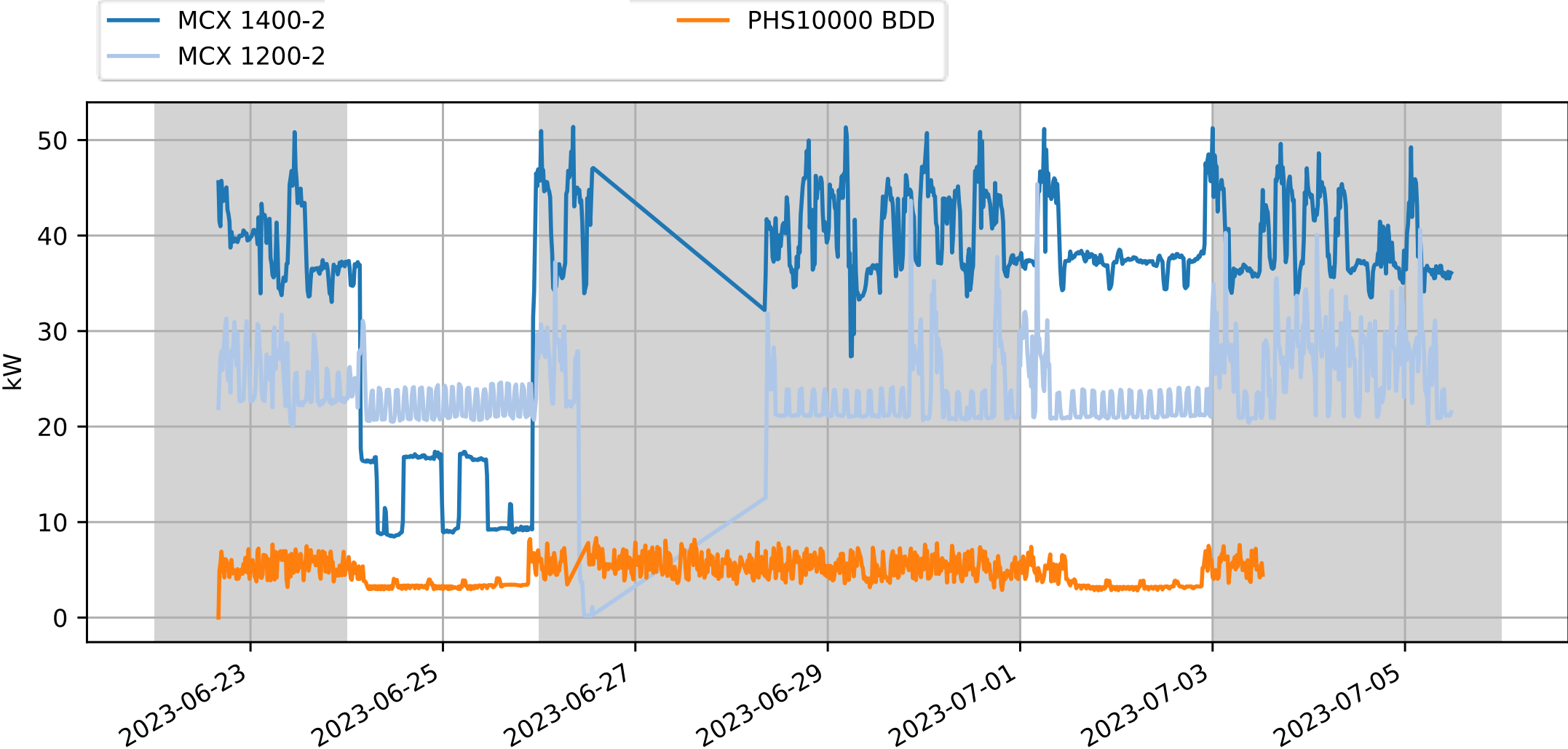
## Cas pratique chez Liebherr Machines Bulles

# Optimisation énergétique de 2 machines-outils CNC





# Résultats des mesurages





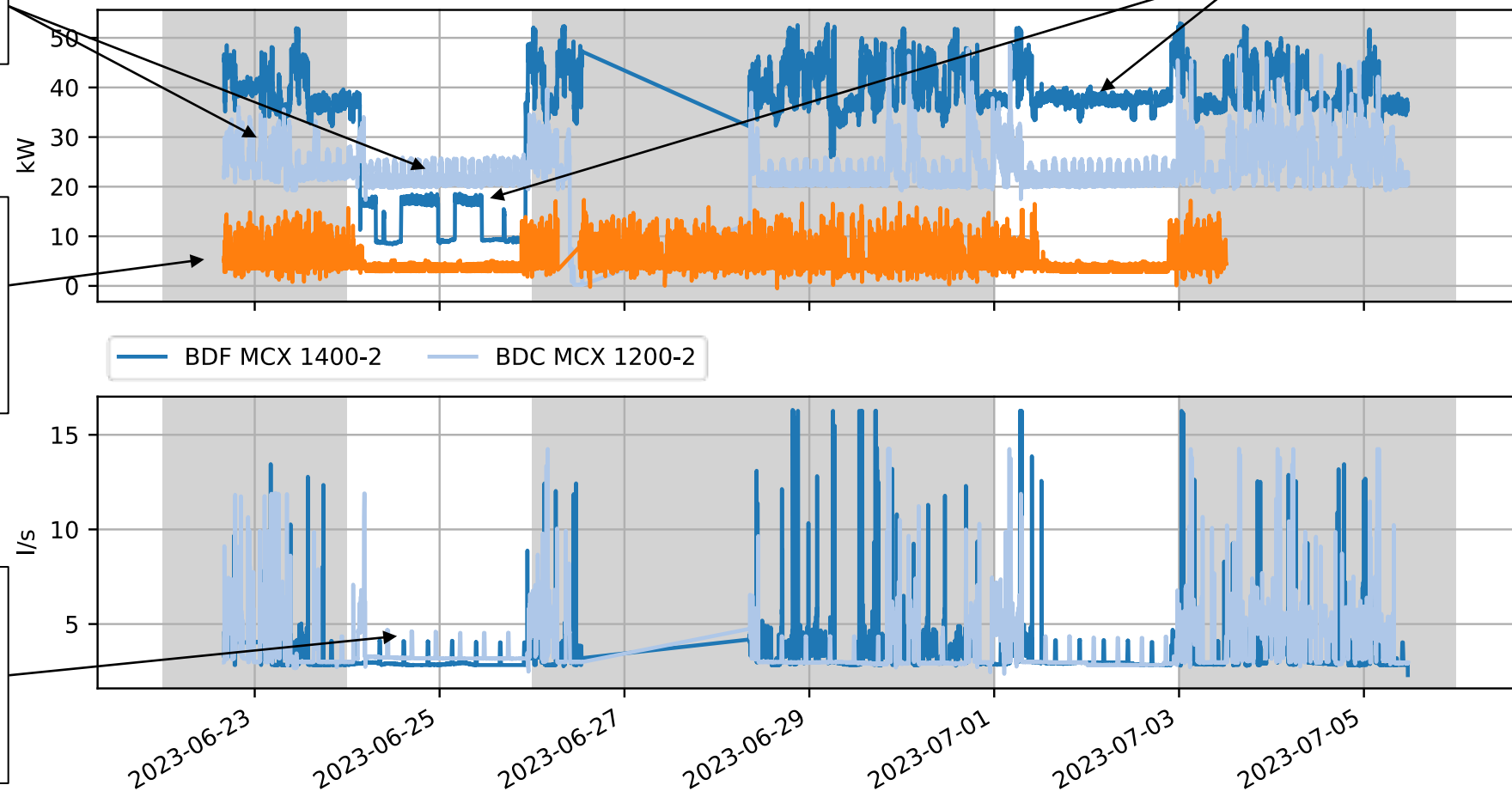
# Résultats des mesurages : constatations

Machine 1: Différence production/veille minimale

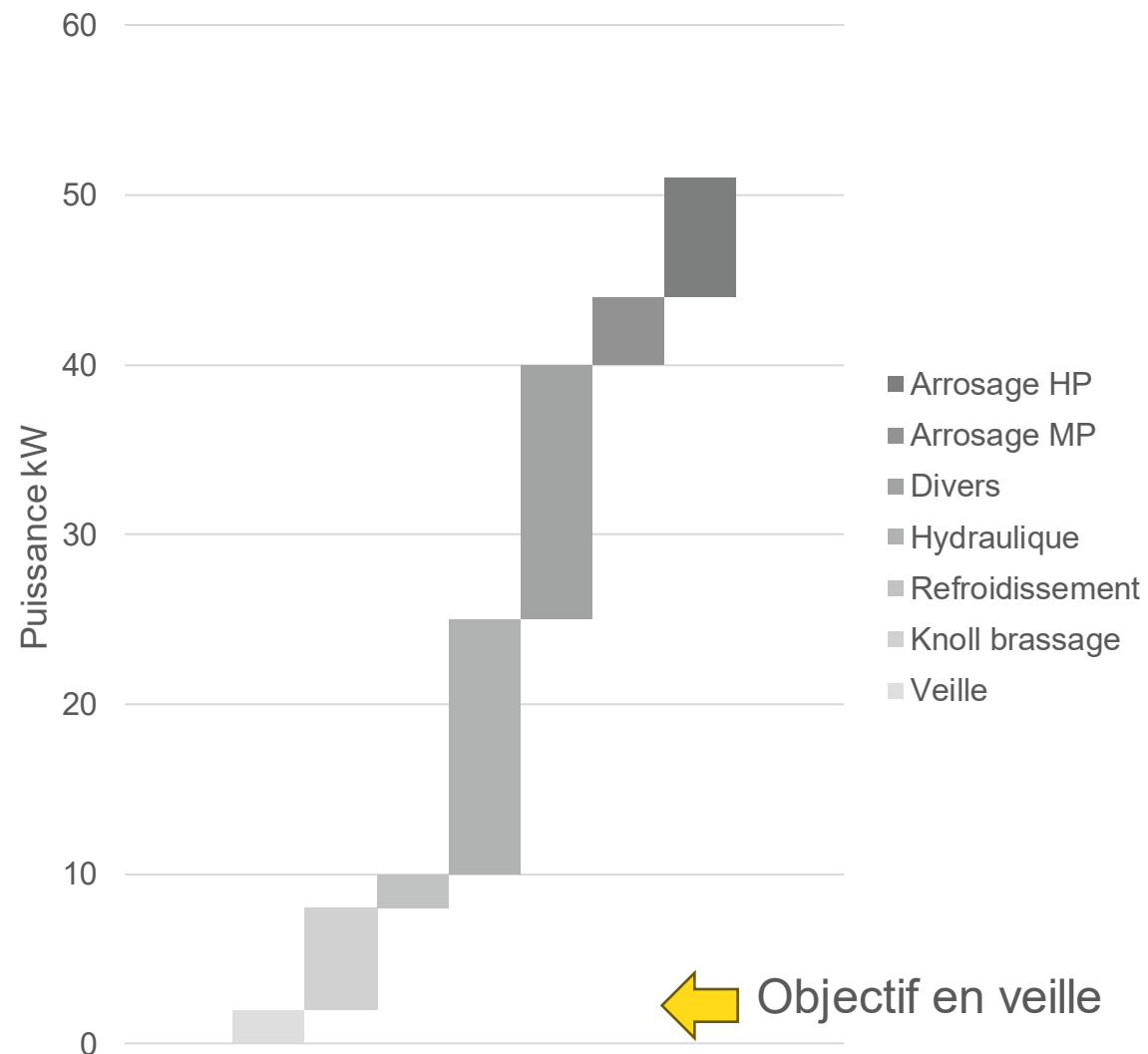
Système de déplacement de palettes : relative petite consommation. Consommation de veille pas négligeable (4 kW)

Machine 1 & 2 : consommation d'air comprimé en veille de 4 l/s soit l'équivalent de 1.7 kW électrique

Machine 2 : Consommation de veille différente selon le WE



# Répartition des consommations



## Consommation annuelle estimée

- Machine 1: **240 MWh/a**
- Machine 2 : **160 MWh/a**

## Actions

- Mode veille hors production (notamment hydraulique et brassage Knoll)
- Arrêt de l'air comprimé par une vanne automatique

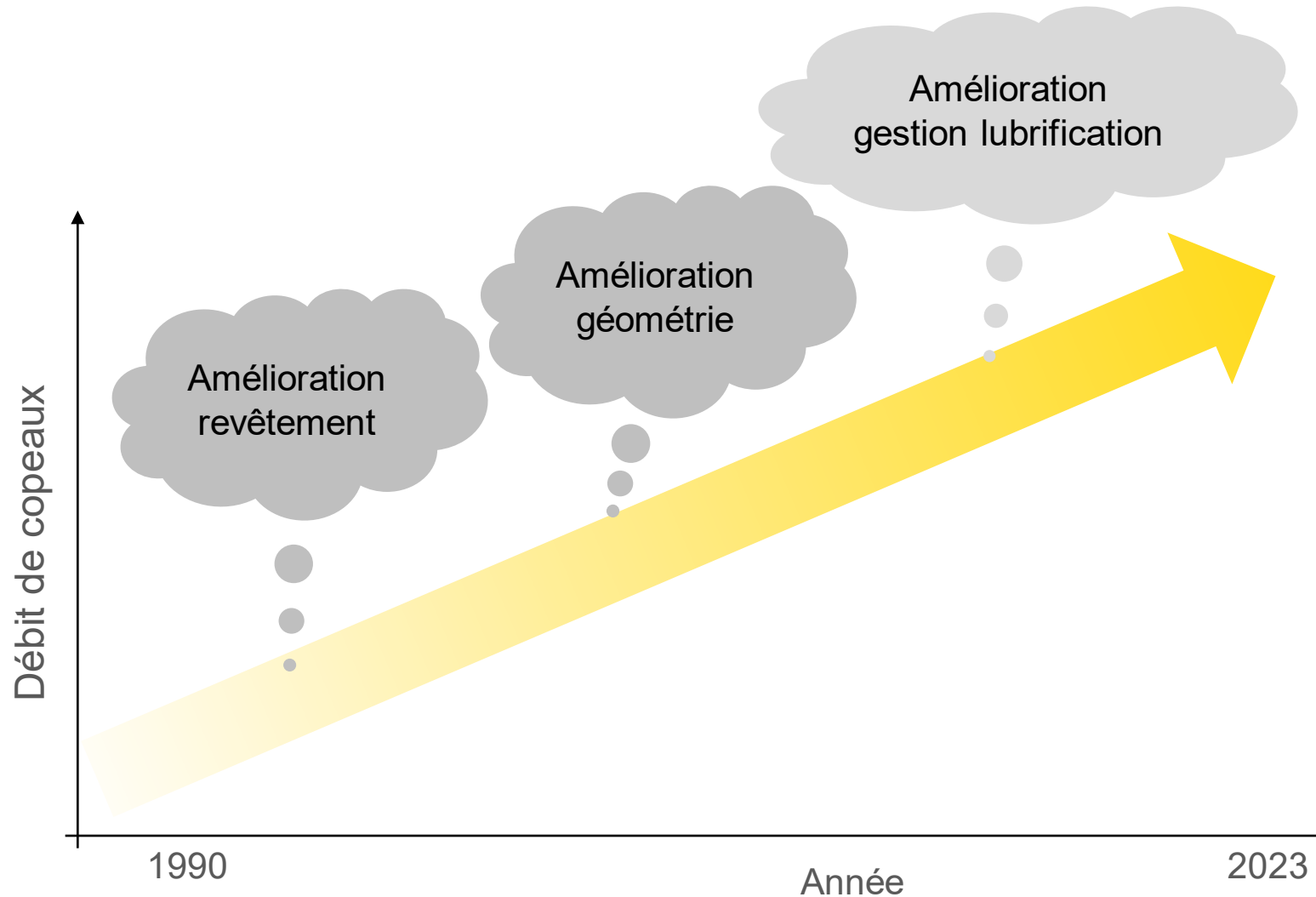
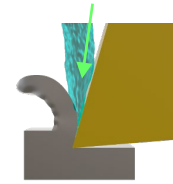
## Économies calculées

- 200 MWh/a**



# Analyse des paramètres de coupe

# Analyse des paramètres de coupe



➔ Puissance de coupe plus élevée

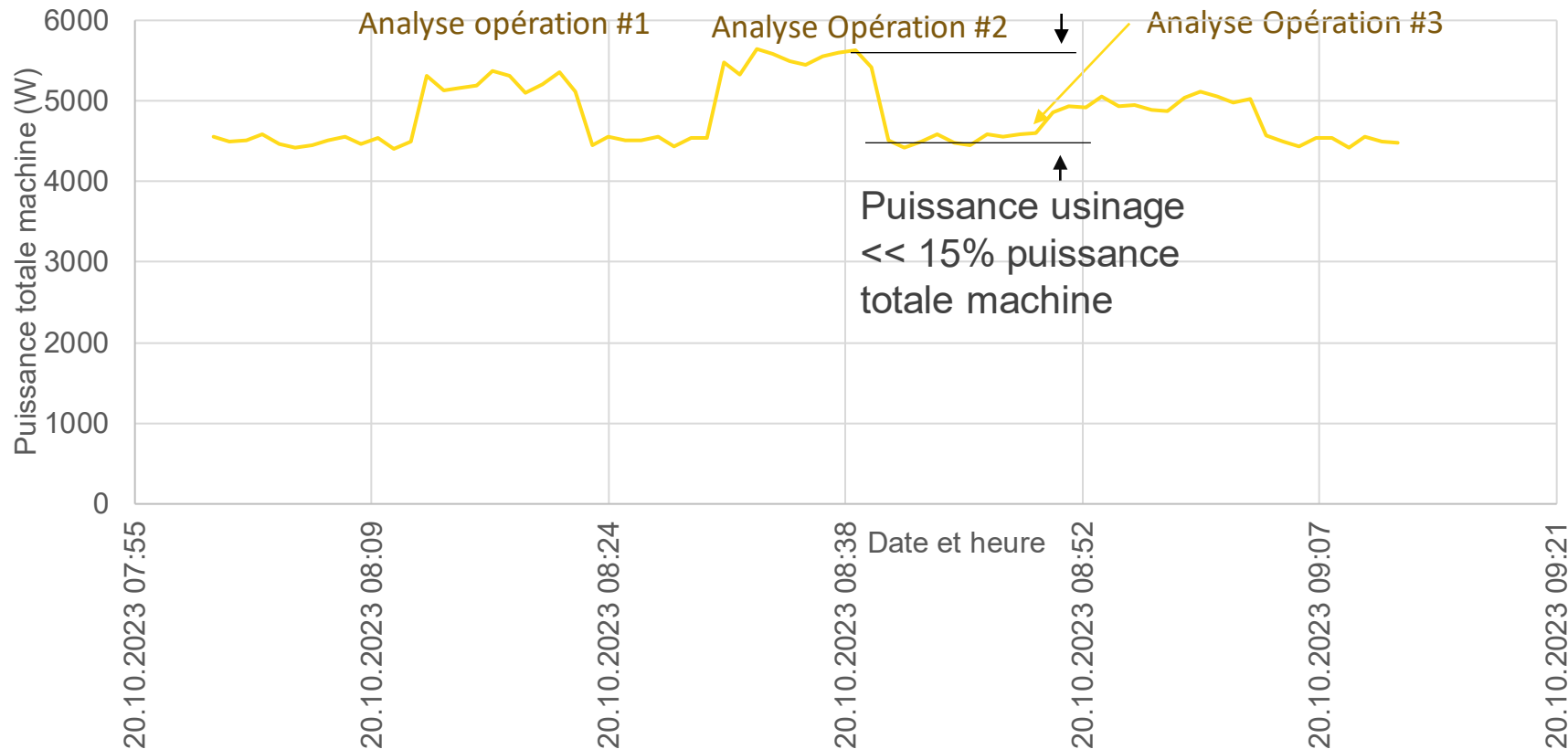
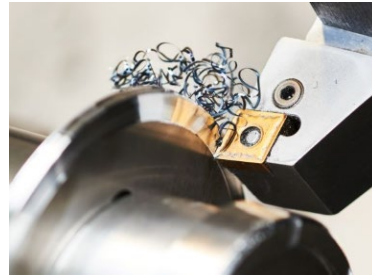
➔ Utilisation accrue d'arrosage haute pression (puissance totale plus élevée)



S'agit il d'une régression de l'effcience énergétique ?



# Analyse des paramètres de coupe



Chaque type d'opération est analysé

- ➔ Estimation nouvelle consommation énergétique pour le type d'opération
- ➔ Estimation économique

# Analyse des paramètres de coupe

**Type d'opération 1 :** Surfaçage  
ébauche  $\varnothing \approx 250\text{mm}$   
Débit copeaux  $\approx 1200 \text{ cm}^3/\text{min}$

Pas d'amélioration trouvée

**Type d'opération 2 :** Surfaçage  
 finition  $\varnothing \approx 300\text{mm}$   
Débit copeaux  $\approx 12 \text{ cm}^3/\text{min}$

**Proposition 1:**  
Augmentation paramètres  
de coupe

- Débit copeau  $\approx +100\%$
- Consommation  
énergétique  $\approx -50\%$

**Proposition 2:**  
Autre outil avec plus de dents

- Débit copeau  $+250\%$
- Consommation énergétique  
 $\approx -75\%$

# Analyse des paramètres de coupe

## ▪ Résultats

**Type d'opération 3 : Perçage**  
ébauche  $\varnothing \approx 10\text{mm}$   
Débit copeaux  $\approx 60 \text{ cm}^3/\text{min}$



Proposition 1:  
Augmentation paramètres  
de coupe

- Débit copeau  $\approx +50\%$
- Consommation  
énergétique  $\approx -30\%$

**Type d'opération 4 : Alésage**  
Débit copeaux  $\approx 0,5 \text{ cm}^3/\text{min}$

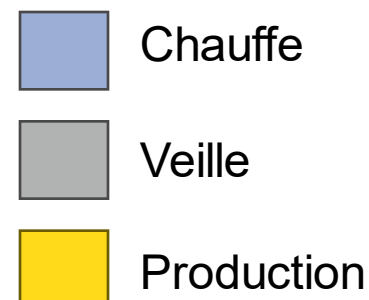
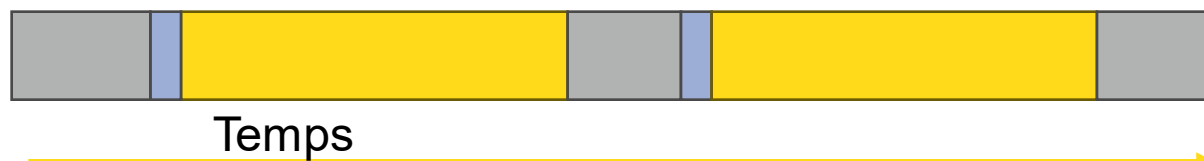


Proposition 1:  
Augmentation paramètres de  
coupe

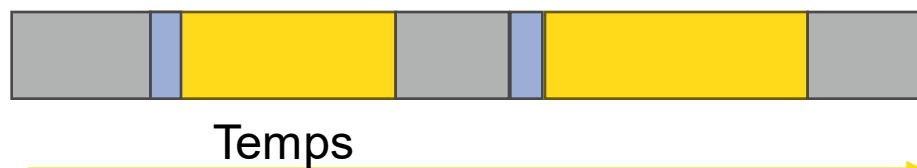
- Débit copeau  $+200\%$
- Consommation énergétique  
 $\approx -50\%$

# Analyse des paramètres de coupe : conclusion

Avec des paramètres de coupe non optimaux



Avec des paramètres de coupe optimisés



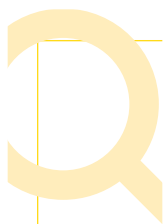
**Avec des paramètres de coupe optimisés:**

- Légère augmentation de la puissance totale de la machine (Maxi +30%)
- Diminution significative (-10 à -70%) du temps de cycle

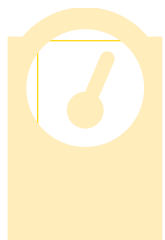
**→ Des paramètres de coupe correctement optimisés réduisent la consommation énergétique durant la production**



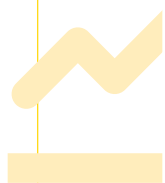
## Comment s'y prendre



Identifier les machines pertinentes

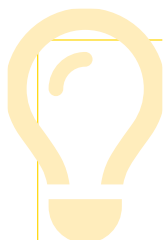


Mesurer les entrées sur quelques jours



Analyse avec :

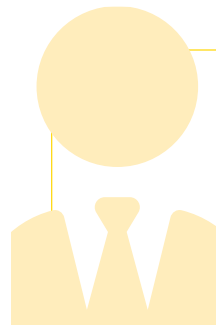
- Technicien du site
- Fabricant de la machine
- Conseiller en énergie



Aussi traiter

- l'air comprimé et/ou le besoin de froid
- Paramètres de coupe

## Aides



Votre conseiller AEnEC ou un spécialiste



Subventions:

- ProAnalySys: analyse des systèmes d'entraînement électriques
- Prokilowatt : investissement



Location d'appareil de mesure (avec formation)



# État des lieux

# État des lieux

- Mise en application des propositions

## **Mode veille des Burkhardt+Weber MCX 1200 et 1400**



Le mode veille ne s'active actuellement pas car le MES (Manufacturing Execution System) « SOFLEX » empêche la veille desdites machines lors des périodes voulues.

Le sujet est en cours d'analyse et de correction auprès du service informatique de LMB.

## **Modification des paramètres de coupe préconisés**



La modification des paramètres de coupe cités plutôt aura lieu une fois les tests effectués sur des pièces rebut lors d'arrêts de production.

La validation de ces paramètres auprès de notre département de la Qualité et la répétabilité des opérations permettront une modification de ces paramètres.

# Conclusion

- Et ensuite ?

Nous avons bon espoir de pouvoir mettre en œuvre ces optimisations de manière fonctionnelle dès 2024, autant du côté des paramètres de coupe ou de la mise en veille.

Le but est d'étendre ceci à d'autres machines Burkhardt+Weber (MCC) dans le court terme. Ceci a été mis au budget pour 2024 afin d'installer le mode veille sur ces machines-ci par le fournisseur.

L'approche systématique a aussi été revue au niveau du cahier des charges.

À présent, l'implantation d'un mode veille de base sur les machines est exigé, des appareils de monitoring à l'introduction électrique des machines ainsi qu'une limite pour la consommation maximale lors de standby ont été introduits dans les aspects de base des nouvelles machines.

Sur un parc d'une centaine de machines, l'optimisation énergétique est un travail de longue haleine. Certaines machines seront remplacées et d'autres optimisées.