



Université
de Technologie
Tarbes
Occitanie Pyrénées



Séminaire DD&RS
LA TRANSITION
ENVIRONNEMENTALE
DANS L'INDUSTRIE



L'impact environnemental en usinage le cas des alliages de titane

Vincent Wagner
Professeur des universités



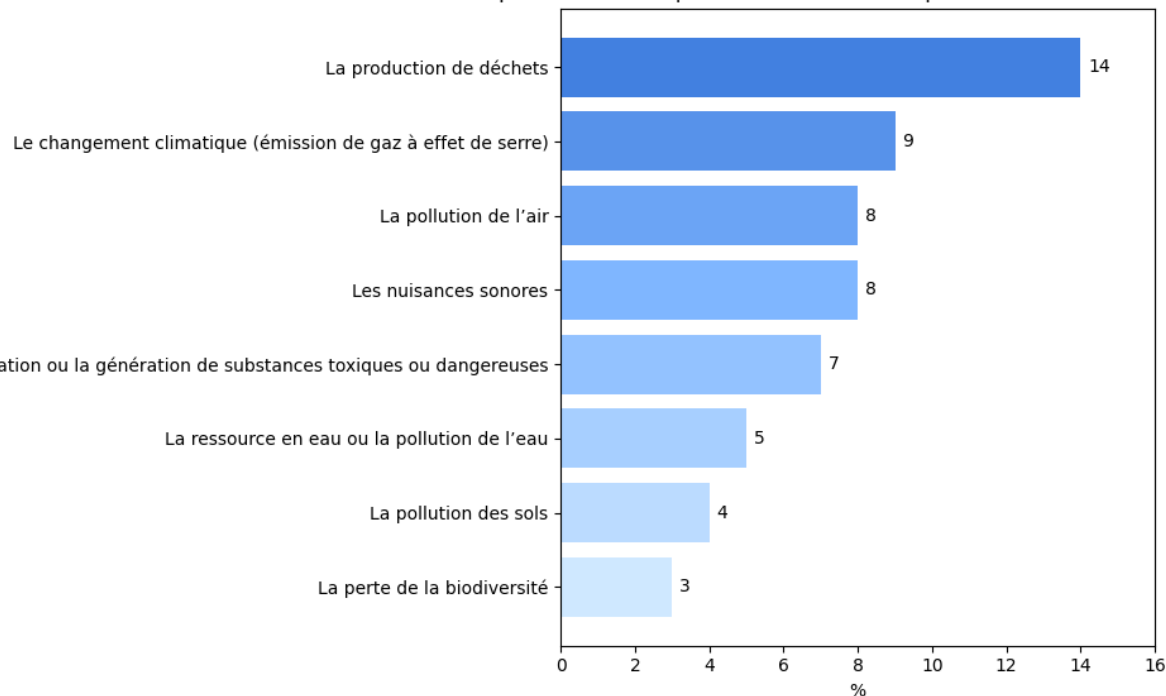
Contexte

Impact environnemental

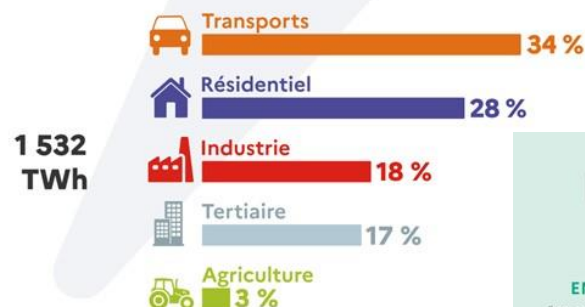
En somme, cette notion inclut diverses **conséquences** sur la **planète** et les **écosystèmes** naturels qui peuvent porter sur des aspects tels que :

- **l'épuisement des ressources** (eau, énergie, espaces, etc.) ;
- les **pollutions diverses** (eau, air, sol, production de déchets) ;
- le **changement climatique** (émissions de gaz à effet de serres ou GES, empreinte carbone) ;
- la **destruction de la biodiversité** (atteinte de la faune et de la flore, défortstation , etc.).

Entreprises estimant que leur activité a un impact « fort » ou « très fort » sur...



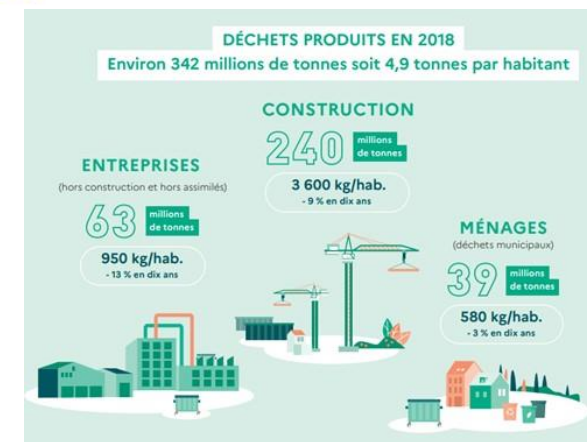
Consommation finale énergétique par secteur en 2022



Répartition des activités consommatrices d'eau



Ecologie.gouv.fr / CCI France - 2023



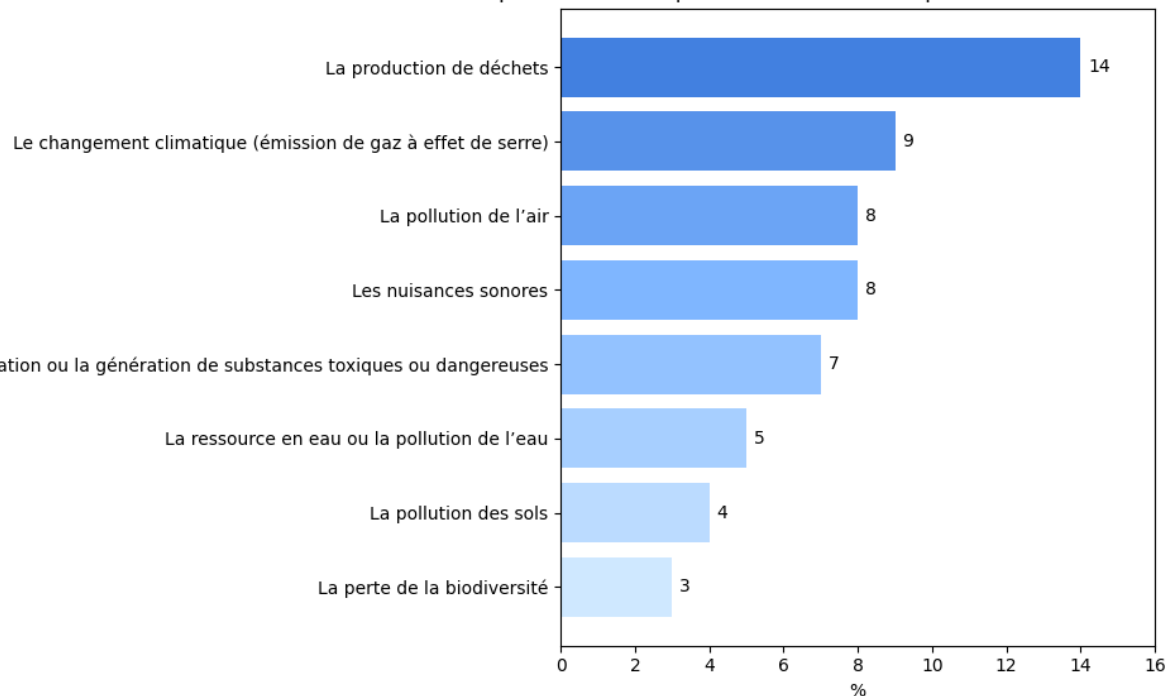
Contexte

Impact environnemental

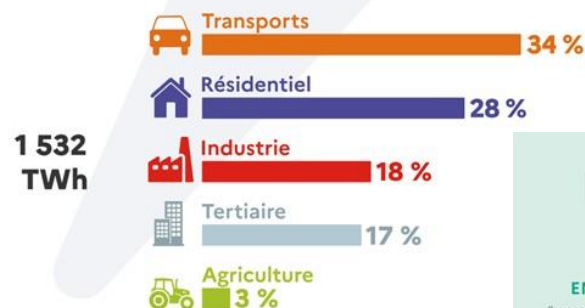
En somme, cette notion inclut diverses **conséquences** sur la **planète** et les **écosystèmes** naturels qui peuvent porter sur des aspects tels que :

- **l'épuisement des ressources** (eau, énergie, espaces, etc.) ;
- les **pollutions diverses** (eau, air, sol, production de déchets) ;
- le **changement climatique** (émissions de gaz à effet de serres ou GES, empreinte carbone) ;
- la **destruction de la biodiversité** (atteinte de la faune et de la flore, défortstation , etc.).

Entreprises estimant que leur activité a un impact « fort » ou « très fort » sur...



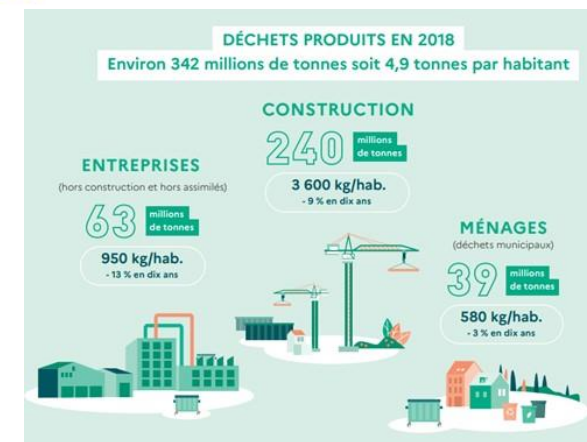
Consommation finale énergétique par secteur en 2022



Répartition des activités consommatrices d'eau



Ecologie.gouv.fr / CCI France - 2023



Contexte

Impact environnemental

- l'épuisement des ressources ;
- les pollutions diverses ;
- le changement climatique ;
- la destruction de la biodiversité .

Entreprises estimant que leur activité a un impact « fort » ou « très fort » sur...



Consommation finale énergétique par secteur en 2022



Répartition des activités consommatrices d'eau



Ecologie.gouv.fr / CCI France - 2023



Contexte

Impact environnemental

- l'épuisement des ressources ;
- les pollutions diverses ;
- le changement climatique ;
- la destruction de la biodiversité .



Loi Climat et Résilience (2021) – Principaux impacts pour l'industrie manufacturière

1. Décarbonation de l'appareil productif

- Orientation de la recherche et de l'innovation vers la transition bas-carbone
- Alignement avec la Stratégie Nationale Bas-Carbone (SNBC)
→ Articles 30 à 33

2. Intégration des critères environnementaux dans l'économie

- Les marchés publics doivent intégrer au moins un critère environnemental dans l'attribution des contrats
→ Article 35

3. Gouvernance environnementale dans l'entreprise

- Le Comité Social et Économique (CSE) doit être consulté sur les conséquences environnementales des décisions stratégiques
→ Articles 40 – 41

4. Développement de nouvelles filières industrielles énergétiques

- Facilitation du déploiement d'installations de production d'hydrogène renouvelable
→ Article 87

5. Bâtiments industriels et infrastructures

- Obligation d'intégrer production d'énergie renouvelable ou végétalisation pour certains bâtiments industriels et commerciaux
→ Articles 101 – 102

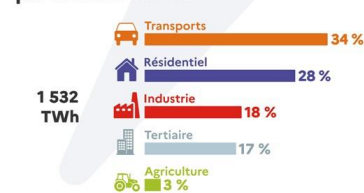
6. Responsabilité environnementale et sanctions

- Renforcement des sanctions pénales pour les atteintes graves à l'environnement (pollutions industrielles)
→ Articles 279 à 297

Entreprises estimant que leur activité a un impact « fort » ou « très fort » sur...



Consommation finale énergétique par secteur en 2022



Répartition des activités consommatrices d'eau



Contexte

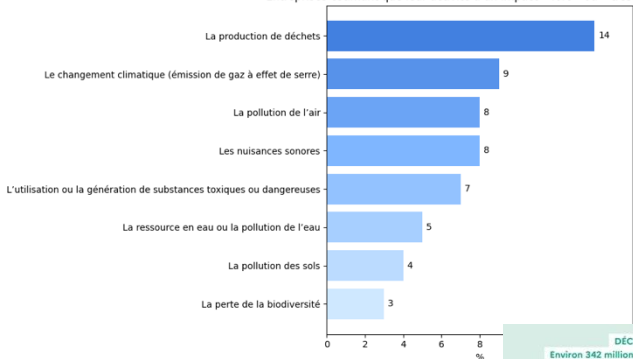
Impact environnemental

- l'épuisement des ressources ;
- les pollutions diverses ;
- le changement climatique ;
- la destruction de la biodiversité .

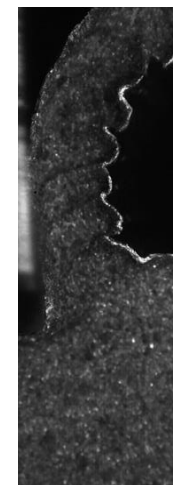
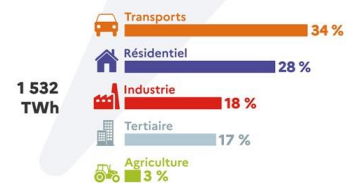


Et l'usinage ?

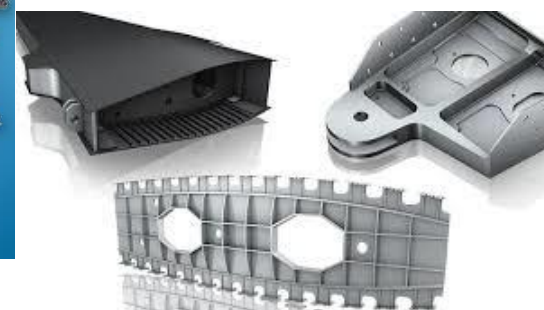
Entreprises estimant que leur activité a un impact « fort » ou « très fort » sur...



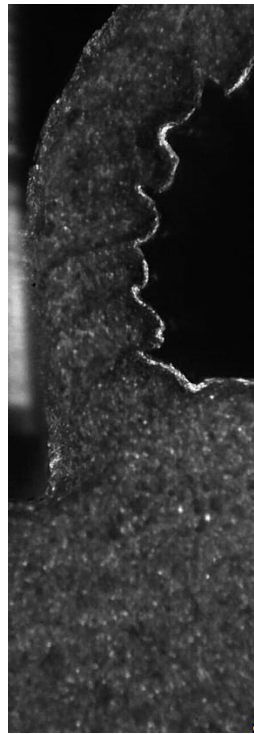
Consommation finale énergétique par secteur en 2022



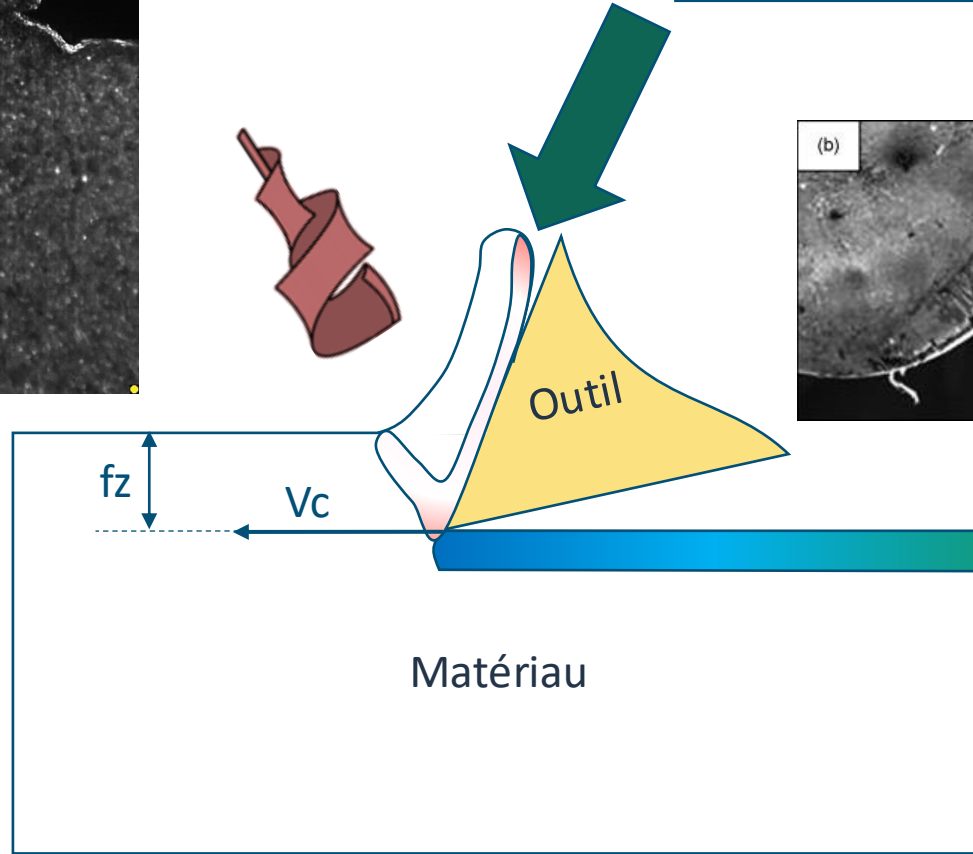
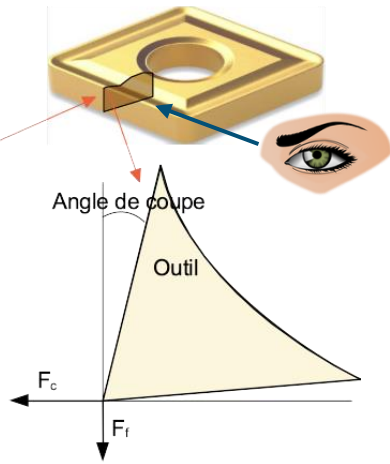
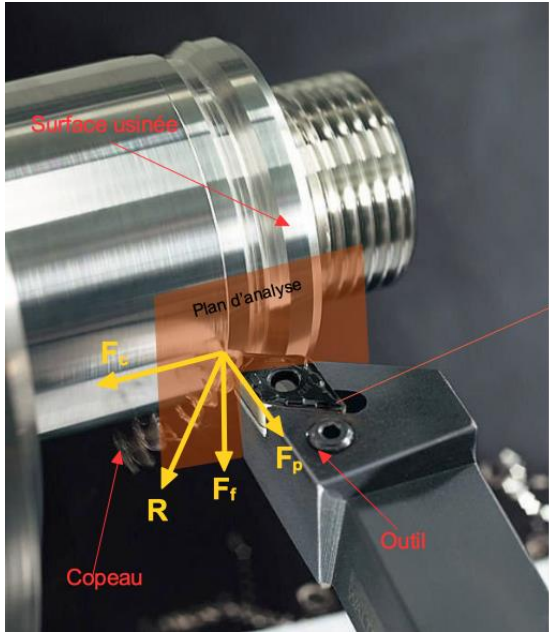
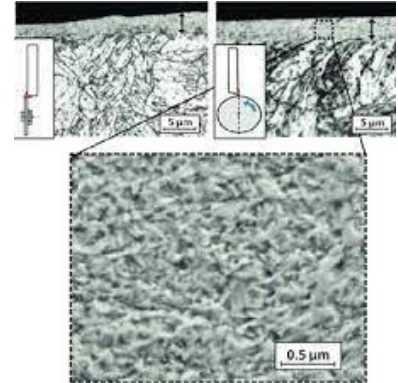
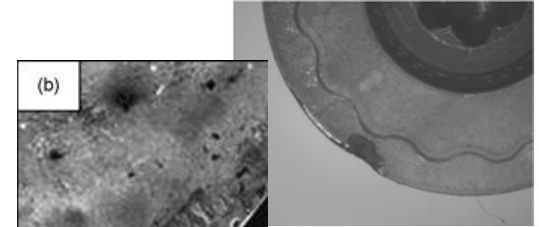
Répartition des activités consommatrices d'eau



L'usinage ?



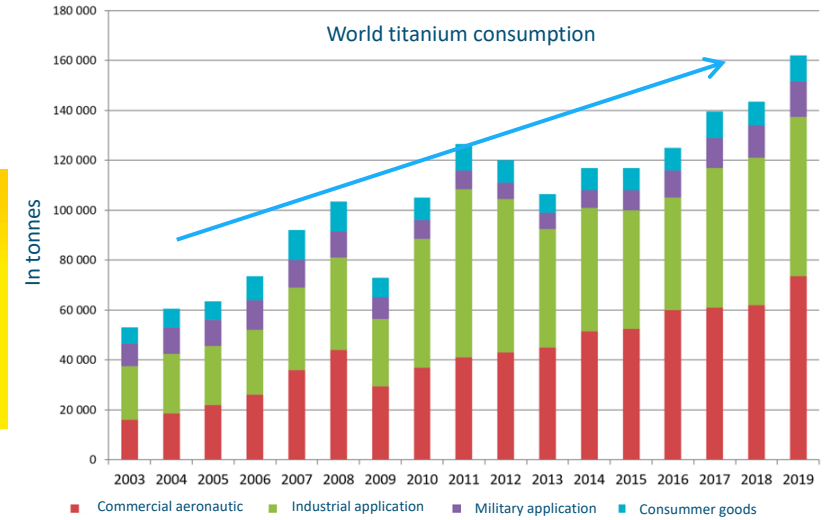
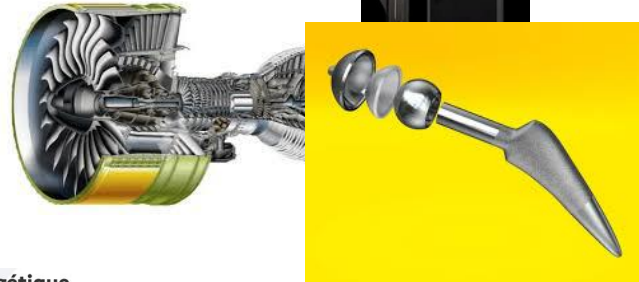
Assistance à la coupe



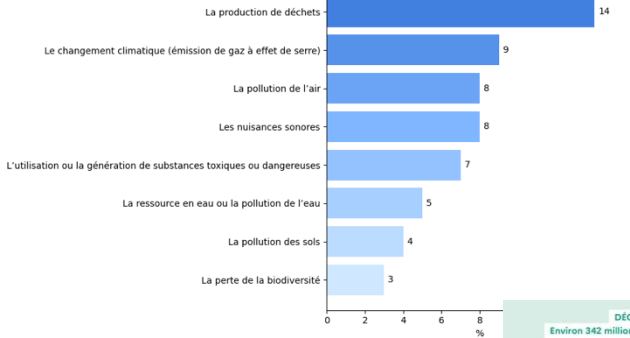
Bilan

Impact environnemental

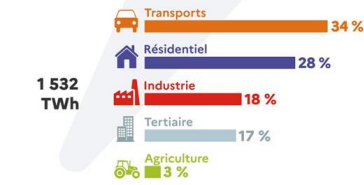
- l'épuisement des ressources ;
- les pollutions diverses ;
- le changement climatique ;
- la destruction de la biodiversité .



Entreprises estimant que leur activité a un impact « fort » ou « très fort » sur...



Consommation finale énergétique par secteur en 2022



Face à un dilemme

Répartition des activités consommatrices d'eau



Environnement



Productivité



Produire toujours plus vite

Closed door machining

Qualité

Intégrité de surface

L'usinage

(Komanduri et Von Turkovich 1981)

Mauvaise conductivité thermique

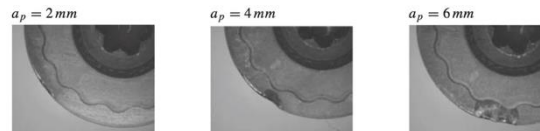
Affinité chimique

Faible longueur de contact
entre l'outil et le copeau

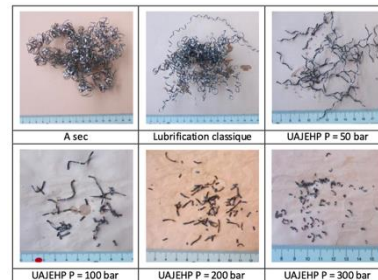
Formation des copeaux non constante

Instabilité plastique thermique

Usure des outils



Copeaux long



Intégrité de surface

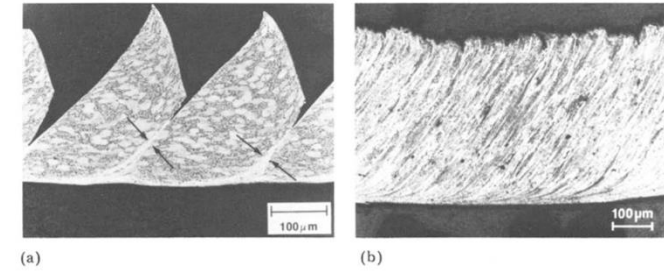
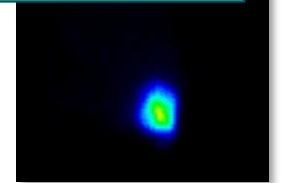


Fig. 1. Micrographs of polished and etched longitudinal midsections of (a) a typical Ti-6Al-4V catastrophically shear-failed chip and (b) a continuous chip.

Compréhension des mécanismes de coupe

Réduire les conditions de coupe



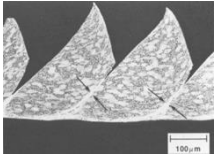
Développement d'assistances

Comprendre les phénomènes d'usure

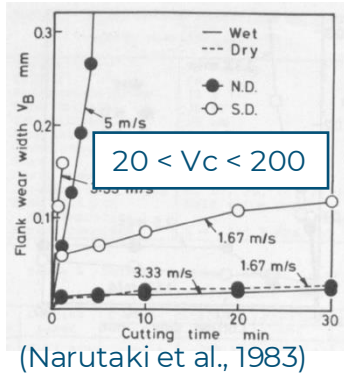


L'usinage

0,0032 < Vc < 30

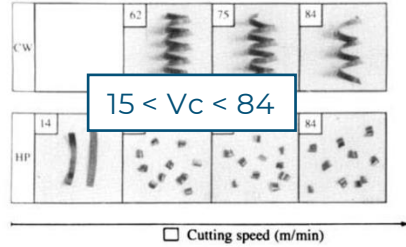


(Komanduri et Von Turkovich 1981)



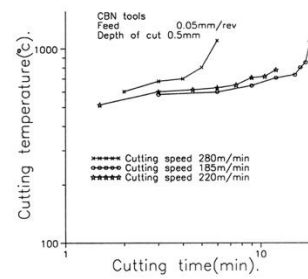
(Narutaki et al., 1983)

Work material: Ti6Al4V
Tool: K10 CNMA 120408
Feedrate: 0.25 mm/rev
DOC: 2.5 mm



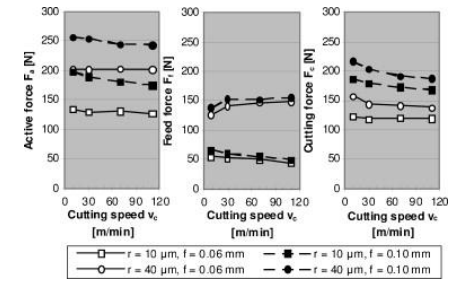
(Machado and Wallbank, 1994)

185 < Vc < 220



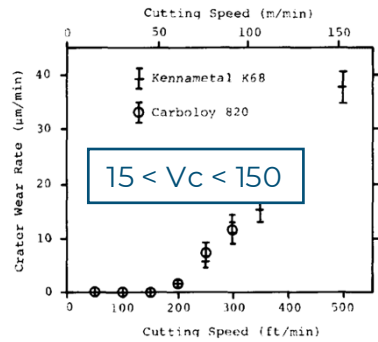
(Zoya & Krishnamurthy, 2000)

10 < Vc < 120

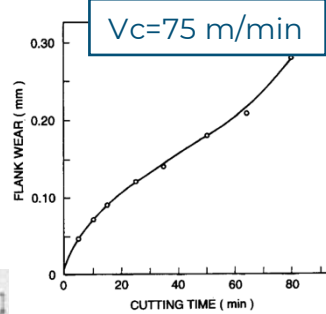


(Wyen and Wegener, 2010)

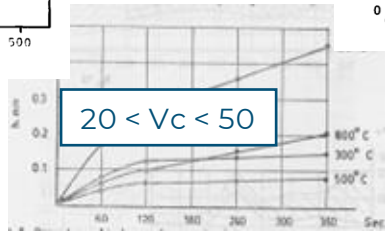
1981 1982 1983 1986 1994 1995 1999 2000 2001 2010 2017



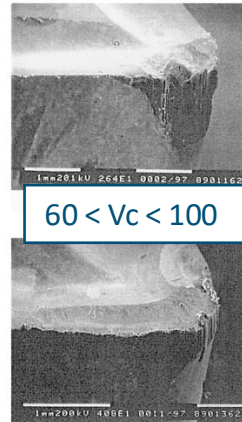
(Hartung et al., 1982)



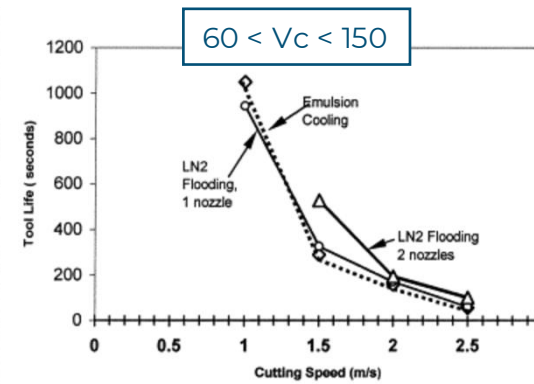
(Bhaumik et al., 1995)



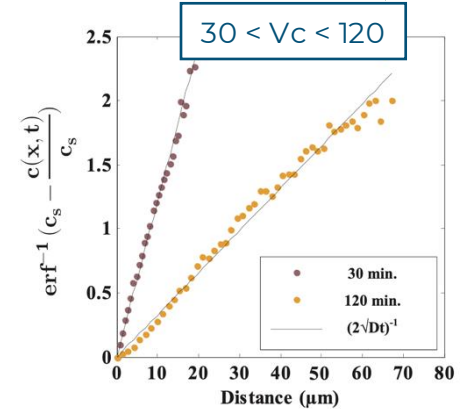
(Amin et Talantov 1986)



(Jawaid et al., 1999)



(Hong et al., 2001)

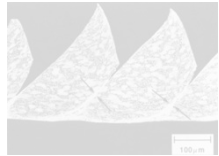


(Ramirez et al., 2017)

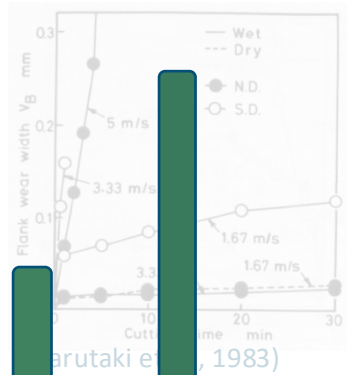
L'usinage

220

Vc (m/min)

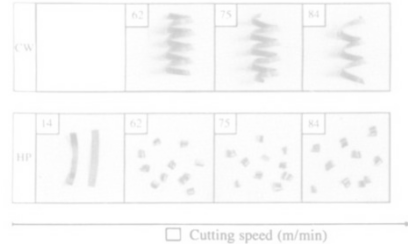


(Komanduri et Von Turkovich 1981)

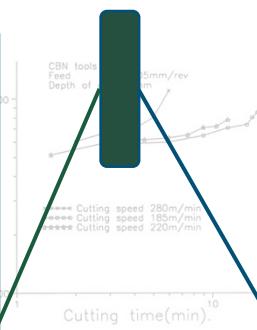


(Machado and Wallbank, 1994)

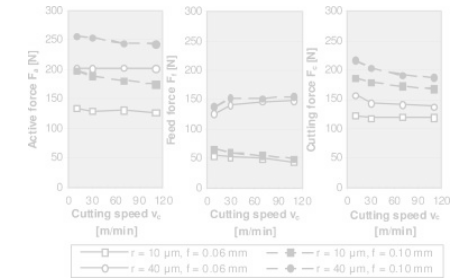
Work material: Ti6Al4V
Tool: K10 CNMA 120408
Feedrate: 0.25 mm/rev
DOC: 2.5 mm



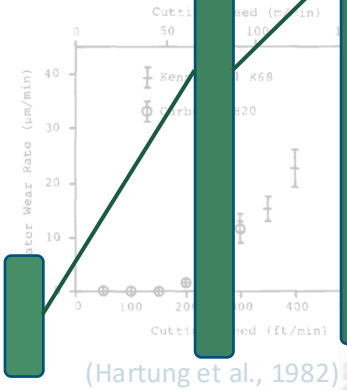
(Machado and Wallbank, 1994)



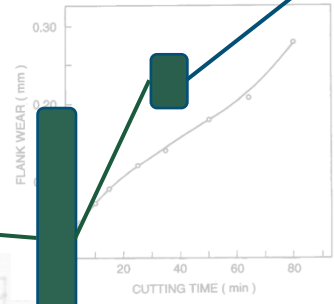
(Machado and Wallbank, 1994)



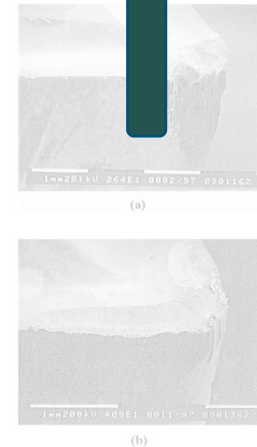
(Wyen and Wegener, 2010)



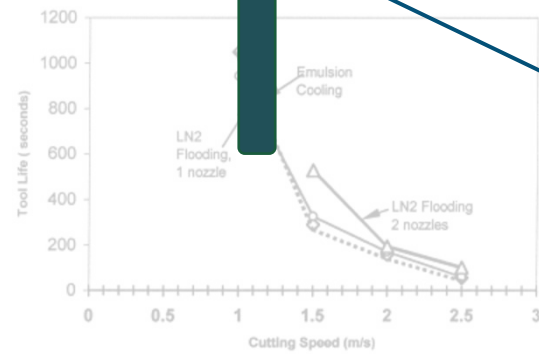
(Hartung et al., 1982)



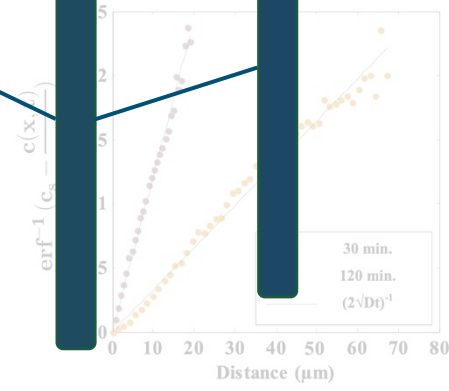
(Bhaumik et al., 1995)



(Jawaid et al., 1999)



(Hong et al., 2001)



(Ramirez et al., 2017)

1981 1982 1983 1986 1994 1995 1999 2000 2001 2010 2017

L'usinage

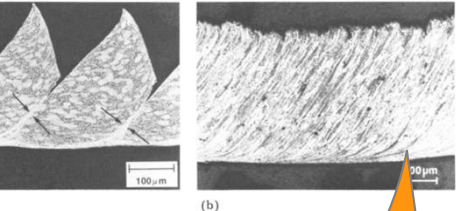
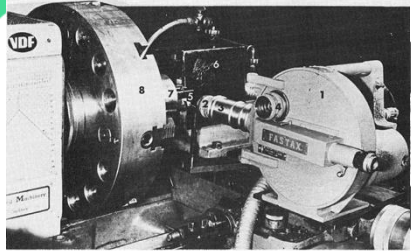
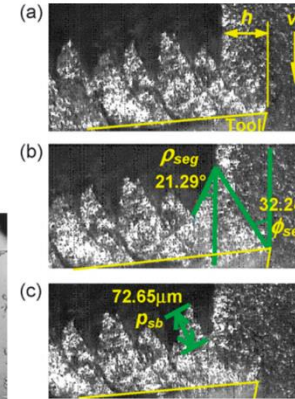
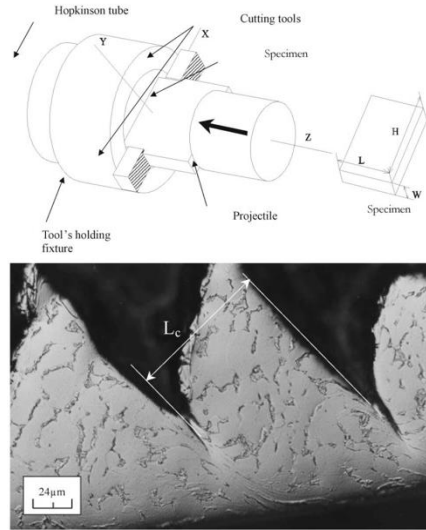
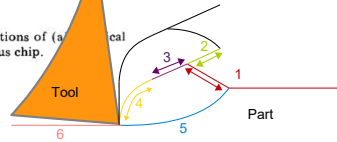


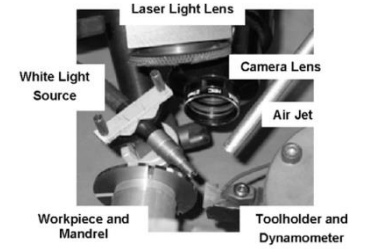
Fig. 1. Micrographs of polished and etched longitudinal midsections of (a) Ti-6Al-4V catastrophically shear-failed chip and (b) a continuous chip.



Segment Formation Begins
 $t = 0$
 $v_c = 4\text{m/min}$ $h = 0.100\text{mm}$

Segment Formation Ends
 Catastrophic Shear Begins
 $t = 1.08\text{ms}$
 $\epsilon_{seg} = 0.75$ $\dot{\epsilon}_{seg} = 700\text{ s}^{-1}$

Catastrophic Shear Ends
 Next Segment has Formed
 $t = 2.17\text{ms}$
 $\epsilon_{sb} = 9$ $\dot{\epsilon}_{sb} = 8250\text{ s}^{-1}$



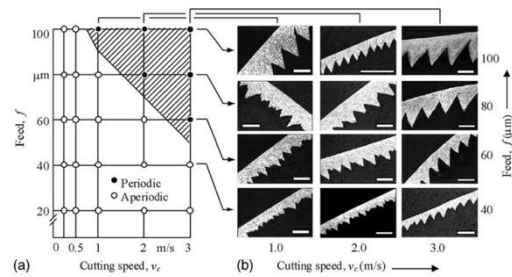
Faible conductivité thermique et
 chaleur spécifique

$$R = \frac{\frac{\partial \bar{\tau}}{\partial \bar{\gamma}}}{\frac{\partial \bar{\tau}}{\partial T} \frac{dT}{d\bar{\gamma}}}$$

(Komanduri, 1981)

$R > 1$: écoulement
 $R \approx 1$: localisation imminente
 $R < 1$: Adoucissement thermique

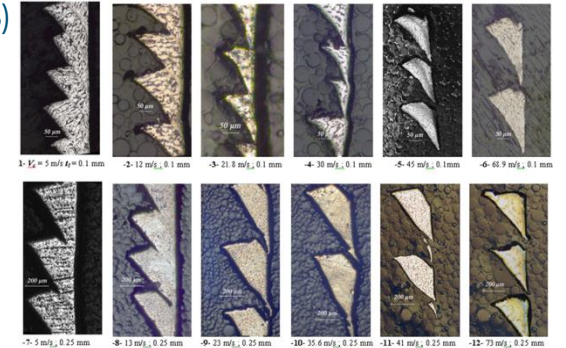
(Recht, 1964)



(Barry, 1995)

(Molinari, 2000)

(Cottarel, 2008)



(Sutter, 2013)

1964

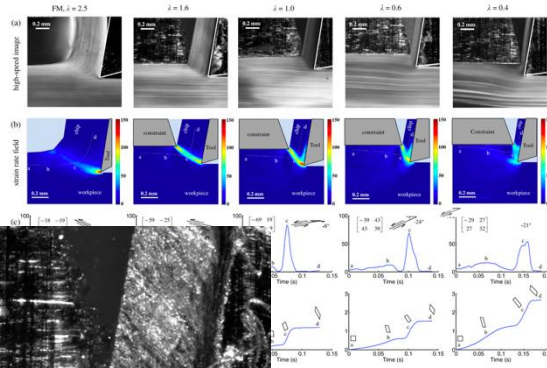
1981

2000

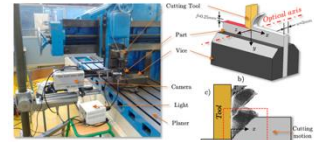
2008

2013

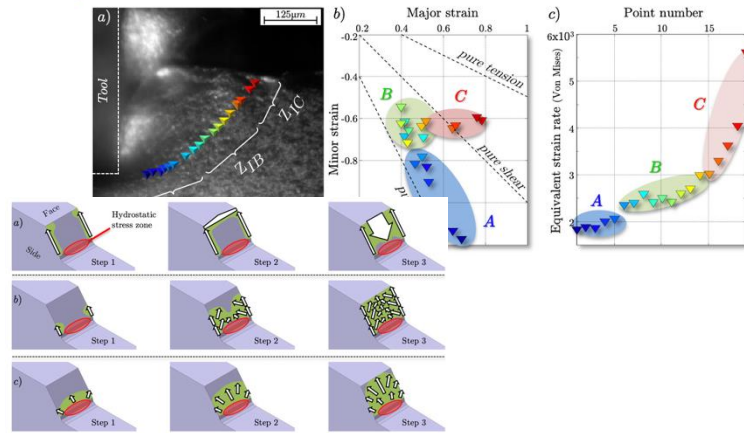
L'usinage



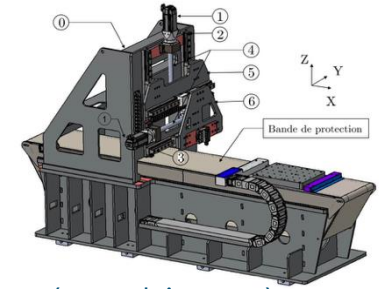
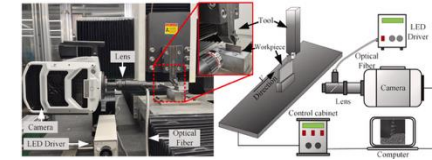
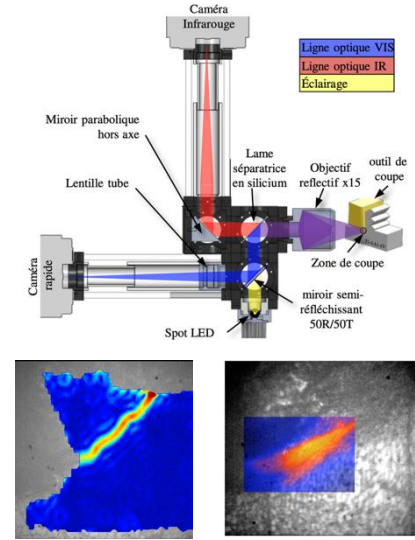
(Guo, 2012)



(Pottier, 2014)



(Harzallah, 2018)



(Zouabi, 2022)

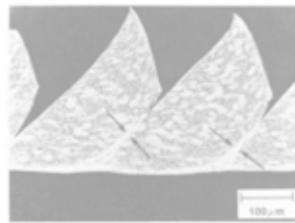
2012

2014

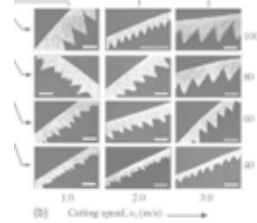
2018

2023

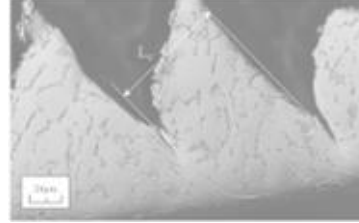
$$R = \frac{\frac{\partial \bar{\tau}}{\partial \bar{\gamma}}}{\frac{\partial \bar{\tau}}{\partial T} \frac{dT}{d\bar{\gamma}}}$$



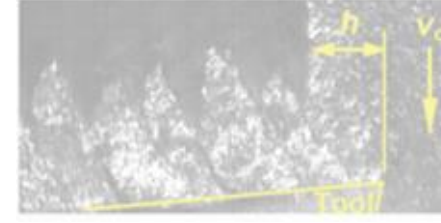
1964



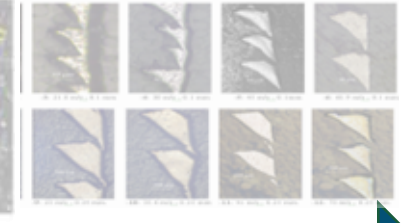
1981



1995



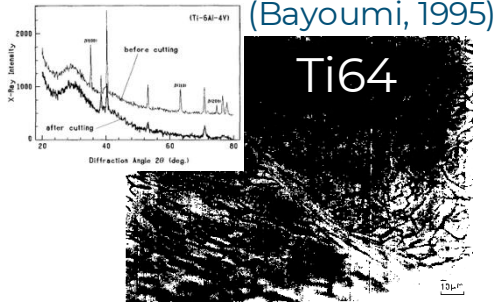
2000



2008

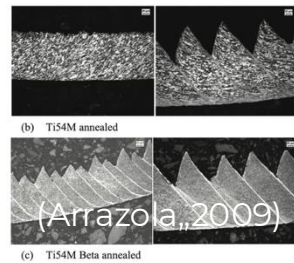
2013

L'usinage



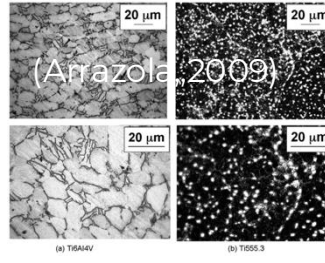
1995

Ti54M – Ti64

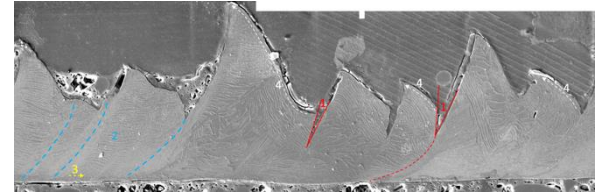


2009

Ti5553

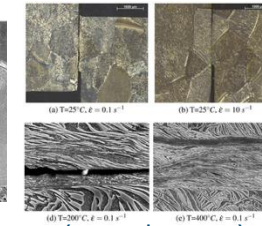


(Barelli, 2017) Ti64 traité β

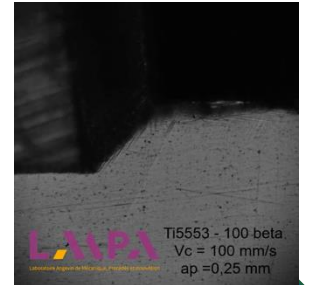


2017

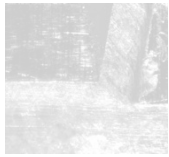
Ti17



ANR DEMUTI



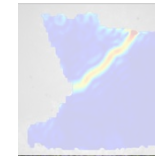
2023



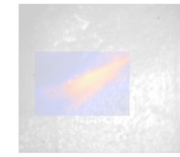
2012



2014



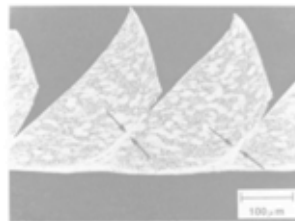
2018



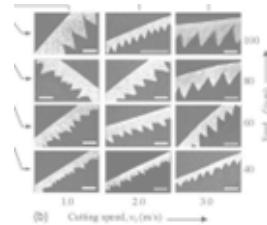
2023

$$R = \frac{\frac{\partial \bar{\tau}}{\partial \bar{\gamma}}}{\frac{\partial \bar{\tau}}{\partial T} \frac{dT}{d\bar{\gamma}}}$$

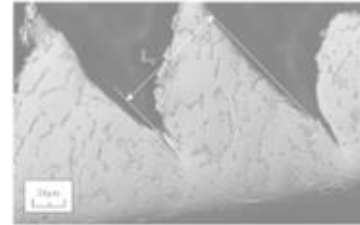
1964



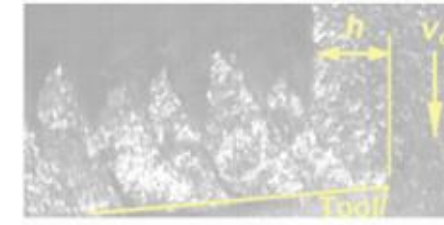
1981



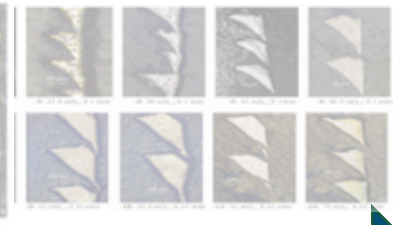
1995



2000



2008



2013

L'usinage

(Komanduri et Von Turkovich 1981)

Mauvaise conductivité thermique

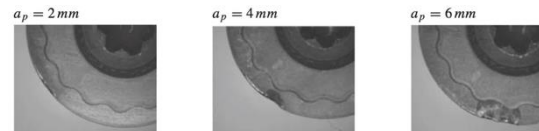
Affinité chimique

Faible longueur de contact
entre l'outil et le copeau

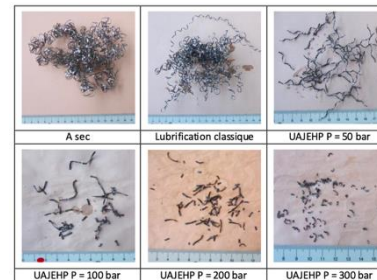
Formation des copeaux non constante

Instabilité plastique thermique

Usure des outils



Copeaux long



Intégrité de surface

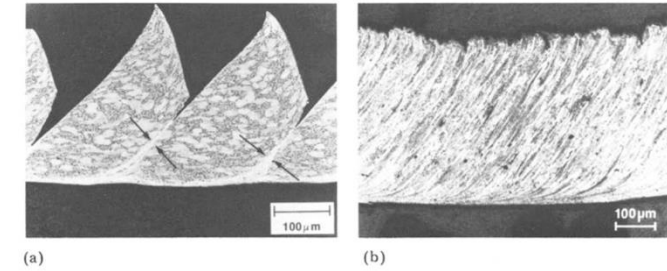
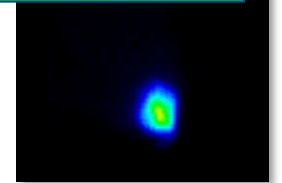


Fig. 1. Micrographs of polished and etched longitudinal midsections of (a) a typical Ti-6Al-4V catastrophically shear-failed chip and (b) a continuous chip.

Compréhension des mécanismes de coupe

Réduire les conditions de coupe



Développement d'assistances

Comprendre les phénomènes d'usure





L'usinage

(Komanduri et Von Turkovich 1981)

Mauvaise conductivité thermique

Affinité chimique

Faible longueur de contact entre l'outil et le copeau

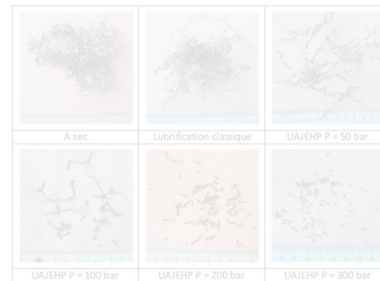
Formation des copeaux non constante

Instabilité plastique thermique

Usure des outils



Copeaux long



Intégrité de surface

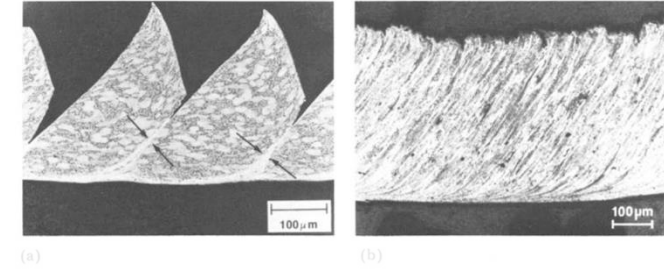


Fig. 1. Micrographs of polished and etched longitudinal midsections of (a) a typical Ti-6Al-4V catastrophically shear-failed chip and (b) a continuous chip.

Compréhension des mécanismes de coupe

Réduire les conditions de coupe

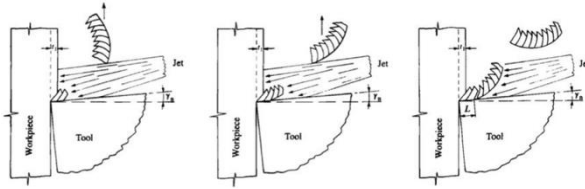


Développement d'assistances

Comprendre les phénomènes d'usure



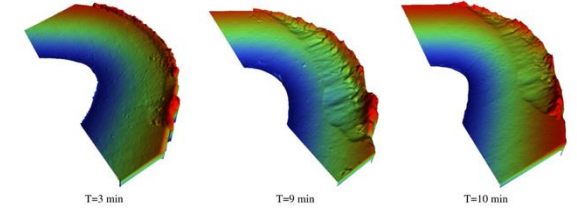
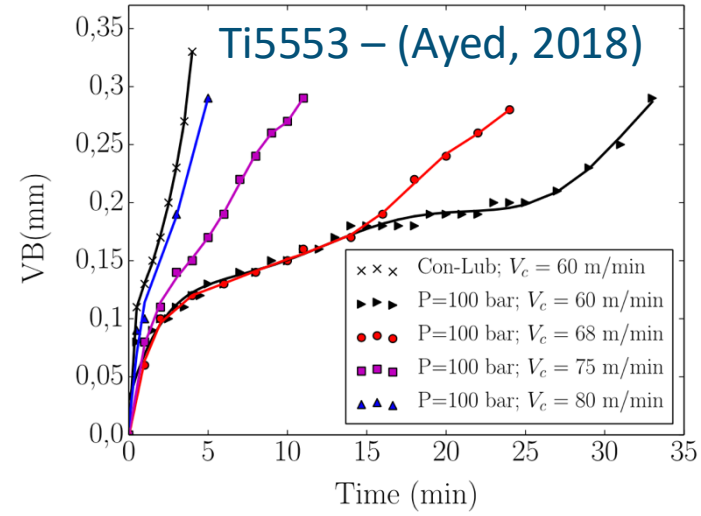
L'usinage



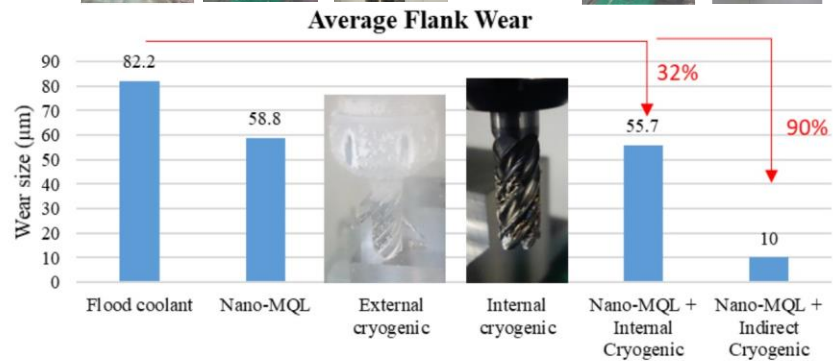
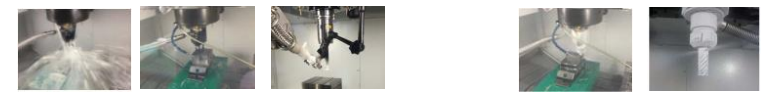
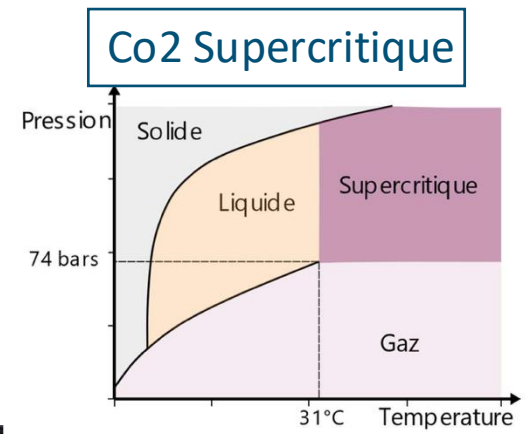
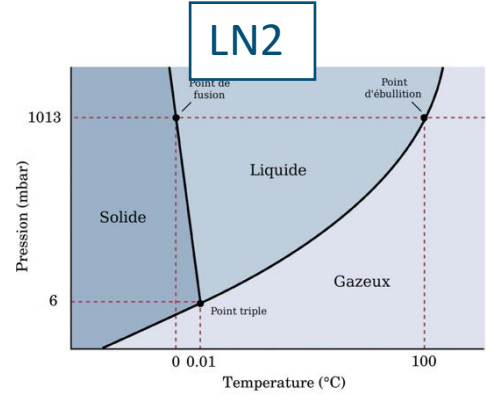
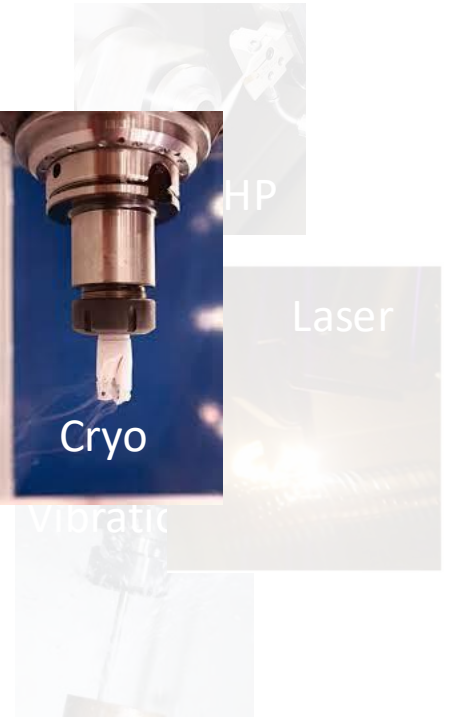
Laser

Cryo

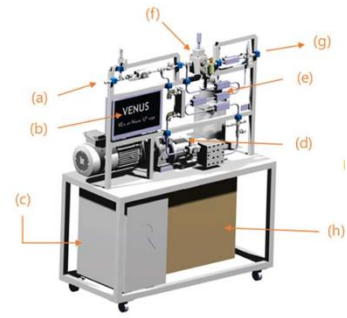
Vibratic



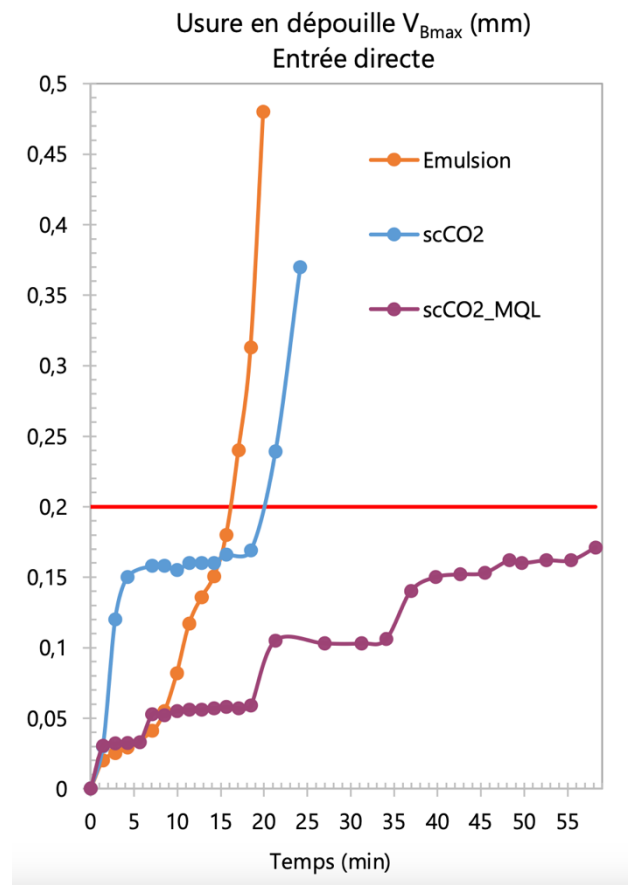
L'usinage



Ti64 – (Suhaimi, 2018)



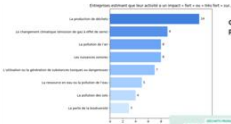
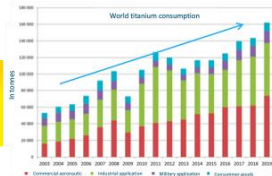
« VENUS » ©LaBoMaP
Production de scCO₂ avec ou sans MQL



Et maintenant ??

Impact environnemental

- l'épuisement des ressources ;
- les pollutions diverses ;
- le changement climatique ;
- la destruction de la biodiversité



Face à un dilemme

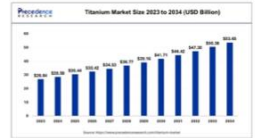
Environnement

Productivité

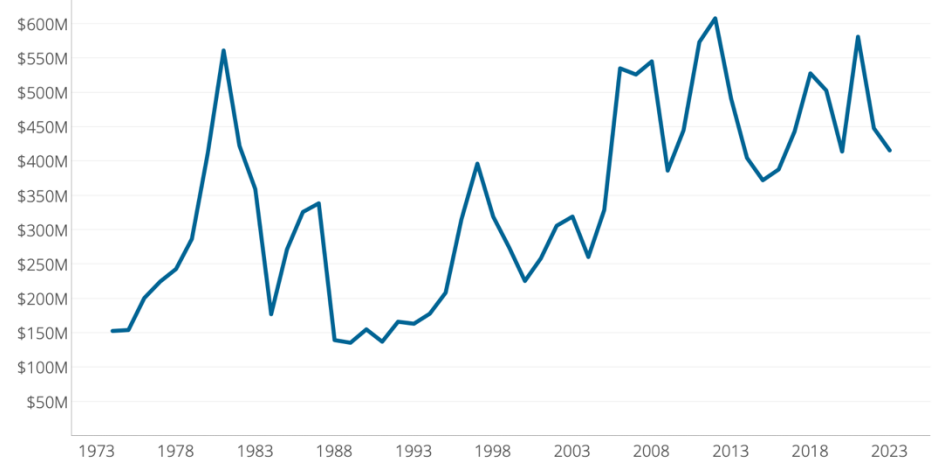
Closed door machining

Qualité

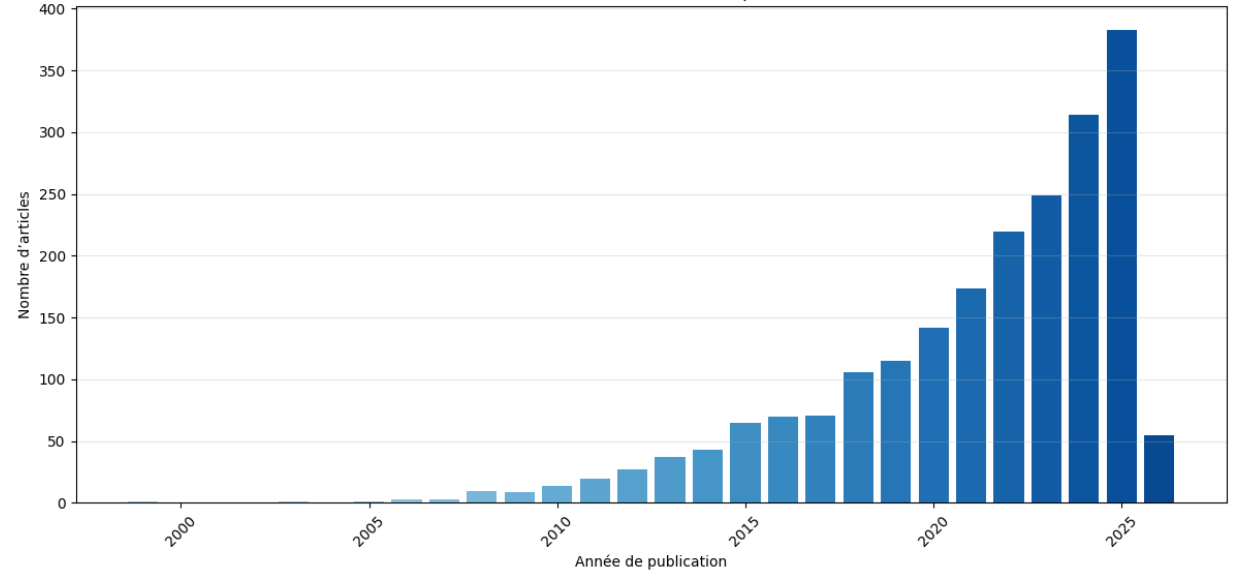
The challenge is to produce even faster



Real Machine Tool Consumption



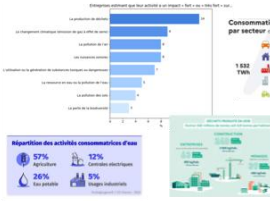
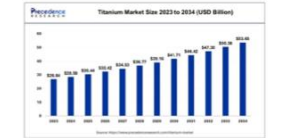
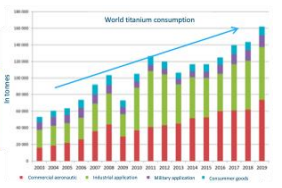
Évolution du nombre d'articles par année



Et maintenant ??

Impact environnemental

- l'épuisement des ressources ;
- les pollutions diverses ;
- le changement climatique ;
- la destruction de la biodiversité



Face à un dilemme

Environnement

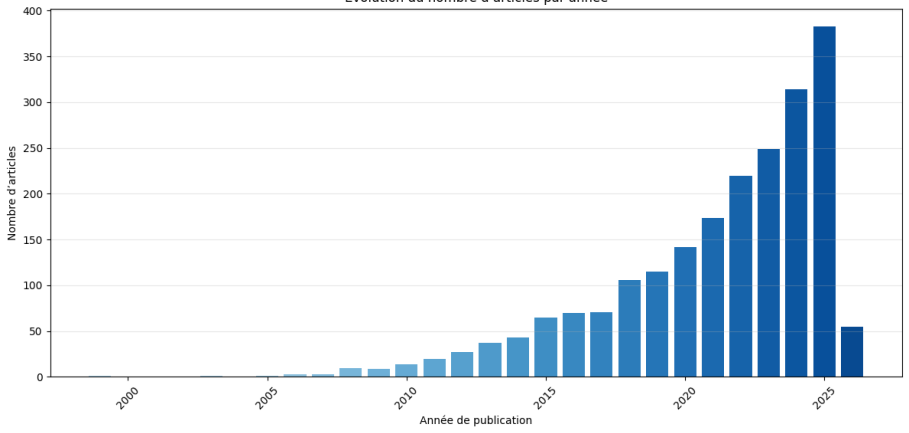
Productivité

Closed door machining

Qualité

The challenge is to produce even faster

Évolution du nombre d'articles par année



2000-2010



2010-2015



2015-2020



2020-2025



Created with Datawrapper

Created with Datawrapper

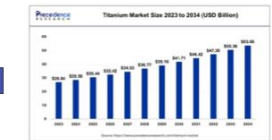
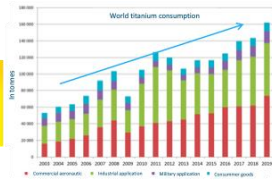
Created with Datawrapper

Created with Datawrapper

Et maintenant ??

Impact environnemental

- l'épuisement des ressources ;
- les pollutions diverses ;
- le changement climatique ;
- la destruction de la biodiversité



Face à un dilemme

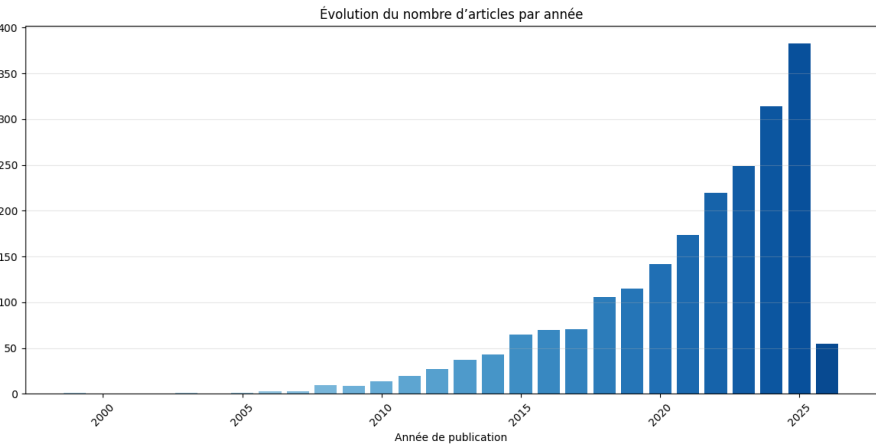
Environnement

Productivité

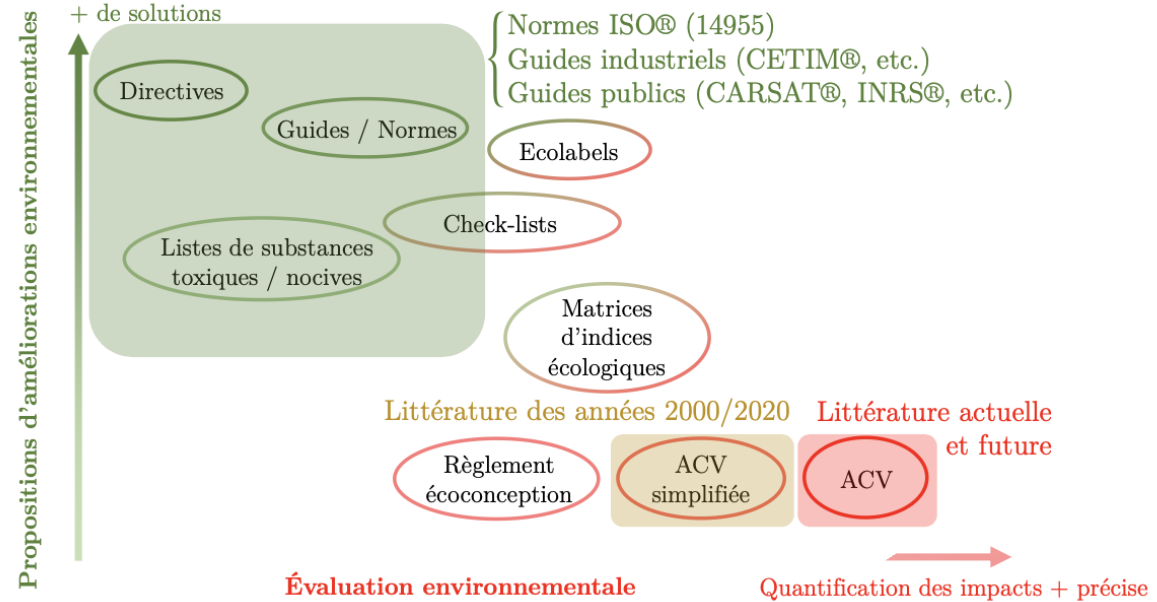
Closed door machining

Qualité

The challenge is to produce even faster



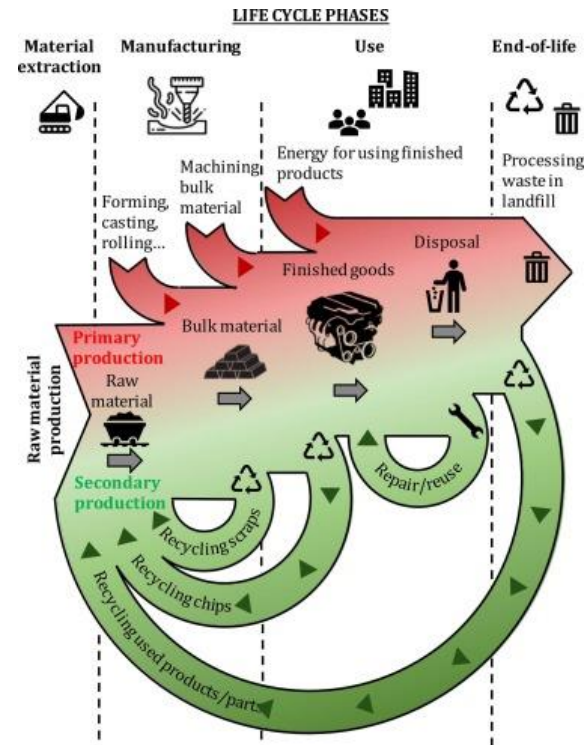
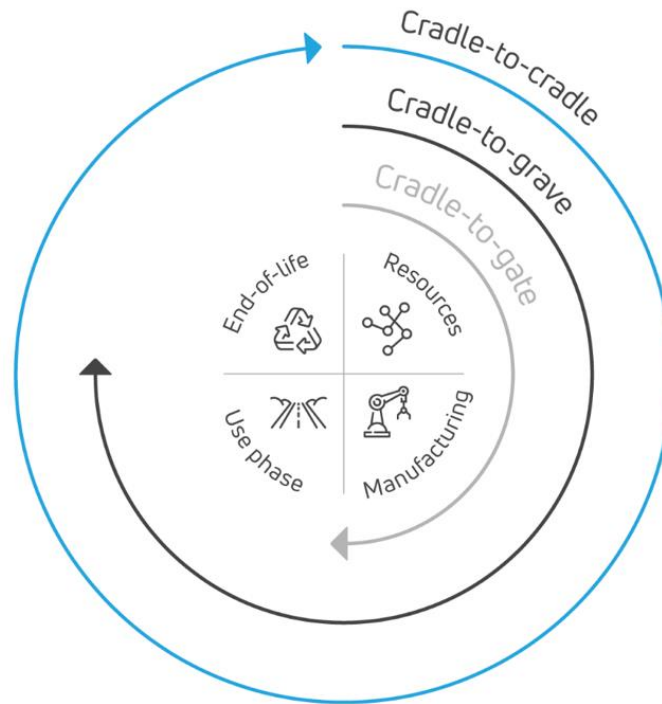
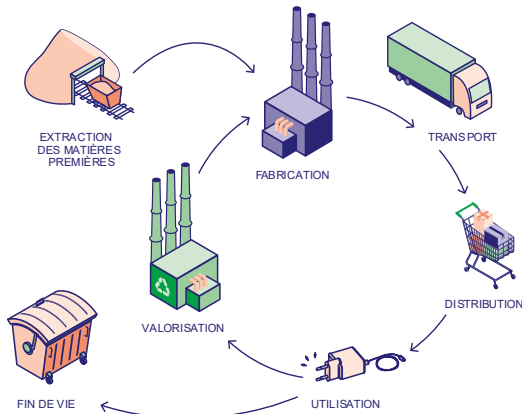
Changer la façon d'usiner ?
 Modifier les méthodes ?
 Adapter les méthodes ??



Thèse Maël Jeulin

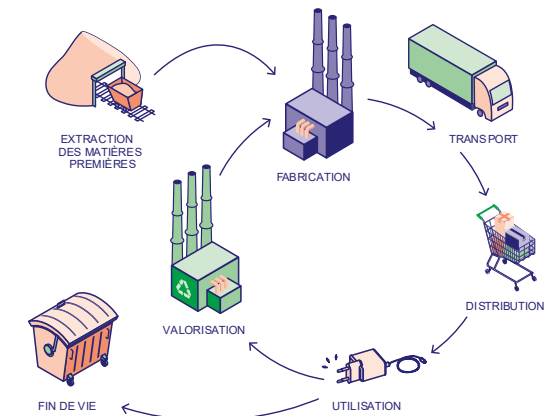
La méthode ACV

L'ACV repose sur le principe du « **cycle de vie** » ou sur une expression plus imagée « du berceau à la tombe ». Cela signifie que l'évaluation ne s'arrête pas à un seul instant du cycle de production, mais **englobe l'extraction** des matières premières, la **fabrication** des composants, les **phases** d'usage, la **maintenance** éventuelle, la fin de vie et le **traitement** des déchets

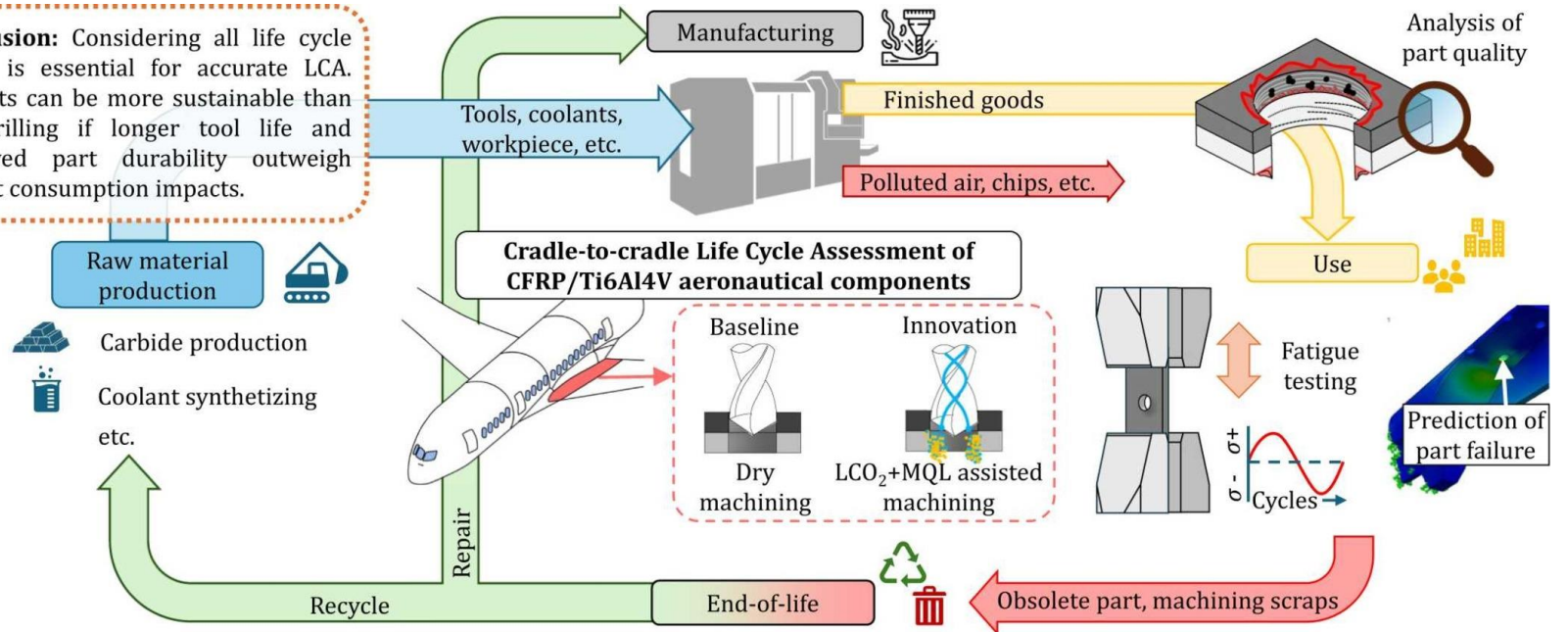
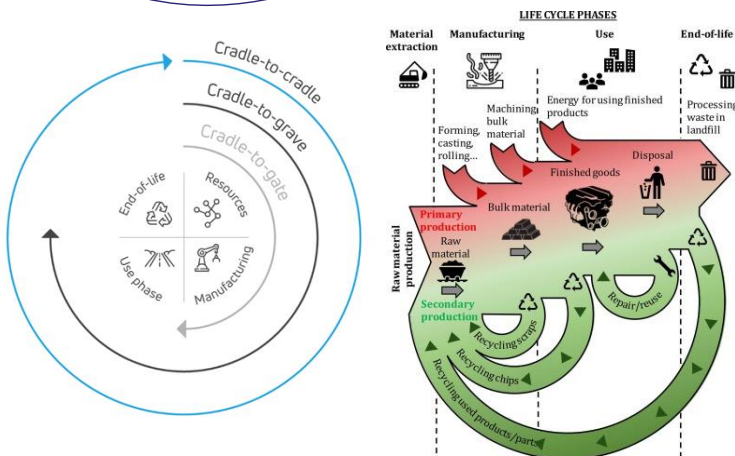


La méthode ACV

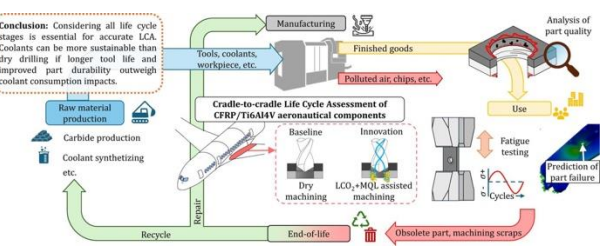
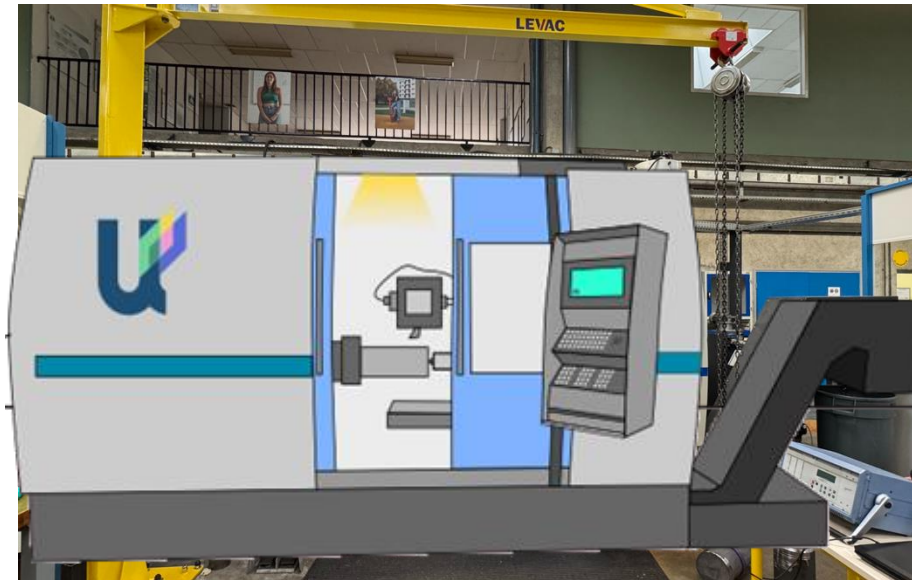
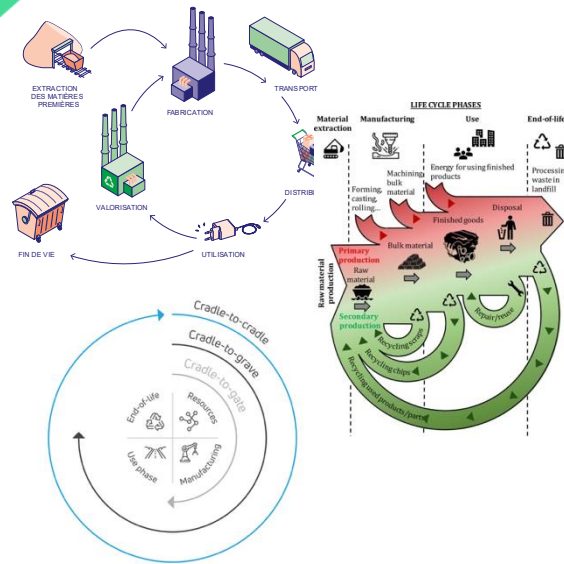
L'ACV repose sur le principe du « **cycle de vie** » ou sur une expression plus imagée « du berceau à la tombe ». Cela signifie que l'évaluation ne s'arrête pas à un seul instant du cycle de production, mais **englobe l'extraction** des matières premières, la **fabrication** des composants, les **phases** d'usage, la **maintenance** éventuelle, la fin de vie et le **traitement** des déchets



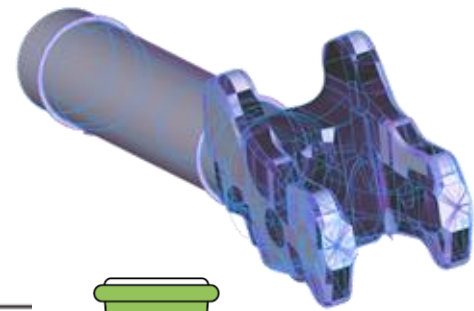
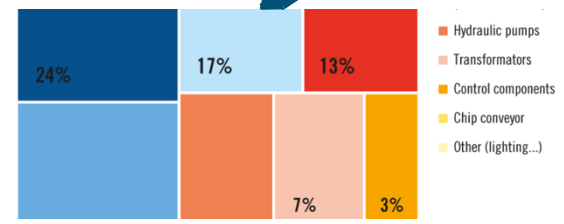
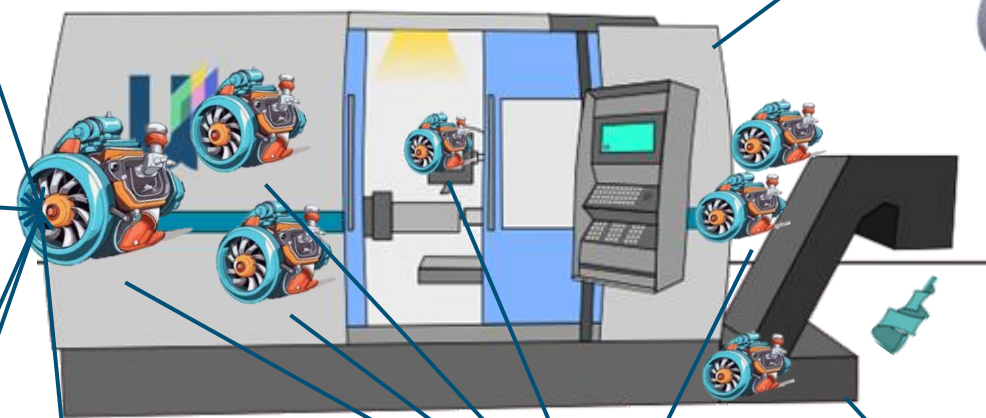
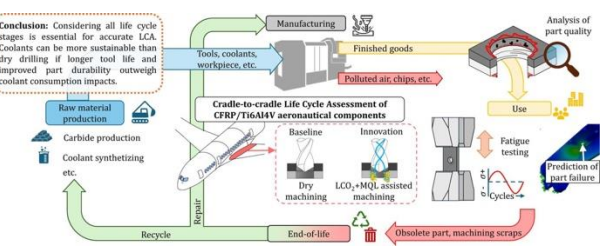
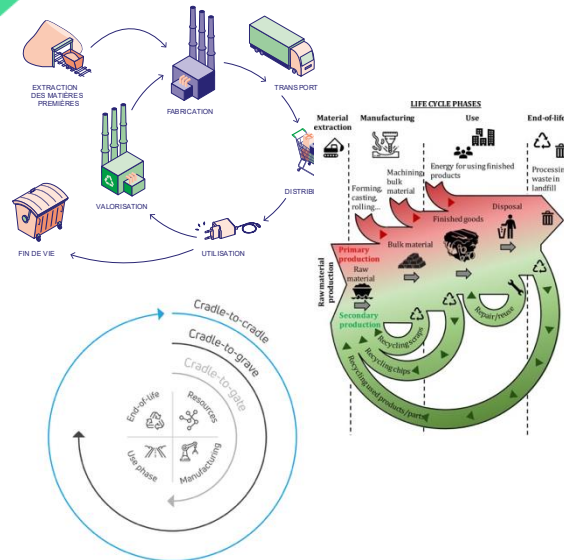
Conclusion: Considering all life cycle stages is essential for accurate LCA. Coolants can be more sustainable than dry drilling if longer tool life and improved part durability outweigh coolant consumption impacts.



La méthode ACV



La méthode ACV

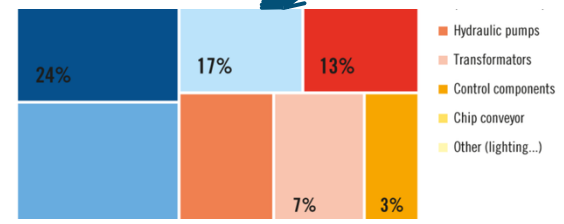
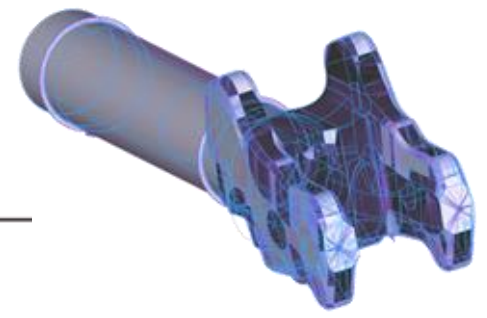
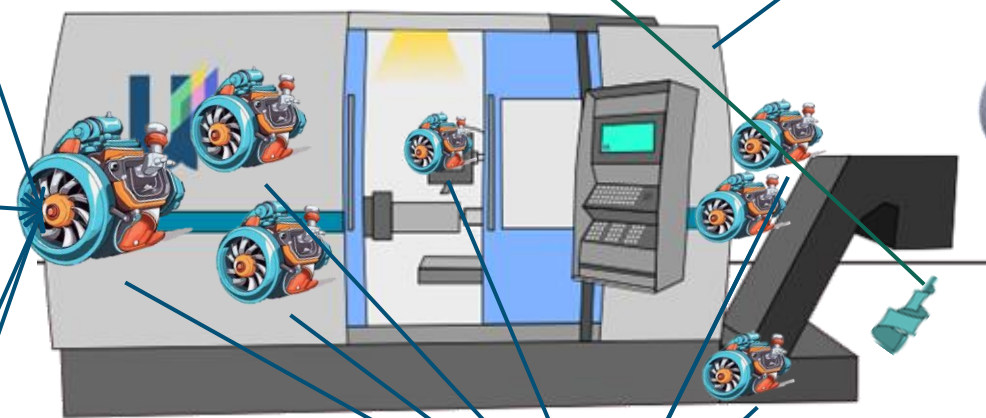
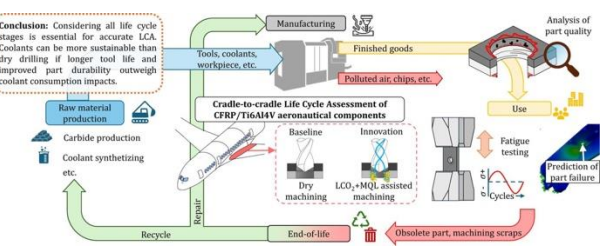
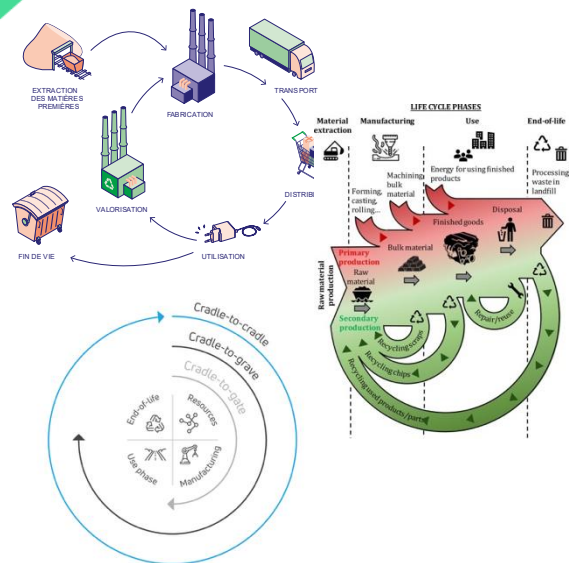


Recyclés ?

Recyclés



La méthode ACV

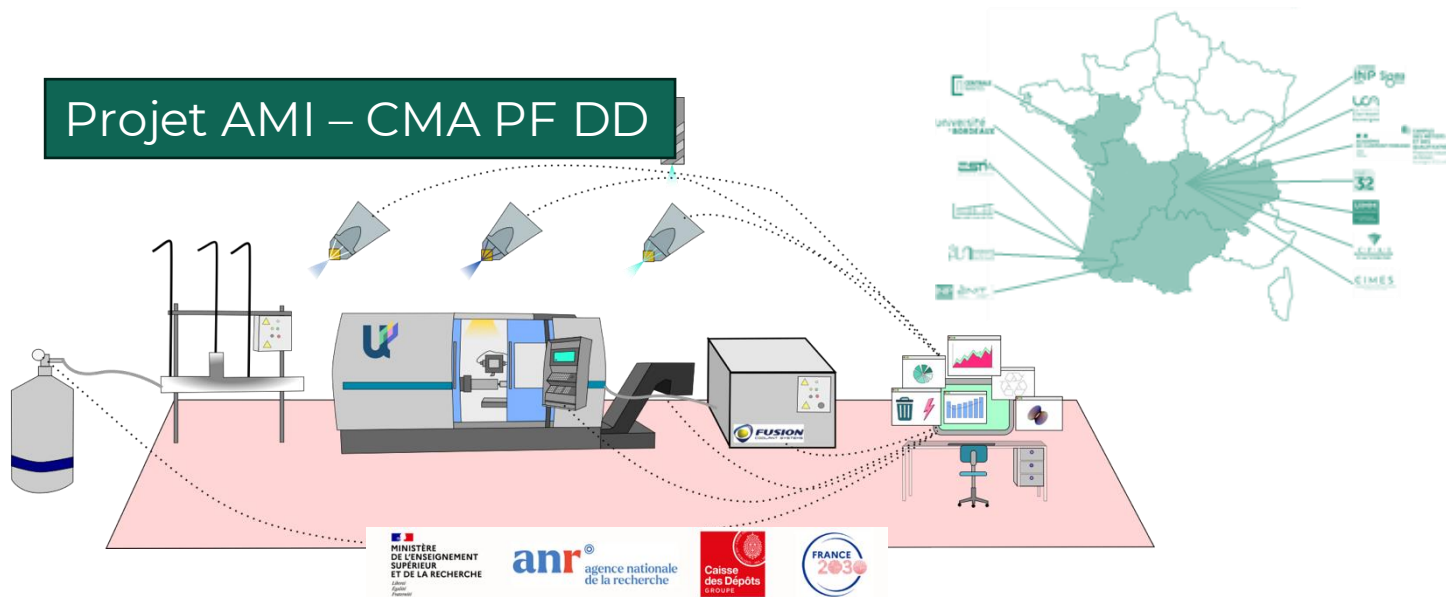


À l'UTT



L'objectif est de développer des méthodes permettant de mieux appréhender les enjeux environnementaux et d'apporter aux chercheurs et industriels des **solutions concrètes** pour un **usinage plus propre et productif**.

Projet AMI – CMA PF DD



Projet AMI – Compétences et Métiers d'Avenir Procédés du Futur Décarbonnés et Durables

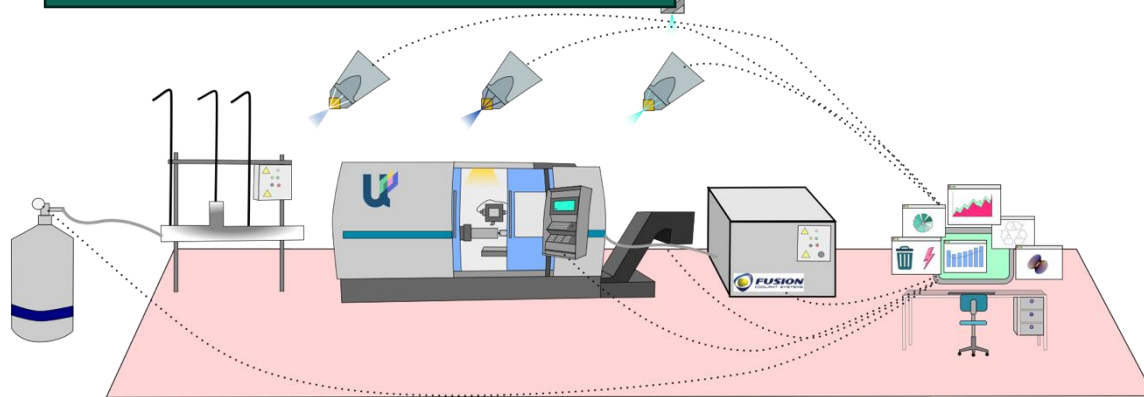
- **4 thèmes** : procédés conventionnels / fabrication additive / composites / robotique
- **3 axes principaux** : Guide des bonnes pratiques / Cellules expérimentales de référence / Kits didactiques transportables
- **Transformer les métiers pour les rendre plus attractifs**

À l'UTT

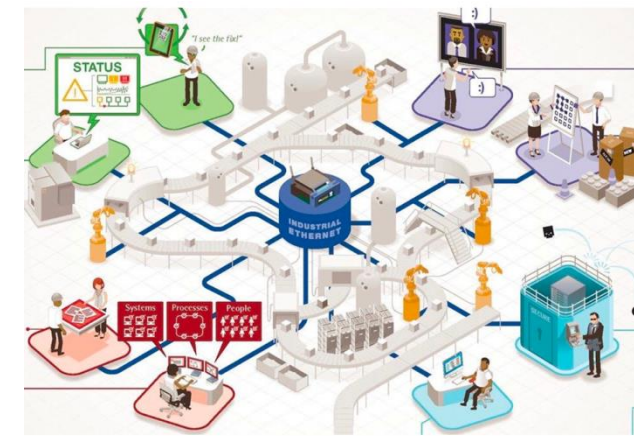


L'objectif est de développer des méthodes permettant de mieux appréhender les enjeux environnementaux et d'apporter aux chercheurs et industriels des **solutions concrètes** pour un **usinage plus propre et productif**.

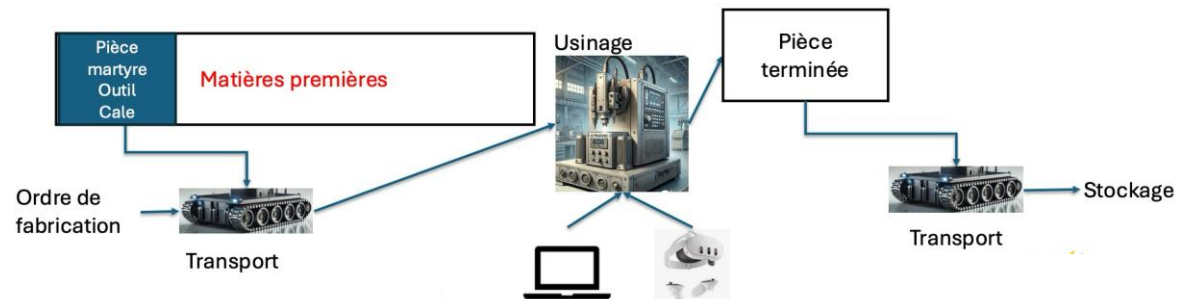
Projet AMI – CMA PF DD



ECOSYStème de PROduction
(Plateforme de recherche et d'innovation dans le domaine des systèmes de production)



ECOSYSPRO



Séminaire

À l'UTTOP



Conditions de coupe

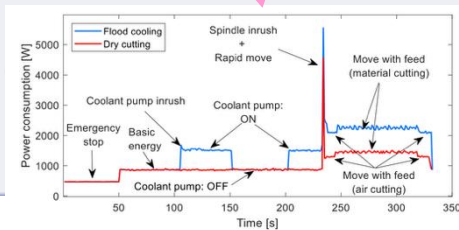
Conditions d'engagement



Usure



Utilisation des données ?





Université
de Technologie
Tarbes
Occitanie Pyrénées

Vincent Wagner

Vincent.wagner@uttop.fr

