

Association Industrielle Patronale – Cadran AIP

Optimisation de la consommation énergétique au sein de l'industrie ?

Etude de cas & Eco Conception

Raphaël Montavon - Patrick Neuenschwander
Septembre 2024



Plus de 150 ans d'histoire et savoir-faire

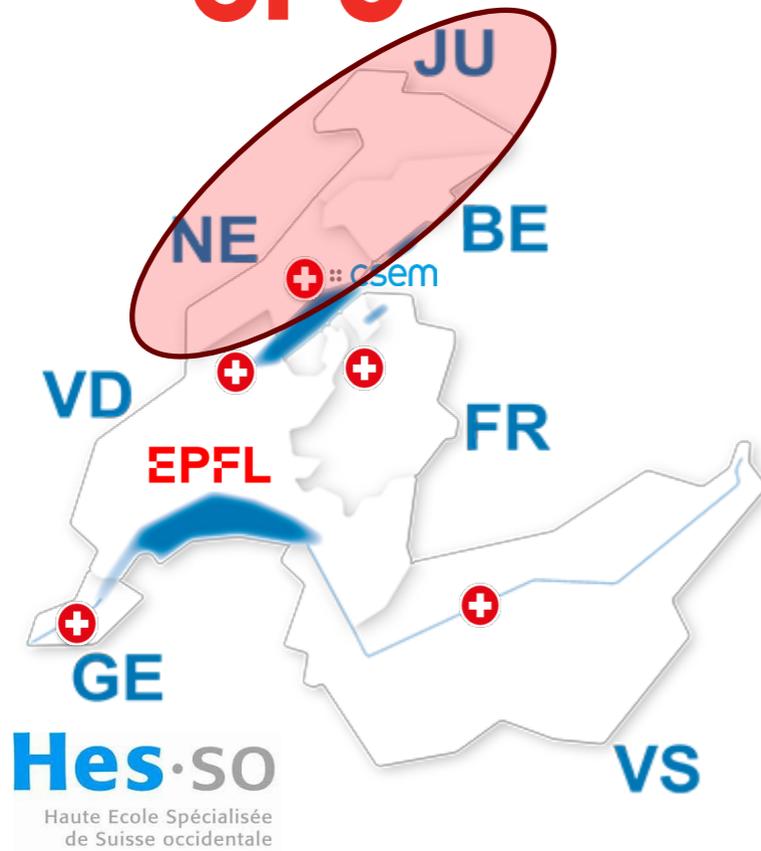


Technicum de Saint-Imier : 1866



Technicum du Locle : 1868

La Haute Ecole Arc...HES-SO



- Il y a **8** HES en Suisse. La **Haute Ecole Arc** (HE-Arc) est une entité de la **HES-SO**.
- Les HES sont des écoles de niveau **tertiaire supérieur**, au même titre que les universités et les EPF. Par conséquent, les HES ont des activités de recherche et de transfert technologique.
- La HE-Arc héberge 4 domaines :
 1. Gestion (Economie d'entreprise, Droit économique, Informatique de gestion)
 2. Ingénierie (Mécanique, Microtechniques, Ingénierie et gestion industrielles, Informatique)
 3. Santé (Soins infirmiers, Physiothérapie)
 4. Design et Arts visuels (Conservation-restauration)

HE-Arc Ing : Ra&D, 4 Centres de compétences

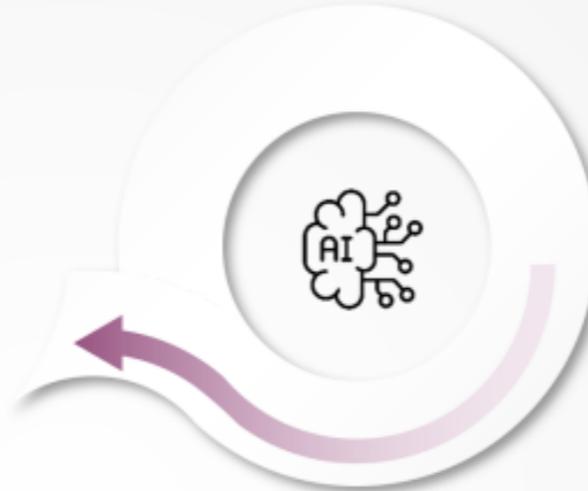
Smart & Precision Manufacturing

- ✓ Machine intelligente
- ✓ Processus de fabrication
- ✓ Manufacturing digital
- ✓ Lean Manufacturing



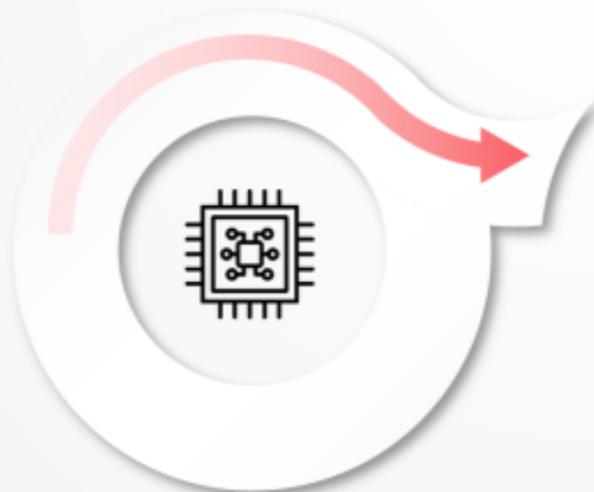
Industrial Digitalization & AI

- ✓ Data
- ✓ Intelligence artificielle appliquée
- ✓ Interaction homme-machine
- ✓ Architectures logicielles & matérielles



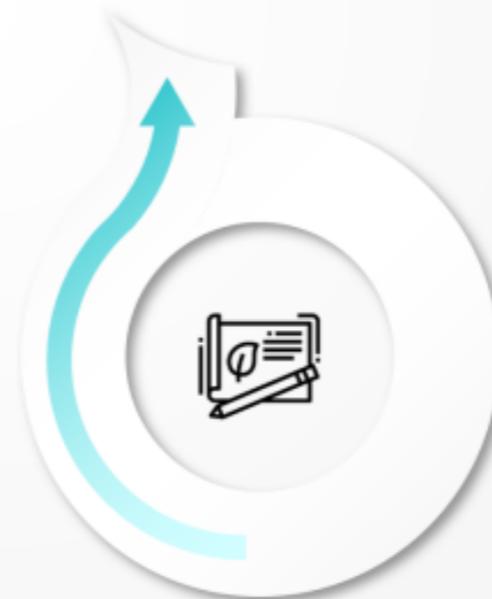
Smart Sensing & Microsystems

- ✓ Capteurs / Sensing
- ✓ Systèmes électroniques
- ✓ Micro-nano systèmes
- ✓ Dispositifs médicaux



Sustainable Product Design

- ✓ Conception produits
- ✓ Durabilité des procédés
- ✓ Consommation énergétique
- ✓ Utilisation des matériaux



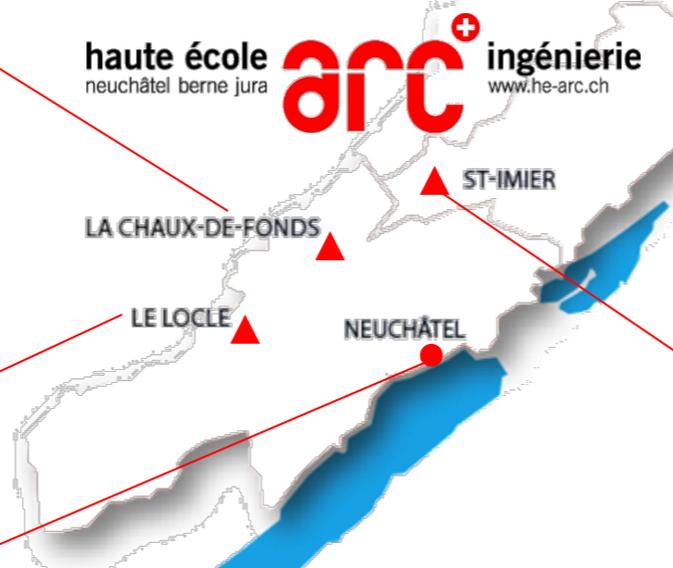
Ra&D – 11 Groupes de Ra&D (value/project-driven)

- Dispositifs médicaux
- Ingénierie des surfaces



- Ingénierie horlogère

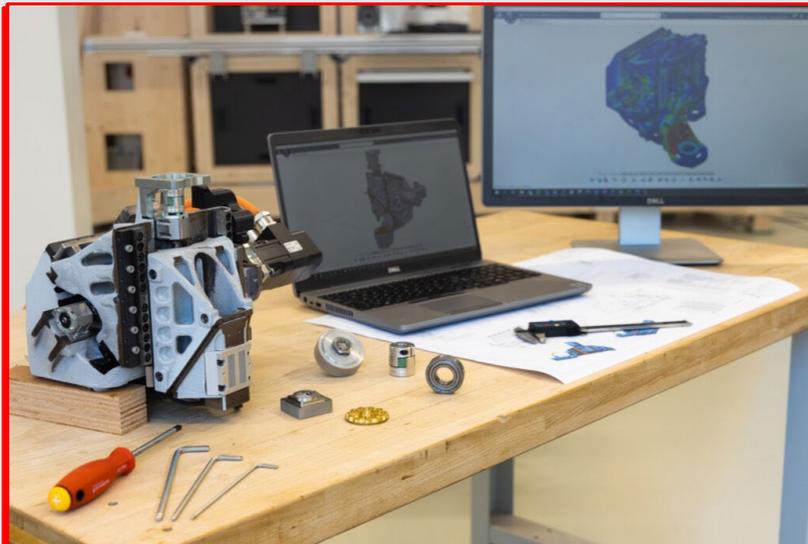
- Conception de produits centrée utilisateurs



- Systèmes informatiques embarqués
- Technologies d'interaction
- Analyse des données
- Imagerie
- Conception des moyens de production
- Métrologie et vision industrielle
- Automatisation industrielle



Ra&D Groupe de compétences : Conception des moyens de production



Conception des moyens de production

au service de la machine-outil et d'assemblage



5 Professeurs

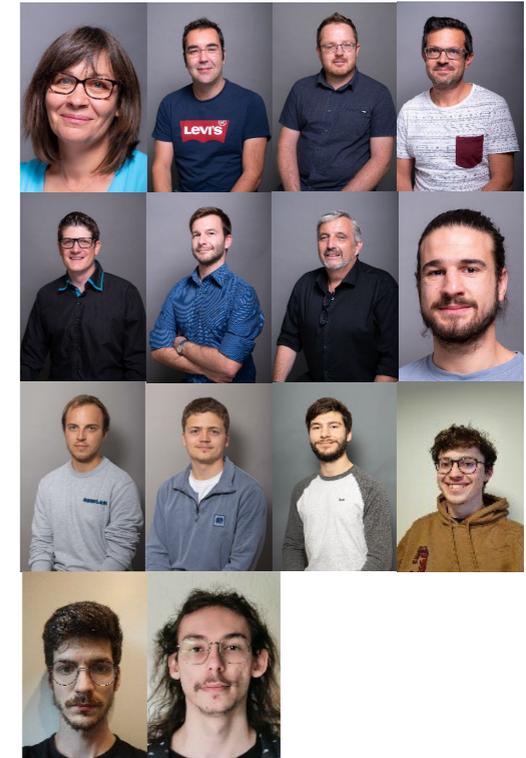
R. Montavon, V. Briquez, B. Loehr,
D. Lüthi, C. Varidel

2 Adjointes scientifiques

D. Steinmann, P. De Monte

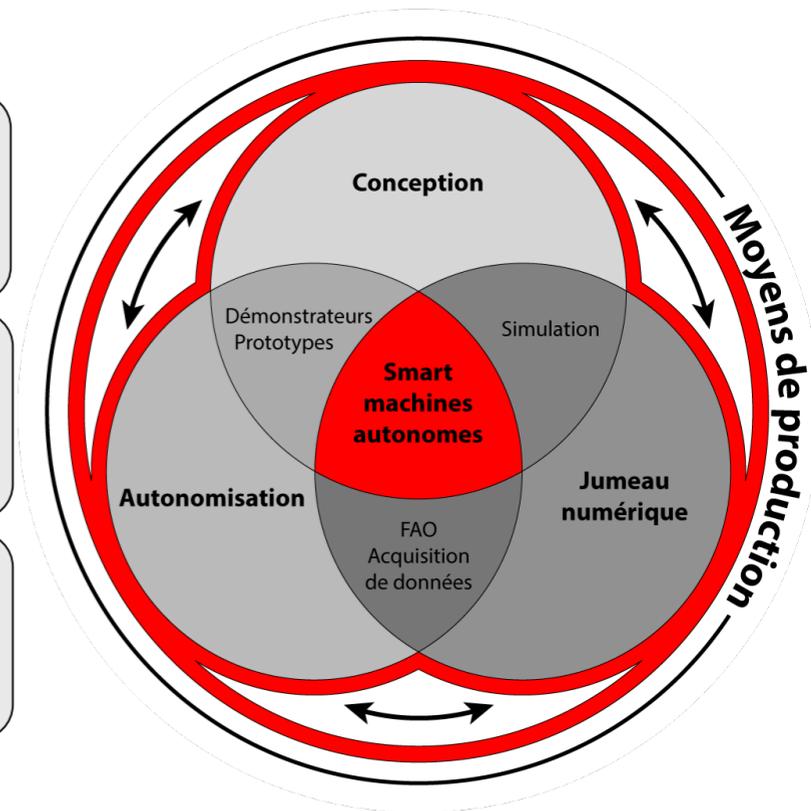
7 Assistants

A. Droz, A. Schaffter, R. Bolliger,
A. Jenzer, M. Cuche, S. Jung,
T. Marthe



Ra&D Groupe de compétences : Conception des moyens de production

Smart Machines autonomes	Conception	<ul style="list-style-type: none"> • Développement de moyens de production du futur : «petits», intelligents, efficaces et durables • Réalisation de démonstrateurs
	Autonomisation	<ul style="list-style-type: none"> • Optimisation des moyens de production par IA et approche hybride • Capacités cognitives des machines • Acquisition de données / FAO
	Jumeau numérique	<ul style="list-style-type: none"> • Simulation numérique • Chaîne numérique de la pièce à sa production (CAO-FAO-Simulation) • Digitalisation de la production



Ra&D Groupe de compétences : Automatisation Industrielle



Profs:

F. Golay, P. Amez-Droz, C. Jeannerat,
P. Neuenschwander

Adj. scientifiques:

A. Gay des Combes

Assistants recherches:

A. Donabédian, V. Remonnay, L. Jeandupeux,
A. Benhsina, K. Ndam

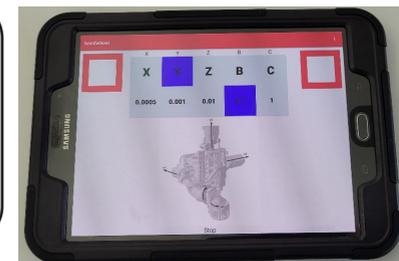
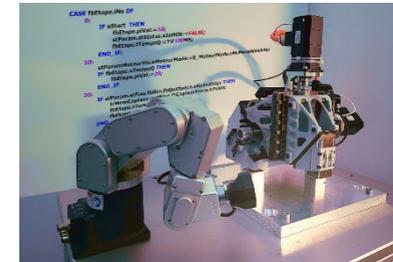
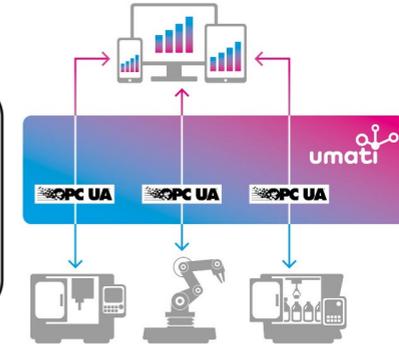
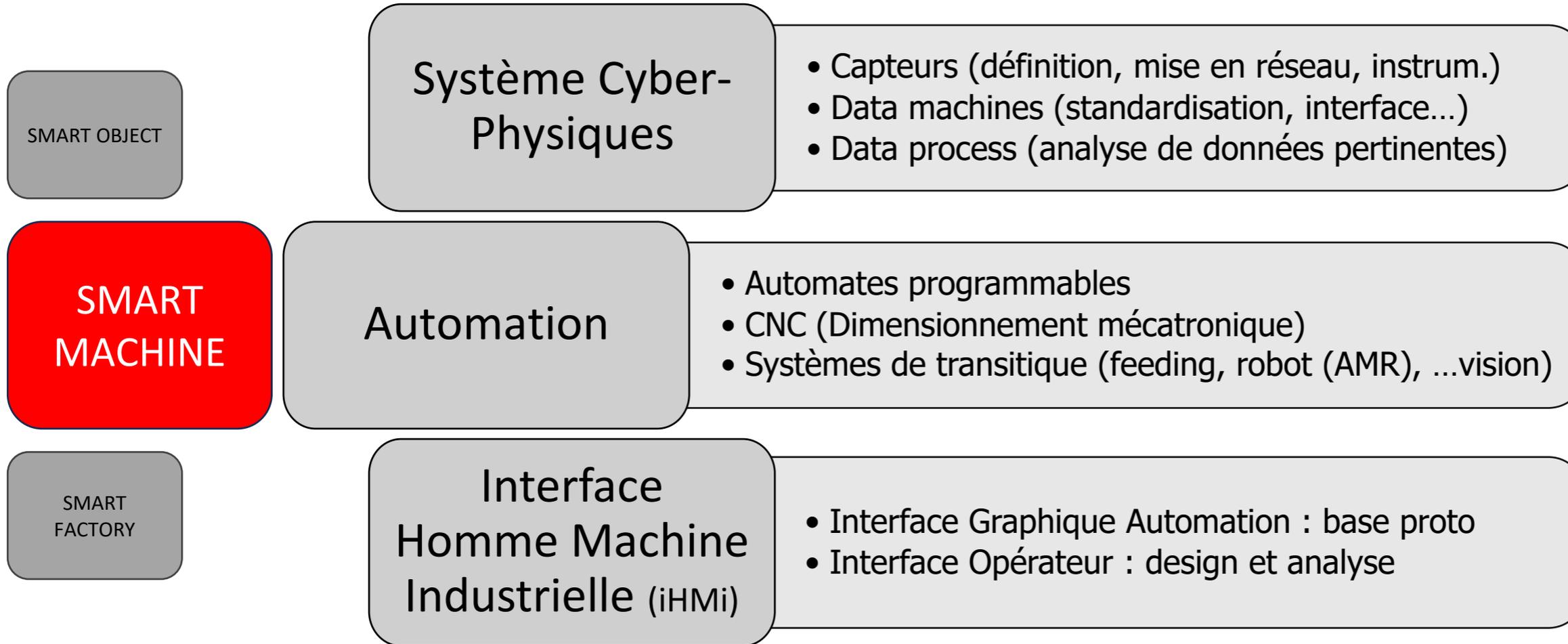
Collaborateur technique:

P. Schindelholz



AGILE ACADEMY (Formation : Green Belt, Yellow Belt, Gestion de projets, Pitching)
Philippe Liscia, Gaëdan Hunziker, Ludivine Duran, Caroline Heid, Silvia Angeloni
Suter

Ra&D : Groupe de compétences : Automatisation Industrielle





Analyse efficience CIMOD AS.4

Présentation des résultats

V2.0

CIPOSA

7 juillet 2023 – Christophe Varidel

Etude CIPOSA machine CIMOD As.4



Caractéristiques générales :

- Assemblage T0 et T1 précis dans les 2.5µm
- Librement programmable et configurable
- Temps de cycle observé assemblage de 3 éléments : 10 à 15 sec.
- Modules Plug & Play disponibles :
 - Alimentation Modufeed®
 - Palettisation
 - Chassage
 - Sertissage
 - Contrôle par vision

Caractéristiques énergétiques :

- Raccordement électrique : 1.6 kW
- Débit d'air comprimé : 84L/min

Objectifs de l'étude :

- Cartographie de la consommation d'énergie
- Analyse de l'efficacité (écoaudit)

Cartographie consommation - Mesures et démarche

Grandeurs mesurées :

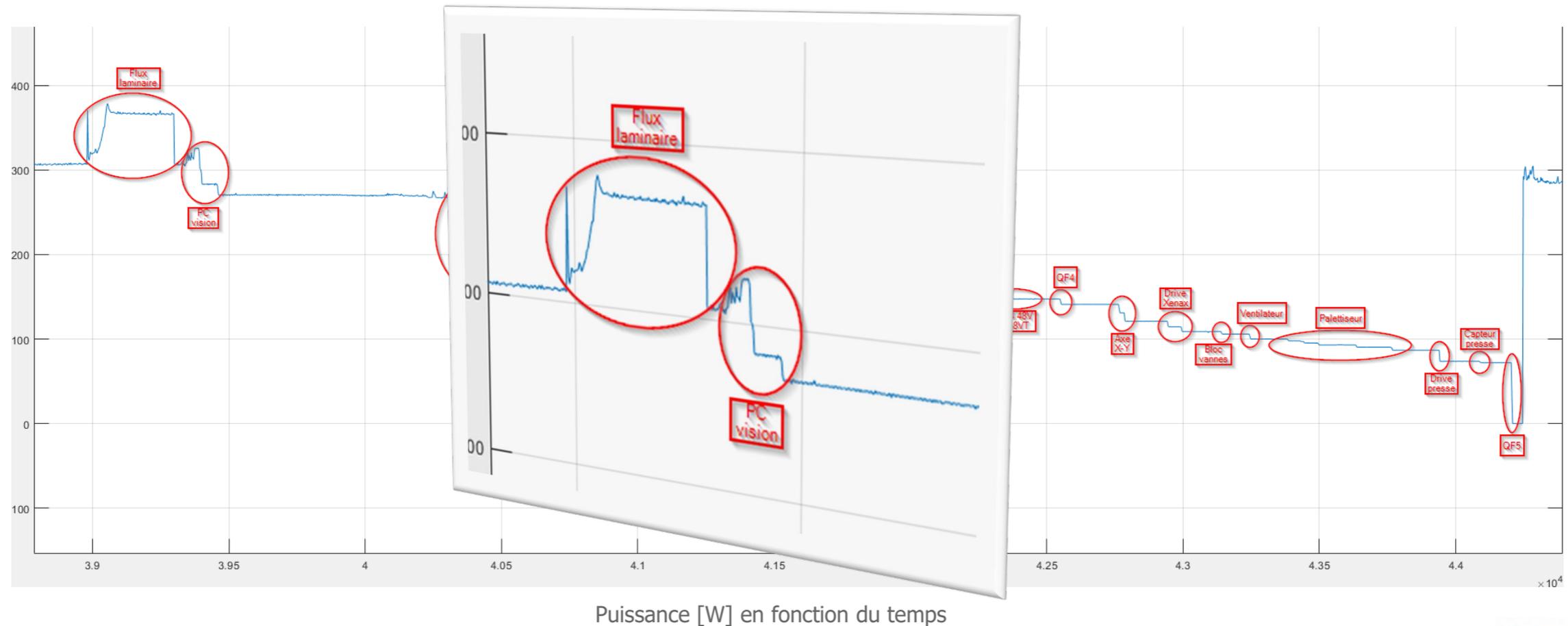
- Puissance électrique à l'entrée (wattmètre triphasé)
- Débit d'air comprimé en entrée (débitmètre massique)

Démarche de mesure :

- Arrêt consommateurs les uns après les autres  Consommation électrique de chaque élément «statique»
- Pilotage actuateurs les uns après les autres  Consommation des actuateurs (électriques et pneumatiques)
- Cycle de fonctionnement  Consommation énergie et air comprimé sur un cycle type

Cartographie consommation – Démarche mesure puissance électrique

Arrêt des consommateurs électrique les uns après les autres :



Cartographie consommation – Consommation mesurée vs plaquette

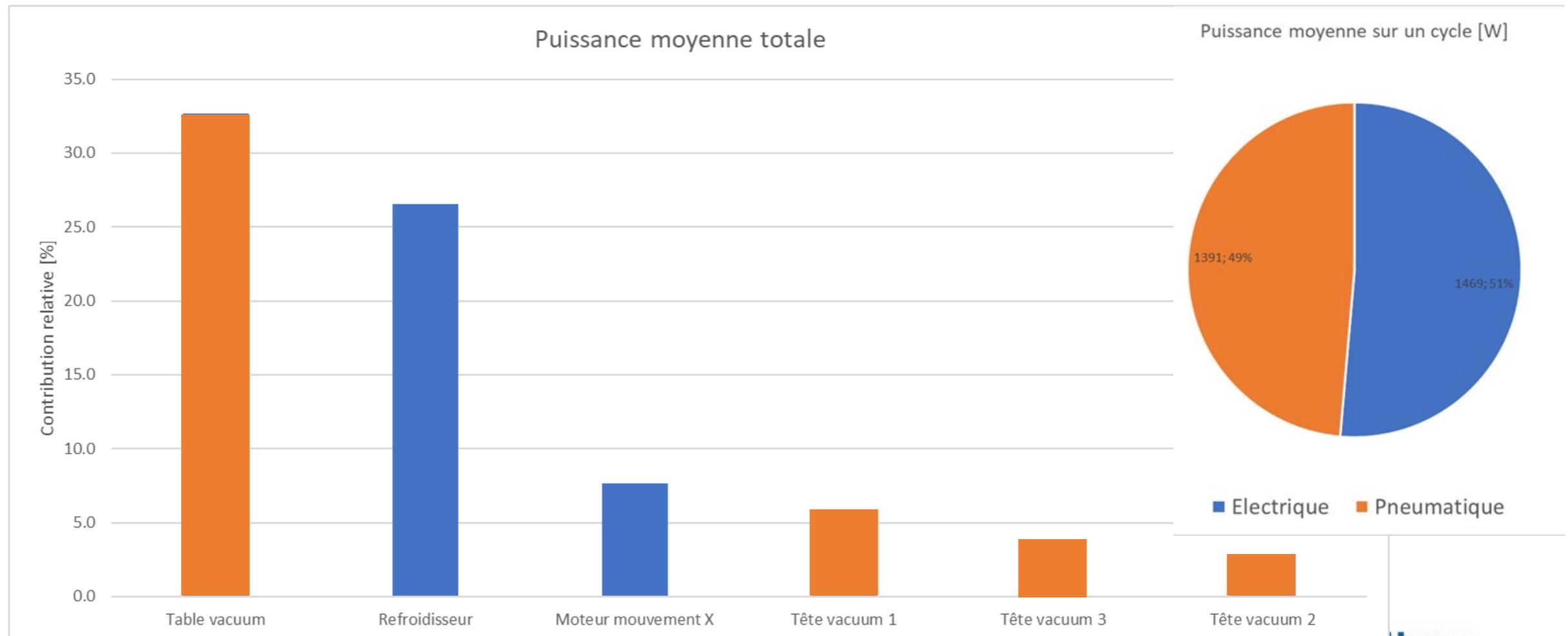
- Mesure pour cycle type sans pièces (dry-run) :
 - Puissance électrique moyenne : 1'469 W
 - Débit d'air moyen : 68 NL/min
- Selon plaquette (rappel) :
 - Puissance électrique moyenne : 1'600 W
 - Débit d'air moyen : 84 NL/min

Cartographie consommation – Puissance et énergie moyenne

- Cycle type sans pièces (dry-run) :
 - Puissance moyenne :
 - Puissance électrique moyenne : 1'469 W (51%)
 - Puissance air comprimé (équivalence électrique) : 1'391 W (49%)
 - **Puissance électrique moyenne totale : 2'860 W**
 - Énergie moyenne pour 1 cycle :
 - Énergie électrique moyenne : ~13.2 kJ (3.7 Wh)
 - Énergie air comprimé (équivalence électrique) : ~12.5 kJ (3.5 Wh)
 - **Énergie électrique moyenne totale : ~25.7 kJ (7.2 Wh)**

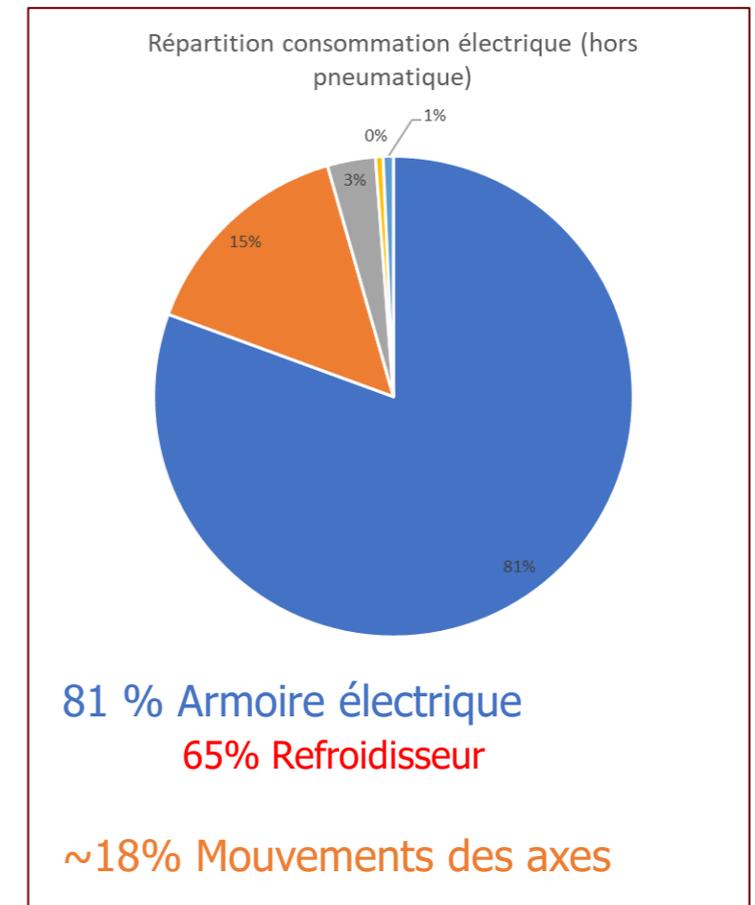
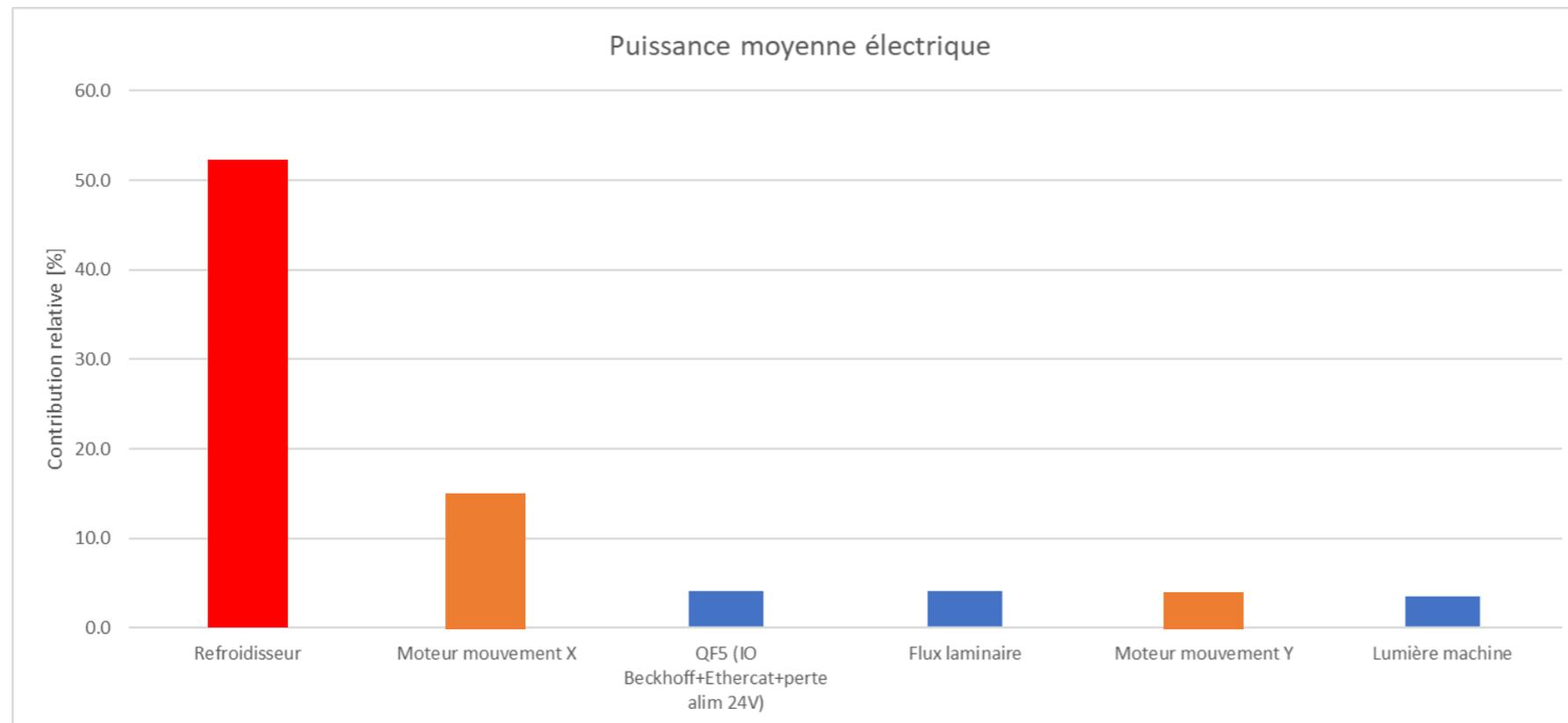
Cartographie consommation – Identification grands consommateurs

- Consommation totale (selon cycle type) : 6 plus grands consommateurs (79%)



Cartographie consommation – Répartition électrique

- Consommation électrique des 6 plus grands consommateurs (82%)



Cartographie consommation – Pistes d'amélioration

- Amélioration pour le refroidisseur : (65% de la consommation électrique)

Piste	Suppression machine frigorifique
Description	Refroidissement liquide et évacuation par radiateur/ventilateur, sans machine frigorifique
Intérêts	<ul style="list-style-type: none"> - Suppression pompe à chaleur énergivore - Suppression fluide dangereux pour l'environnement - Machine plus simple (moins d'éléments)
Risques à évaluer	<ul style="list-style-type: none"> - Température moteur acceptable - Température variable selon température ambiante - Précision suffisante - Durée de vie peu impactée
Estimation réduct. conso. [%]	-21%

Cartographie consommation – Pistes d'amélioration

- Consommation électrique : **Axes** (18% de la consommation électrique)

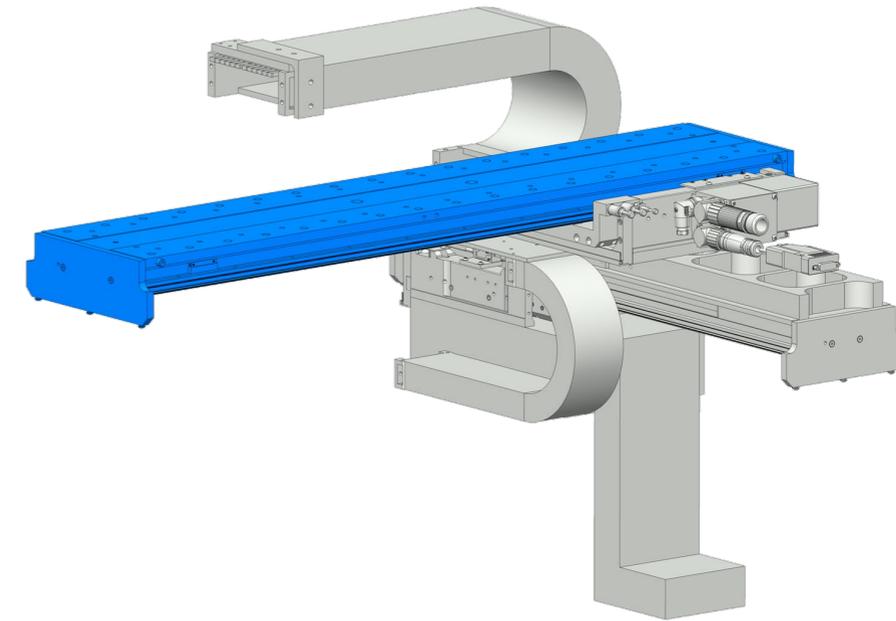
Une démarche d'éco-conception doit être menée :

- **Redéfinition des besoins et adaptations mécaniques :**
 - Courses et temps de cycle
 - Précision absolue et en répétabilité
 - Durée de vie
 - Rigidité mécanique et électrique
 - Maintien en position (gravité) et prises d'origine
- **Optimisation des masses en mouvement**

Cartographie consommation – Pistes d'amélioration

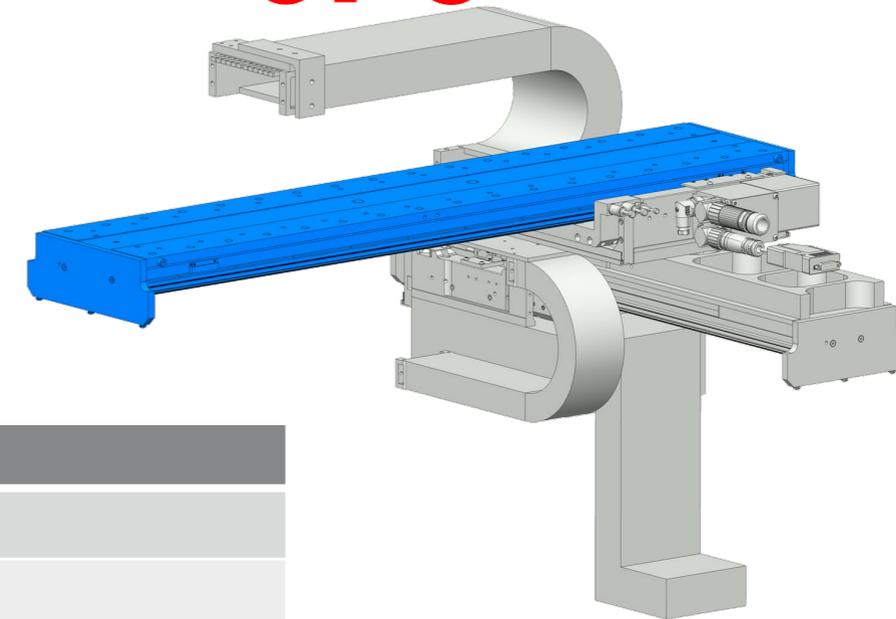
- Démarche d'éco-conception pour l'Axe X

	Besoin	Situation actuelle
Actuateur	Choix libre	moteur linéaire
Contrainte thermique	Si nécessaire	refroidissement liquide
Temps de cycle	9s	
Temps de mouvement	1s (3x)	
Course	700 mm	
Accélération et vitesse	3m/s ² (0.3g) 1 m/s	5 m/s ² (0.5g avec masse embarquée) jusqu'à 5 m/s
Précision	0.01 mm	+/-0.002 mm
Masse en mouvement	48 kg	66kg
Masse du moteur embarquée		6.8 kg
Puissance		219W



Cartographie consommation – Pistes d'amélioration

- Démarche d'éco-conception pour l'Axe X



	Besoin	Proposition
Actuateur	Choix libre	Servo-moteur et vis à billes
Contrainte thermique	Si nécessaire	Aucune
Accélération et vitesse	3m/s ² (0.3g) 1 m/s	3 m/s ² jusqu'à 2 m/s
Précision	0.01 mm	+/-0.005 mm
Masse en mouvement		56kg (gain cumulé)
Masse entrainement embarquée		2.75 kg (vis+écrou) Le corps du moteur est statique
Autres avantages		Pas de couple de maintien énergivore Durée de vie accrue des guidages car exempts de la force d'attraction magnétique (0 N vs 1120N) Rigidité des interfaces moins problématiques (même raison)
Inconvénient		Durée de vie des éléments de transmission à prendre en compte
Consommation		180 W par trajet

Cartographie consommation – Pistes d'amélioration

- Bilan remplacement des moteurs linéaires par une vis-à-billes

Gains

Consommation de maintien en position nettement améliorée

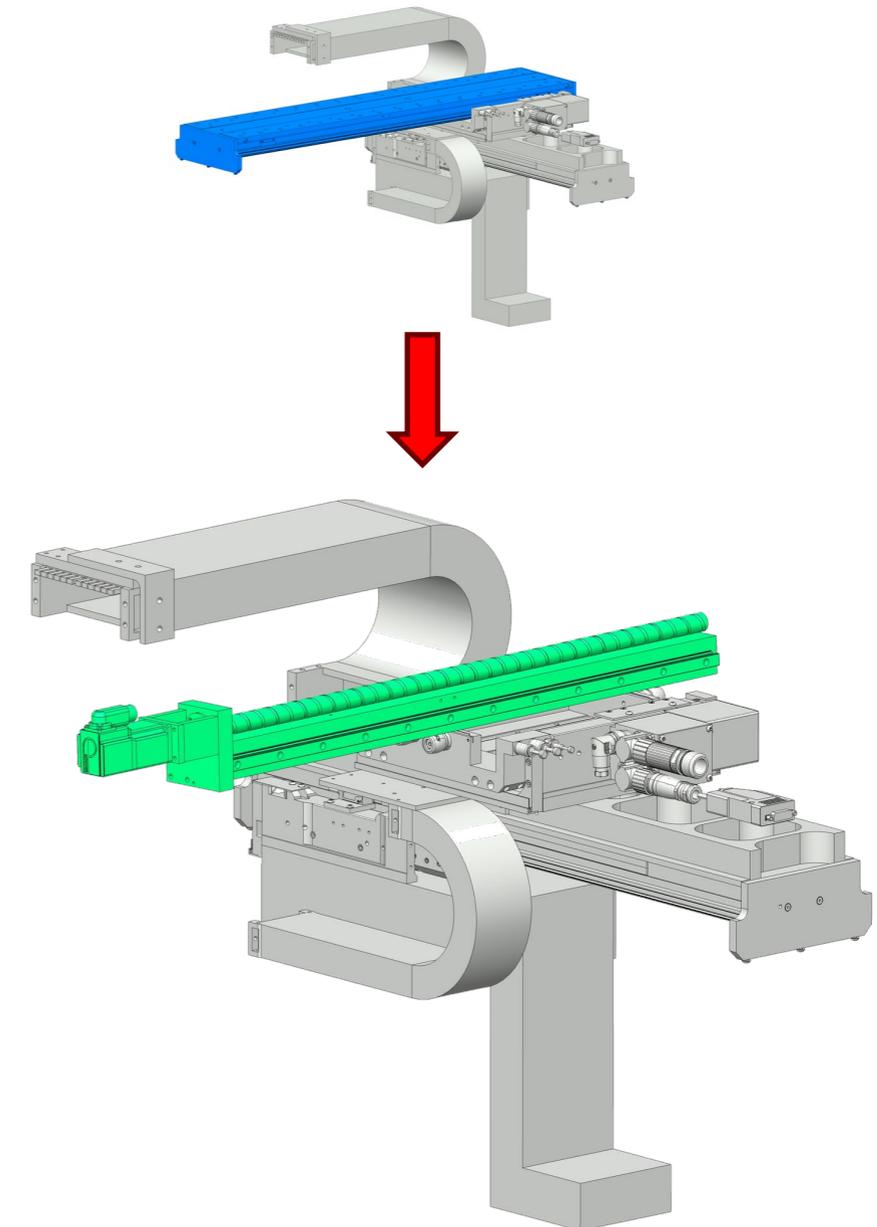
Plus nécessaire de refroidir (convection naturelle suffisante)

Machine plus simple (plus de refroidissement d'axes)

Suppression fluide dangereux pour l'environnement

Estimation de l'amélioration énergétique du mouvement : **17%**

(3% de la consommation de la machine)



Cartographie consommation – Pistes d'amélioration

Démarche de conception efficiente mécanique :

Elle consiste un re-design des pièces mécaniques afin d'obtenir :

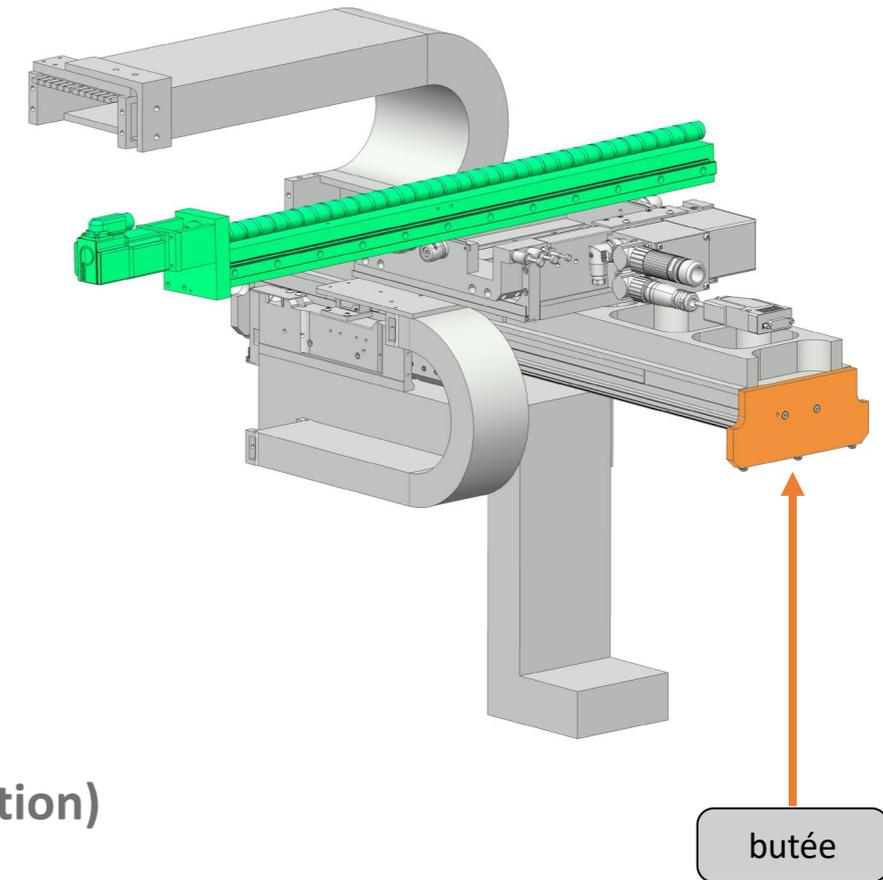
Moins de masse en mouvement

- Diminution énergie pour mise en mouvement
- Amélioration de la dynamique (réduction temps cycle)

Une diminution des coûts de fabrications (pas d'impact sur la production)

Exemple des pièces qui pourraient être concernées :

- Butées mécaniques sur les axes embarqués
- Structures d'axes : dimensions, rigidités

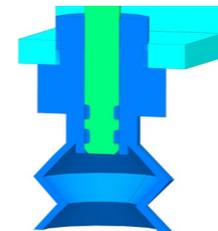


Cartographie consommation – Pistes d’amélioration

Consommateurs pneumatiques :

- Intérêt : diminution de la consommation d’air comprimé.
- Remplacement des **systèmes de préhension Venturi** actuels par diverses solutions :

	Venturi avec économie	Vacuum par pompe à vide	Vacuum par action mécanique	Pince électromécanique	Suppression fuite
Estimation réduction conso. totale [%]	-23%	-41%	-42%	-43%	-2%



Cartographie consommation – Conclusion

- Cumul des pistes les plus prometteuses :
 - Suppression du refroidisseur
 - Remplacement des moteurs linéaires par des moteurs rotatifs et transmission par vis à billes ou courroie
 - Réduction des masses en mouvement
 - Suppression des fuites
 - Remplacement des vacuums Venturi par une pompe à vide
- Résultats :
 - **Puissance moyenne : -72%** (806 W au lieu de 2'860 W)
 - **Énergie sur un cycle : -72%** (2 Wh au lieu de 7.1 Wh)

Écoaudit – Objectif et démarche

Objectif :

- Bilan énergétique sur tout le cycle de vie : matériaux, fabrication, transport, utilisation et élimination

Démarche :

- Sur la base de la CAO, décomposition en composants
- Pour chaque composant, introduction des données dans un logiciel spécifique (Ansys Granta Edu. 22)
- Analyse des résultats globaux et pour chaque phase du cycle de vie :
 - Énergie
 - Empreinte carbone

Écoaudit – Objectif et démarche

Démarche, choix et hypothèses :

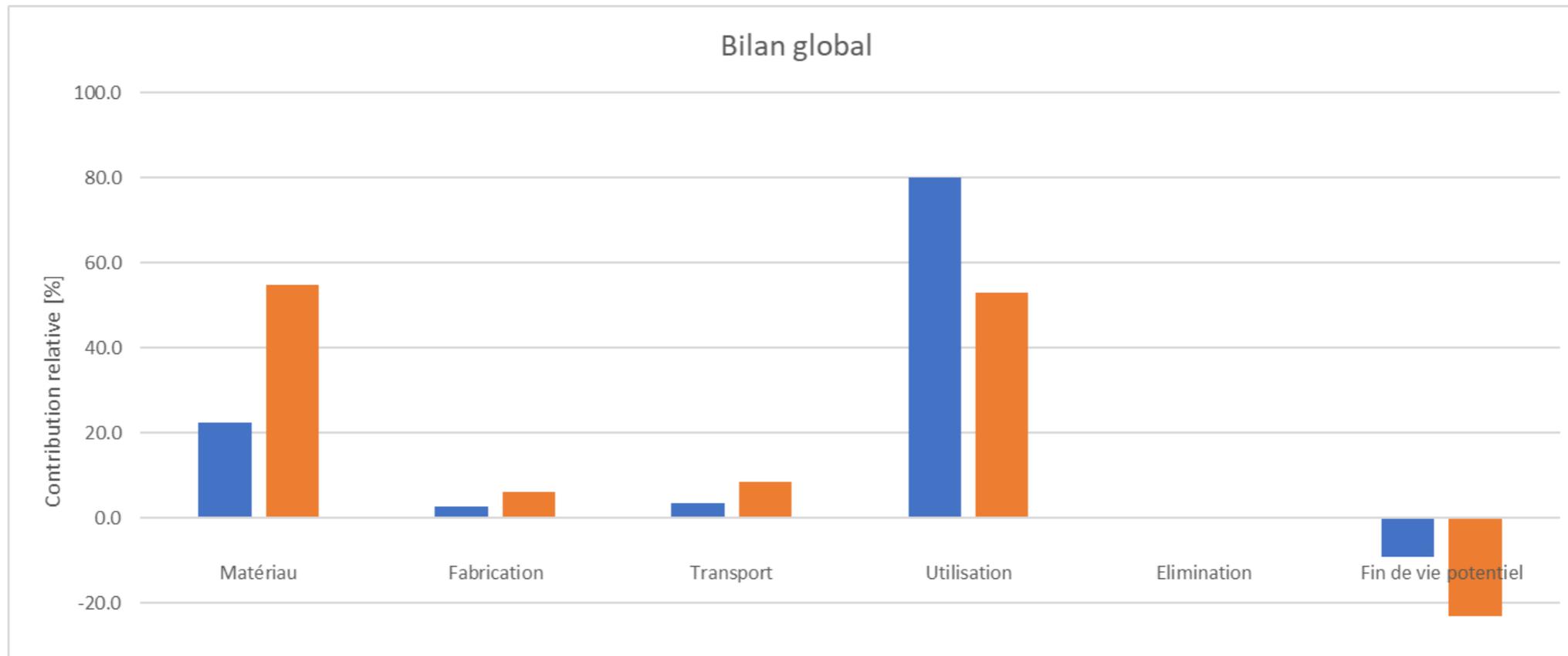
- Sur la base de la CAO, décomposition de la machine en 196 composants (masse totale ~1'500 kg)
- Introduction des informations dans Ansys Granta telles que :
 - Pour chaque composant : matériau, masse, procédés de fabrication, % matière enlevée, fin de vie...
 - Procédés d'assemblage et de finition
 - Transport (km et moyen de transport)
- Durée de vie de la machine : 10 ans
- Fonctionnement : 16h/jour, 220 jours/an
- Pays d'utilisation (mix électrique) : Suisse (1.2 MJ/MJ_{él}, 0.02 kg CO₂/MJ_{él})

Écoaudit – Résultats

Résultat général :

Total sur la durée de vie (10 ans) :

- **531'073 MJ (148 MWh)**
- **16'056 kg CO2**



Les pistes d'amélioration sont proposées dans la première partie de la présentation

- Supprimer, remplacer ou réduire l'utilisation de matériaux à risque
- Utiliser des matériaux recyclés

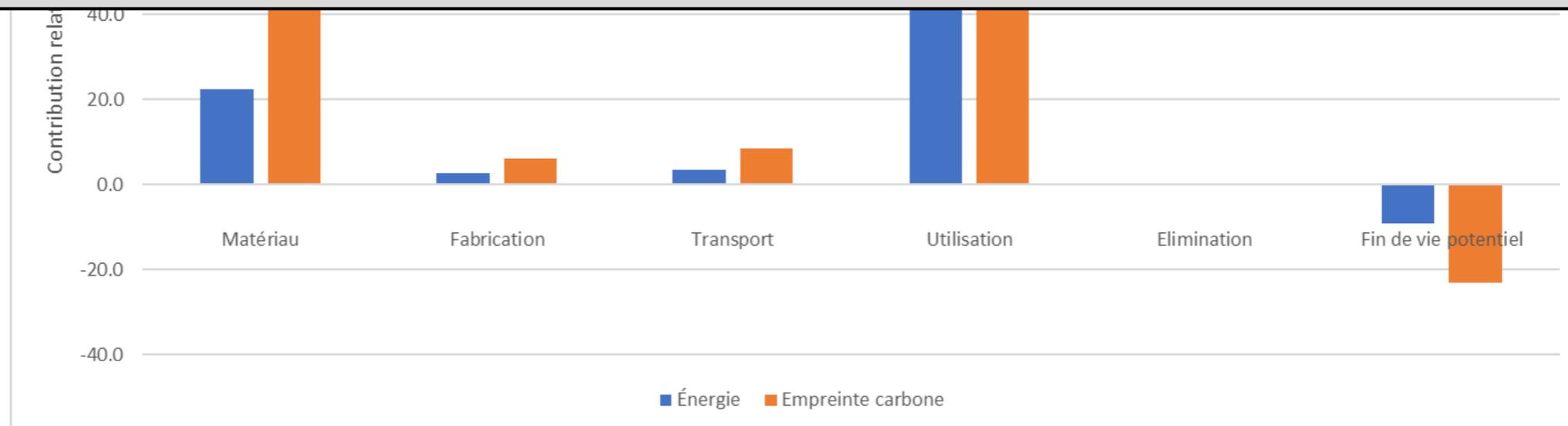
Écoaudit – Résultats

Résultat général :

Bilan global

100.0

Mettre l'effort en priorité sur la réduction de la consommation d'énergie durant la phase d'utilisation : **80%**
 (le reste pour les matériaux, la fabrication et l'assemblage, le transport et l'élimination)



Merci de Votre attention

Prof. Raphaël Montavon

Responsable du Groupe Conception des moyens de production

Haute Ecole Arc Ingénierie (HES-SO)

Rue de la Serre 7

CH-2610 Saint-Imier

Tél. mobile +41 76 557 22 28

Internet www.he-arc.ch/ingenierie

Prof. Patrick Neuenschwander

Responsable du Groupe Automatisation Industrielle

Haute Ecole Arc Ingénierie (HES-SO)

Rue de la Serre 7

CH-2610 Saint-Imier

Tél. mobile +41 76 557 18 39

Internet www.he-arc.ch/ingenierie