

GR Tribologie, Matériaux & Mécanique des Procédés

Gilles DESSEIN

Responsable du GR TM²P

Activités du GR : Identifier, caractériser et comprendre les phénomènes thermomécaniques, d'accommodation et d'endommagement lors d'interactions tribologiques, de procédé de coupe, d'abrasion ou de déformation

Mots-clés : Interactions effecteur/matière, triplet et circuit tribologiques, phénomènes thermomécaniques, endommagement, accommodation, coupe, assemblage par friction, abrasion, usure, signature, surveillance, développements expérimentaux et mesures *in-situ*...

Membres : J. DENAPE, K. DELBÉ, G. DESSEIN, J.-Y. PARIS, E. VELAZQUEZ, V. WAGNER, M. YAHIAOUI

Spécificité : Transversalité mécanique - matériaux, procédés de fabrication - tribologie



Thématiques scientifiques

- **Thématiques scientifiques « transversales » multi-échelles**
 - ✓ **Relations procédé / matériau-microstructures / propriétés tribologiques**
 - ✓ Développement de **méthodologies expérimentales innovantes**
 - ✓ **Interactions outil/matière** dans les procédés de fabrication (coupe, FSW, brunissage, parachèvement) des points de vue thermomécanique, dynamique, d'usure et d'intégrité de surface
 - ✓ **Endommagements et usures** dans des situations de contact en conditions tribologiques sévères
 - ✓ **Surveillance** des procédés et des phénomènes tribologiques pour le diagnostic et l'optimisation
- **4 échelles thématiques** dans le domaine des systèmes tribologiques et des systèmes par enlèvement et déformation de matière :
 - ✓ **Échelle du contact** : optimisation tribologique des matériaux et interactions outil/matière
 - ✓ **Échelle de l'interface** : compréhension et contrôle des processus d'usure
 - ✓ **Échelle du mécanisme** : effet des éléments de structure
 - ✓ **Échelle de la commande** : pilotage du procédé

Des contributions en usinage/FSW

- Usinabilité des alliages de titane et des superalliages base nickel

Mode d'endommagement des outils, LC, intégrité de surface...

- Champs cinématiques et thermiques en soudage par friction (FSW)

Champs de déplacement et de T° , défauts dans le cordon, simulation...

- Usinage robotisé et/ou composites

Prise en compte du comportement de la structure...

- Comportement dynamique des parois minces en usinage

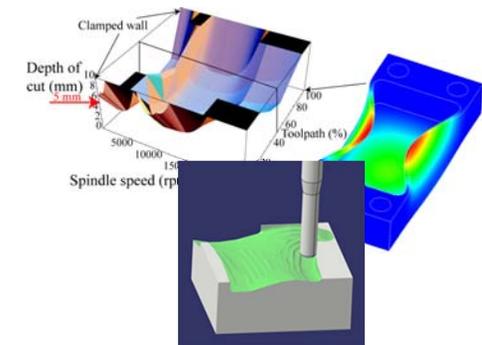
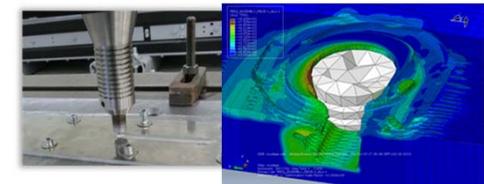
Vibrations d'usinage...

- Influence du pilotage CN sur le comportement machine

Imprécision de positionnement et topographie de surface...

- Green manufacturing

Sobriété, assistance cryogénique... Réservoirs de demain (hydrogène)



Des contributions en tribologie

- Système de brunissage par bille avec assistance vibratoire

Relation paramètres opératoires et intégrité de surface...

- Optimisation tribologique de matériaux / revêtements

Relations procédé d'élaboration des revêtements - comportement tribologique

- Relations procédé - macro/microstructure - comportement tribologique

Fabrication additive SLM du superalliage base nickel

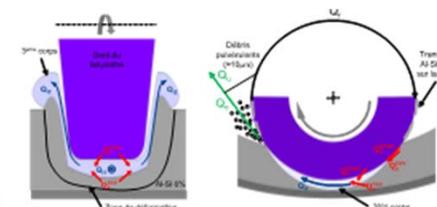
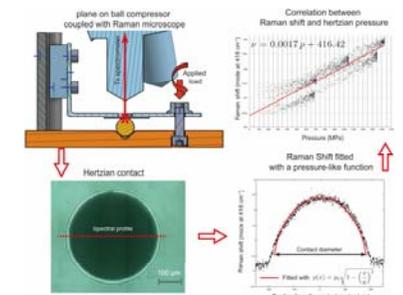
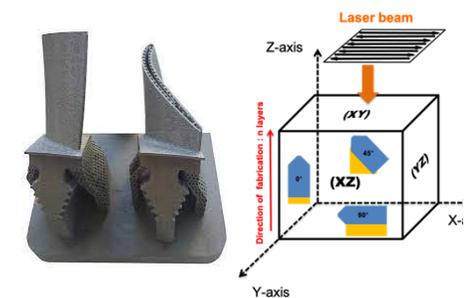
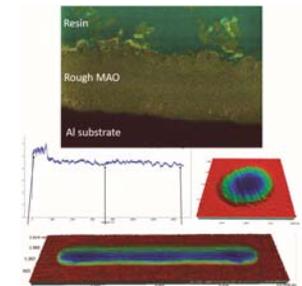
Optimisation de revêtements OMA sur des alliages de titane

- Développement de méthodologies et d'outils pour mesurer les grandeurs physiques locales

Conception de tribomètres, système de vision et EA

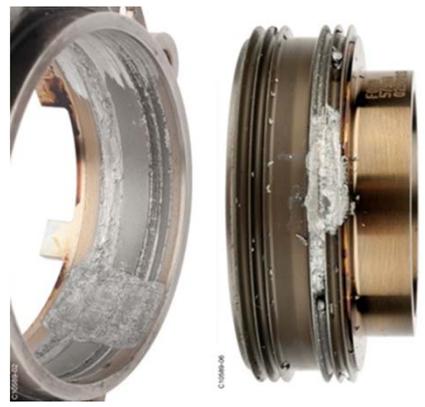
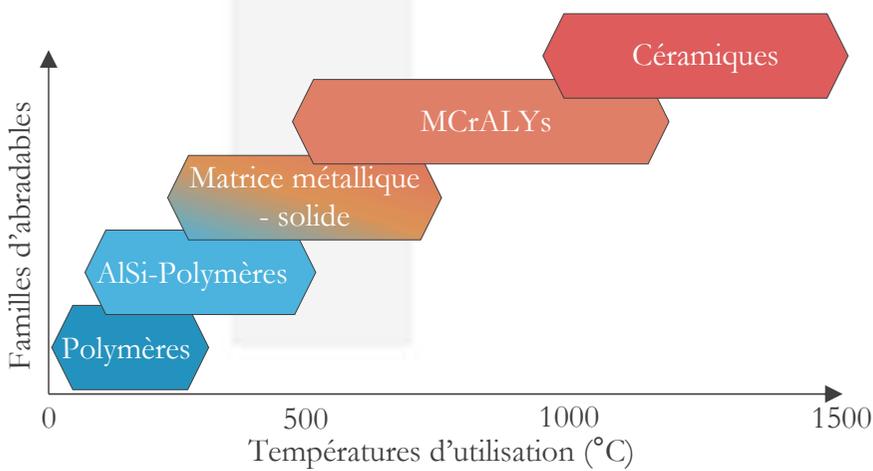
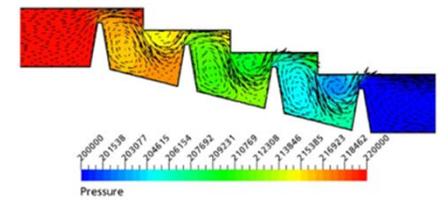
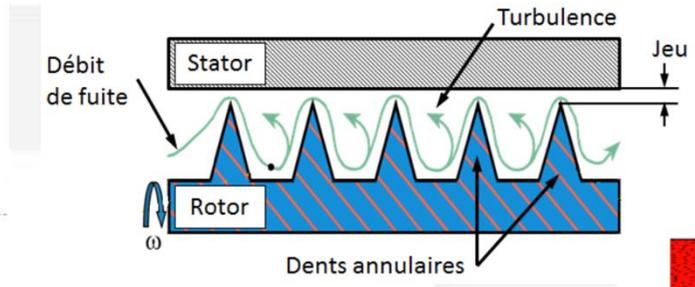
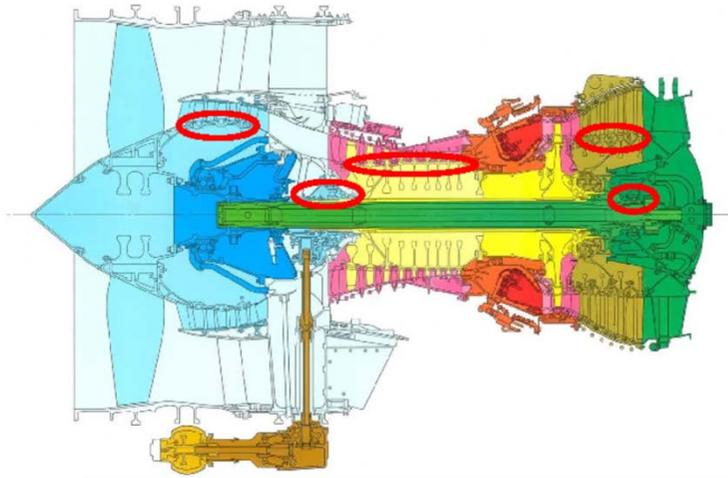
- Contacts en conditions sévères

Circuits tribologiques, modes d'endommagement, 3^{ème} corps...



Focus Tribologie en conditions sévères

- Problématique des revêtements sacrificiels et joints labyrinthiques (turboréacteur, turbomachine...)

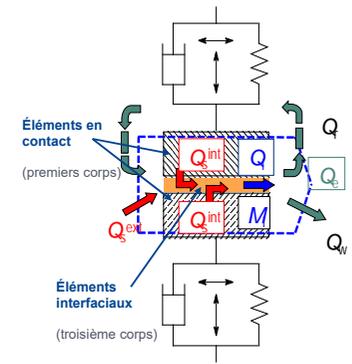


quel comportement matériau(x) selon les conditions de touche, quel mode d'endommagement... ?

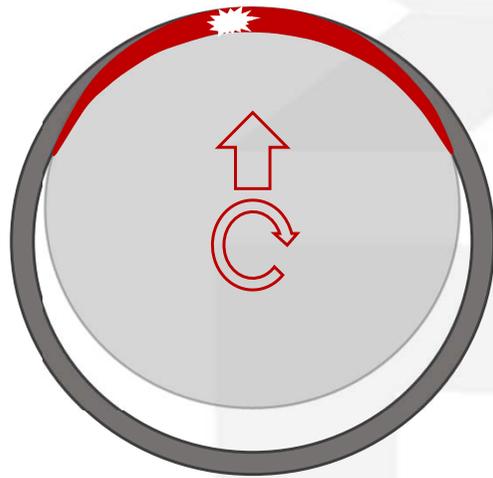
- Reproduire le contact (proximité de la réalité), identifier les phénomènes thermiques, mécaniques et tribologiques
- Proposer des synopsis d'usure (vie du contact)
- Proposer des modèles de circuit tribologique et d'usure

Focus Tribologie en conditions sévères

- Thèses CIFRE C. Delebarre - FP7  et M. Thevenot – SAFRAN AE + TECH



Contact radial

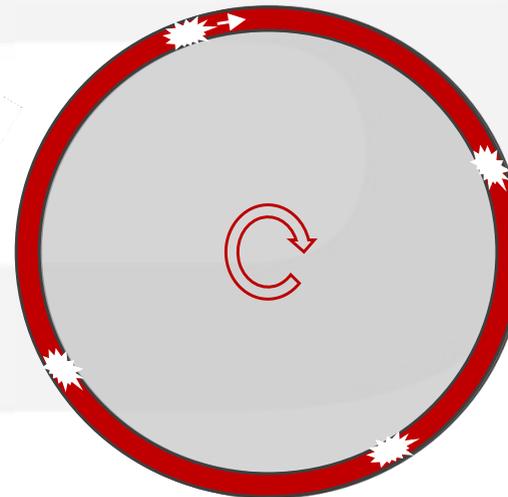


Angle de contact restreint

$20 \text{ m/s} < V_t < 130 \text{ m/s}$
 $0,05 \text{ mm/s} < V_{inc} < 9,4 \text{ mm/s}$

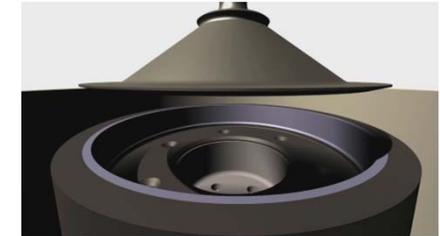


Contact axial



Circulation des débris dans un contact à 360°

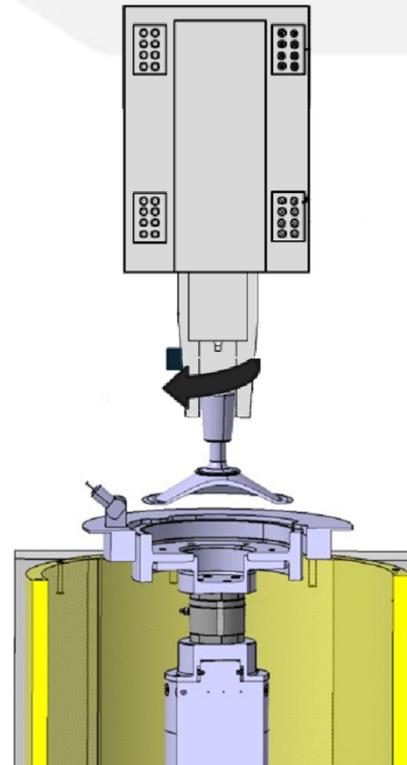
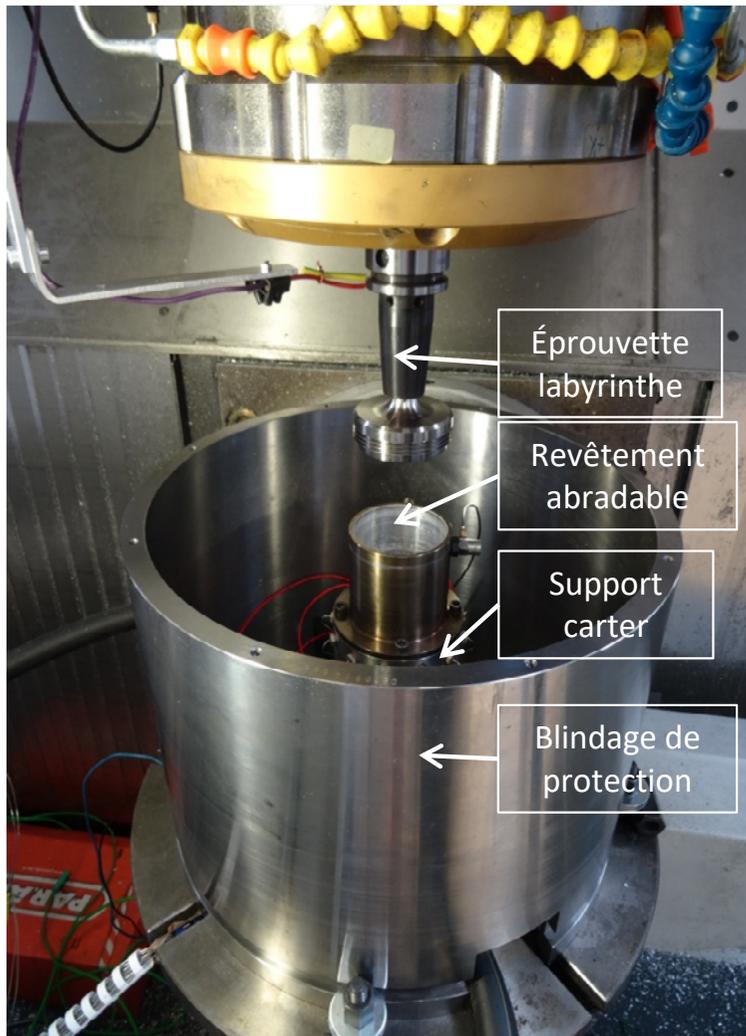
$38 \text{ m/s} < V_t < 152 \text{ m/s}$
 $0,001 \text{ mm/s} < V_{inc} < 8,3 \text{ mm/s}$



Focus Tribologie en conditions sévères



- « Détournement » d'un CU 5 axes broche PM 40000 tr/min

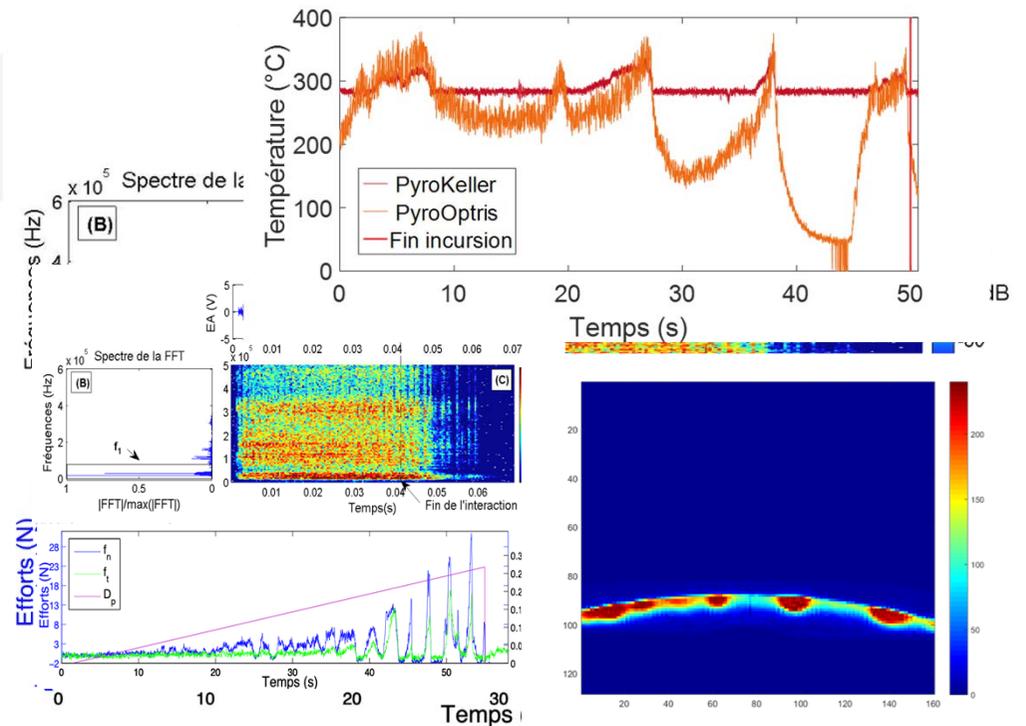
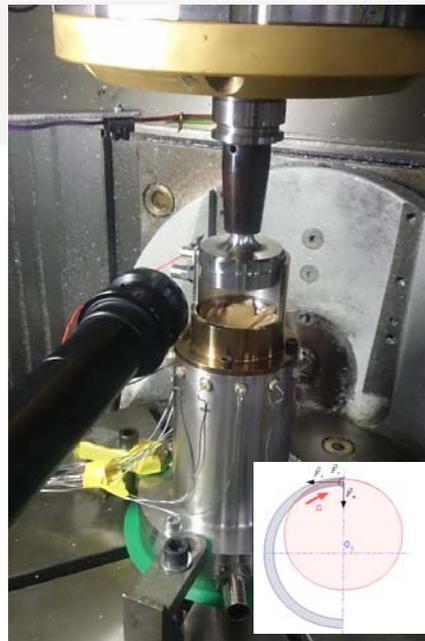
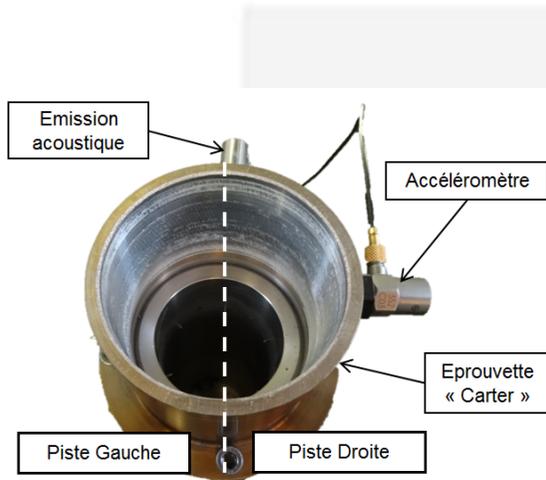
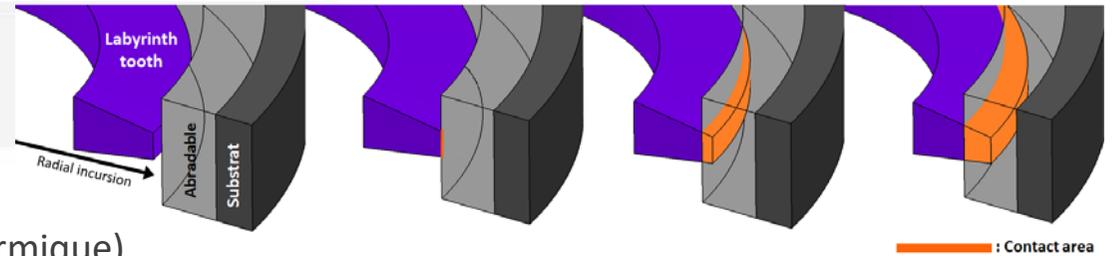


Focus Tribologie en conditions sévères

- Etude *in-operando* de la vie du contact

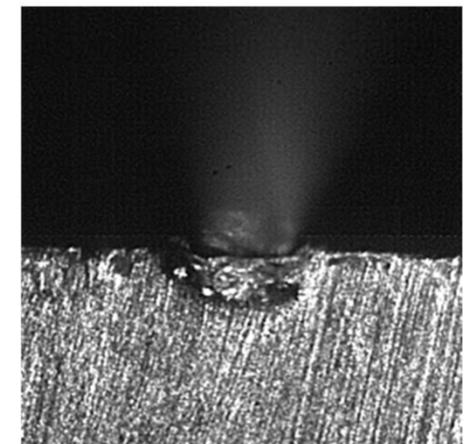
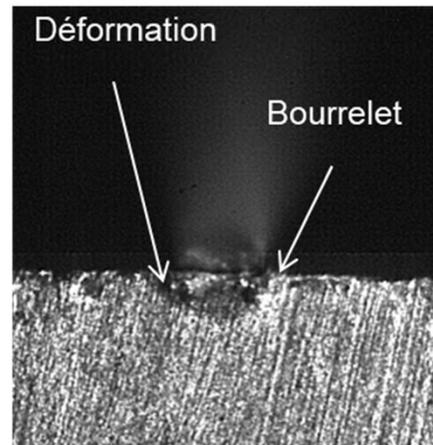
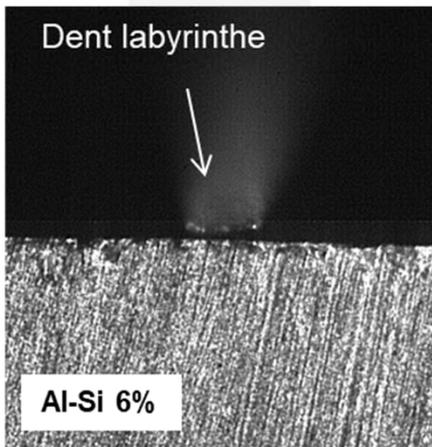
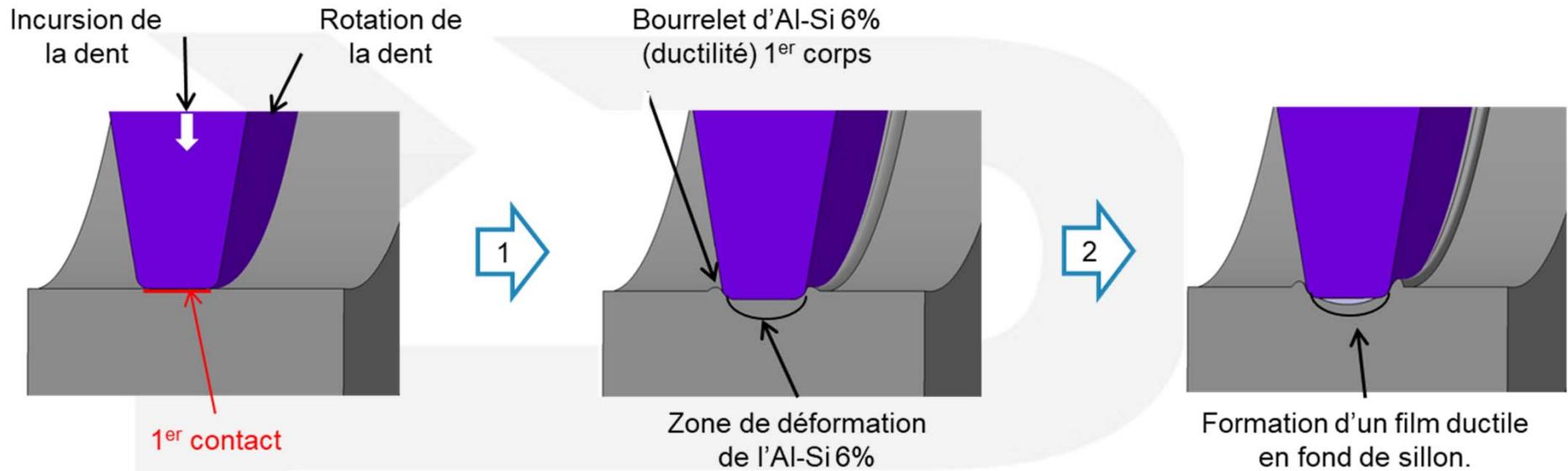
Moyens de mesure *in-situ*

- Caméra rapide (5000 images/s)
- Efforts axiaux et radiaux
- Couple
- Température (thermistances et caméra thermique)
- Emission acoustique



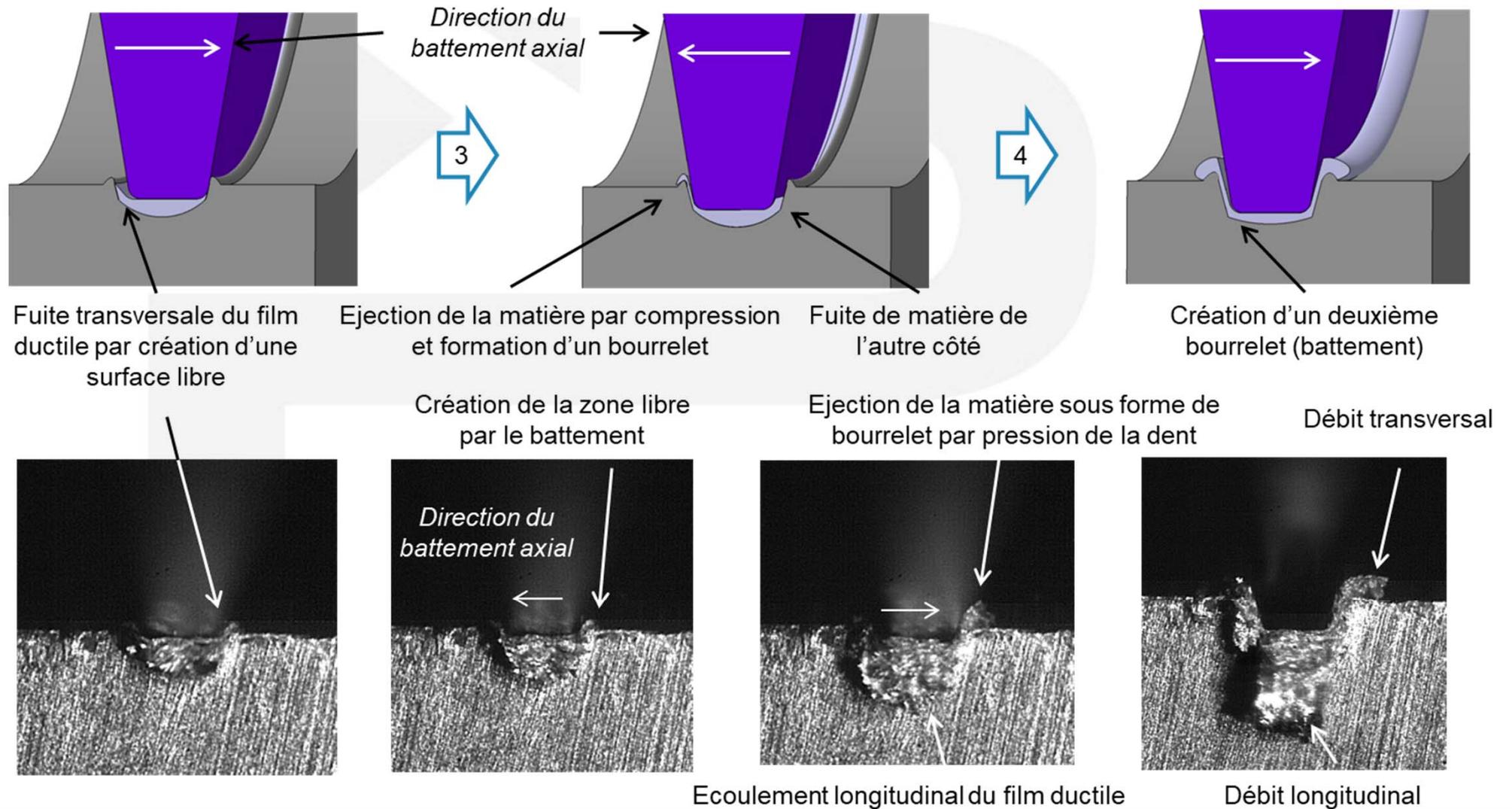
Focus Tribologie en conditions sévères

→ Formation d'un film ductile (3^e corps)



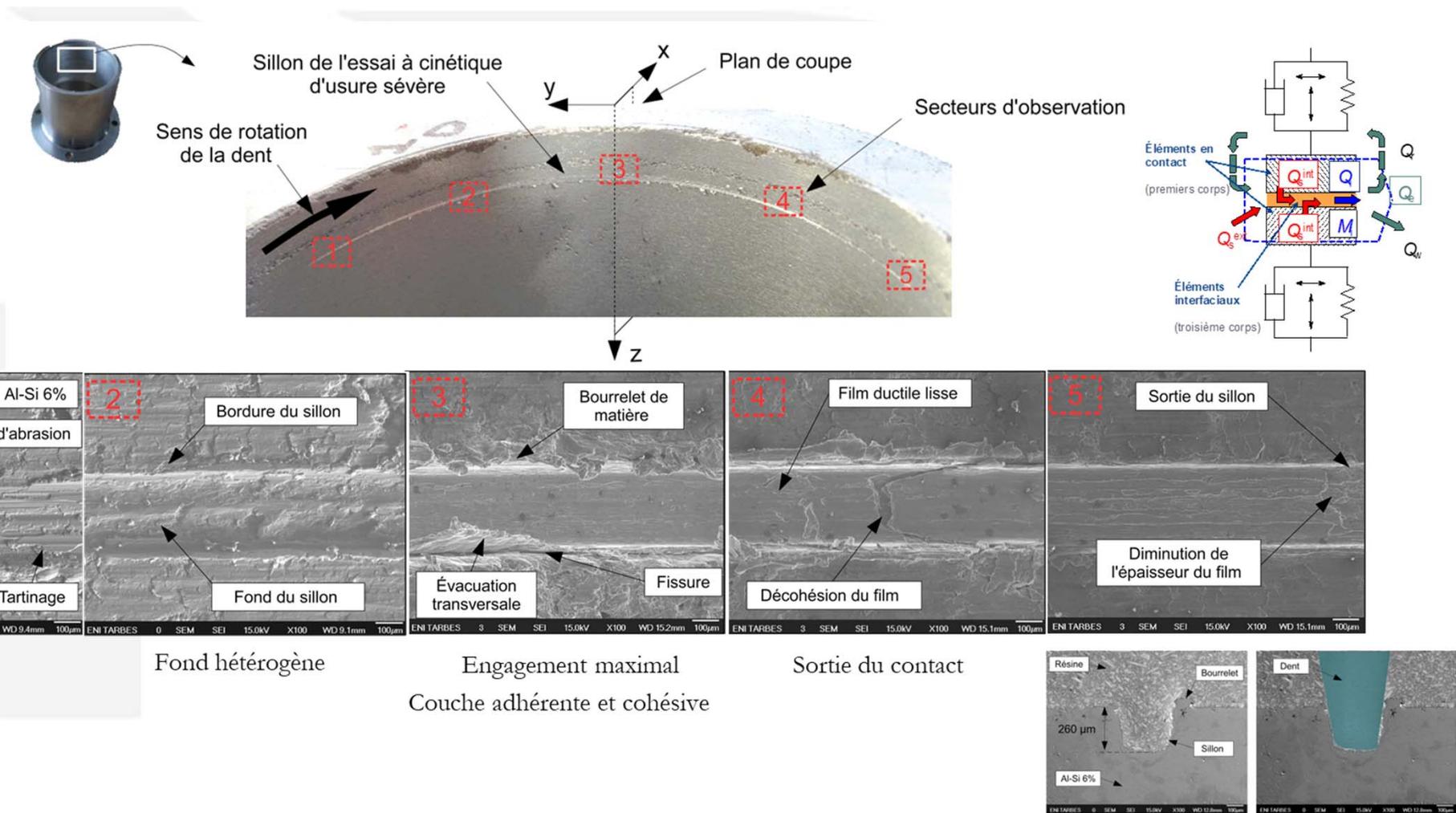
Focus Tribologie en conditions sévères

→ Rotation complète d'une dent du labyrinthe

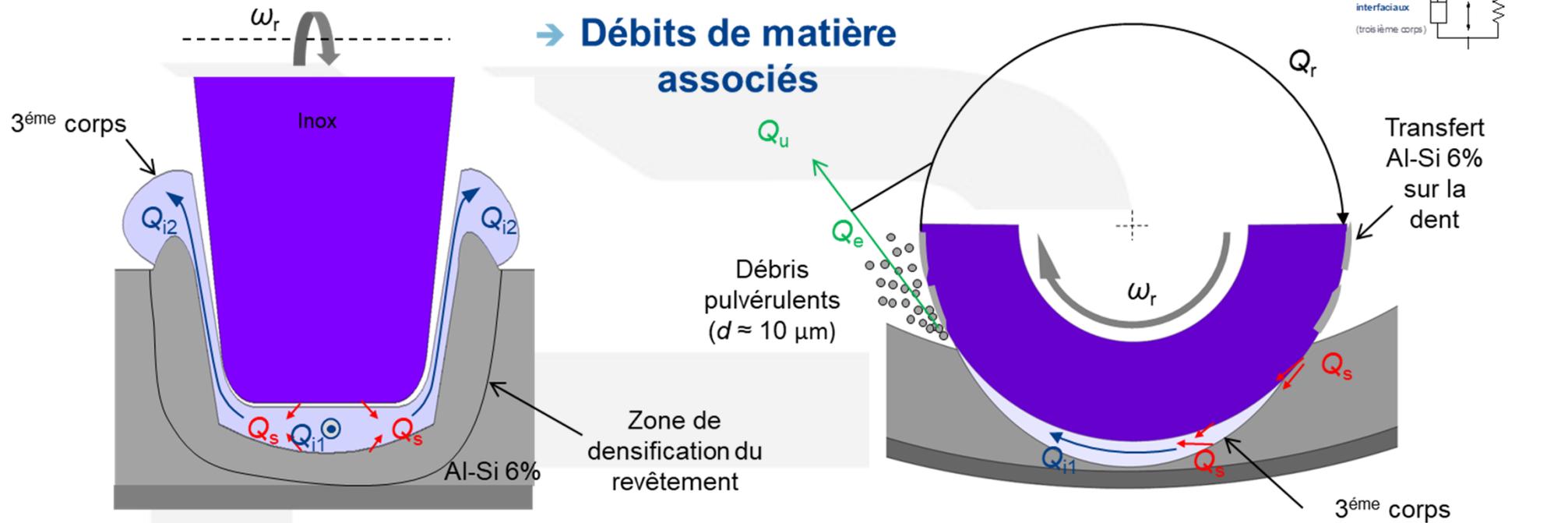


Focus Tribologie en conditions sévères

- Etude *post-mortem* du contact



Focus Tribologie en conditions sévères



Q_s = Débit source : alimentation du contact par des particules d'Al-Si 6% et piégées formant un film ductile (3^{ème} corps)

Q_i = Débit internes : circulation du 3^{ème} corps composé majoritairement d'Al-Si 6% .:

Q_{i1} : Débit longitudinal : écoulement du film dans la direction de la rotation du labyrinthe.

Q_{i2} : Débit transversal : éjection du film le long des parois de la dent (pression exercée par le battement)

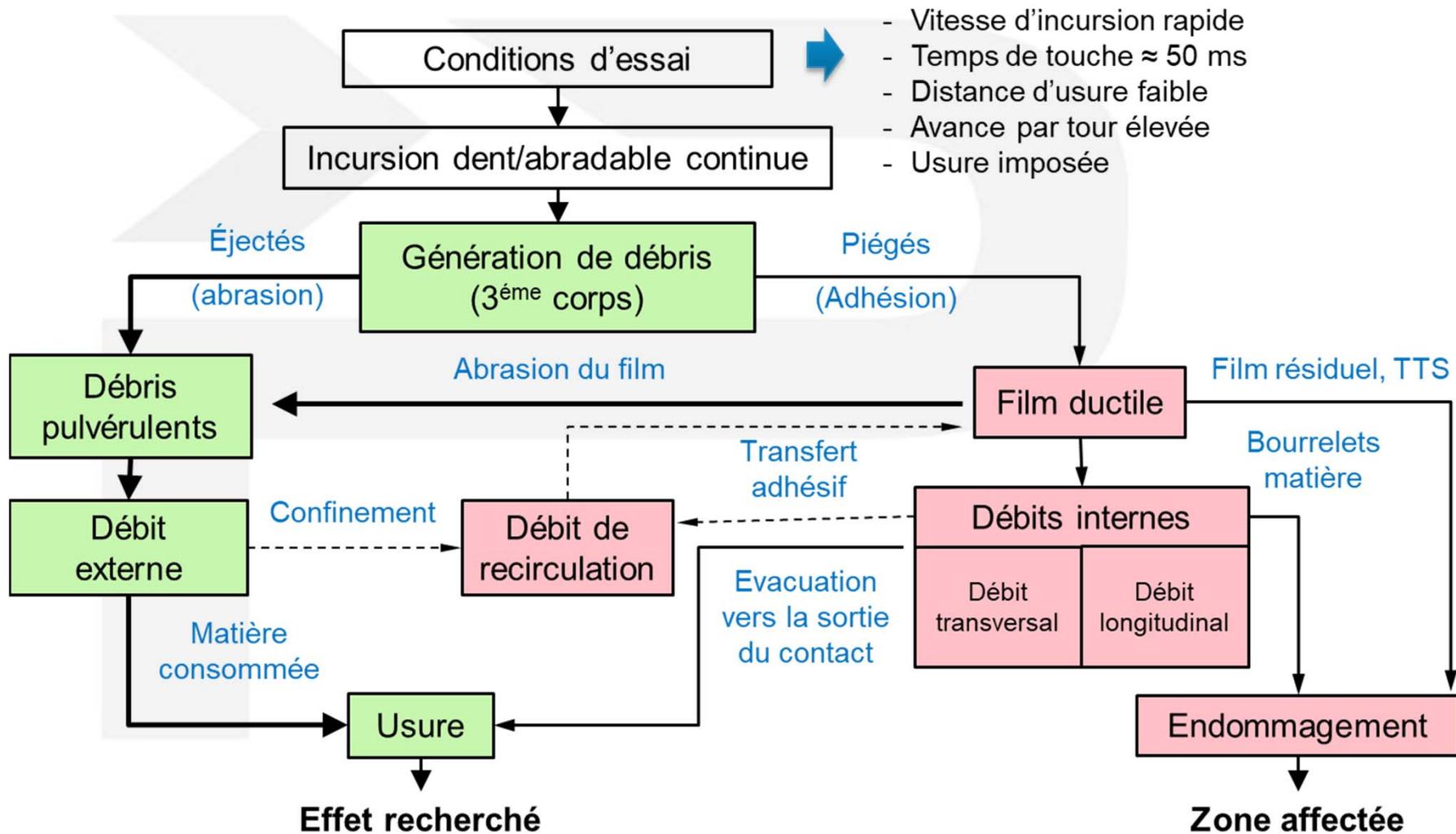
Q_e = Débit externe : éjection du 3^e corps par abrasion, débris pulvérulents à la sortie du contact.

Q_u = Débit d'usure : particules définitivement perdues dans le contact par gravité (configuration du banc)

Q_r = Débit de recirculation : particules de 3^{ème} corps réintroduites (jeu faible) + transfert adhésif d'Al-Si 6% sur la dent.

Focus Tribologie en conditions sévères

Cycle de vie du contact



Focus Tribologie en conditions sévères

- Bilan
 - Partenariat SAFRAN + projet FP7 E-BREAK
 - Meilleure compréhension des modes d'accommodation, d'endommagement et d'usure des matériaux en présence
 - Proposition de circuit tribologique incluant les différents débits, fonction des conditions de contact
 - Liens grandeurs physiques – modes d'endommagement identifiés : surveillance ?
 - Production scientifique (4 brevets, 6 ACL, 6 ACTI)

M. THEVENOT, V. WAGNER, J.-Y. PARIS, G. DESSEIN, J. DENAPE, M. HARZALLAH, A. BRUNET, T. CHANTRAIT, *Thermomechanical phenomena and wear flow mechanisms during high speed contact of abradable materials*, Wear, Volumes 426–427, Part B, 2019, pp. 1102-1109, DOI 10.1016/j.wear.2019.01.094.

C. DELEBARRE, V. WAGNER, J.Y. PARIS, G. DESSEIN, J. DENAPE, J. GURT-SANTANACH, *Tribological characterization of a labyrinth-abradable interaction in a turbo engine application*, WEAR, Vol.370-371, 2017, pp. 29-38. DOI 10.1016/j.wear.2016.11.007.

C. DELEBARRE, V. WAGNER, J.Y. PARIS, G. DESSEIN, J. DENAPE, J. GURT-SANTANACH, *The wear mechanisms occurring in a labyrinth seal/abradable contact depending on the incursion depth parameter*, Mechanics and Industry, Vol. 17, Issue 6, 2016, pp. 1-19. DOI 10.1051/meca/2015078.

C. DELEBARRE, V. WAGNER, J.Y. PARIS, G. DESSEIN, J. DENAPE, J. GURT-SANTANACH, *An experimental study of the high speed interaction between a labyrinth seal and an abradable coating in a turbo-engine application*, WEAR, Vol.316, 2014, pp. 109-118. DOI 10.1016/j.wear.2014.04.023.

M. THEVENOT, V. WAGNER, J.-Y. PARIS, G. DESSEIN, J. DENAPE, A. BRUNET, T. CHANTRAIT, *Comprehension of thermomechanical phenomena and material behavior during high-speed contact*, Proceedings of the 7th International Conference on Fracture Fatigue and Wear, FFW 2018. Lecture Notes in Mechanical Engineering, Springer, pp. 638-660, DOI 10.1007/978-981-13-0411-8_58.

Test bench and test method for a dynamic sealing system, déposant : TURBOMECA, co-inventeurs : Julien GURT-SANTANACH, Fabrice CRABOS, Stéphane VAILLANT, Paul-Etienne JACTAT, Gilles DESSEIN, publication brevet international n° WO 2014/053729 du 10/04/2014.

Joint-labyrinthe d'étanchéité a dents rugueuses, déposant : SAFRAN, co-inventeurs : GURT SANTANACH Julien, DELEBARRE Corentin, DUTILH Vincent, DESSEIN Gilles, WAGNER Vincent, publication brevet national n° FR3042553A1 le 21/04/2017.

Joint-labyrinthe d'étanchéité à dents géométriquement optimisées, déposant : SAFRAN, co-inventeurs : DELEBARRE Corentin, GURT SANTANACH Julien, DUTILH Vincent, DESSEIN Gilles, WAGNER Vincent, DENAPE Jean, PARIS Jean-yves, publication brevet national n° FR3042552A1 le 21/04/2017.

Ensemble d'étanchéité pour une turbomachine, déposant : SAFRAN, co-inventeurs : CHANTRAIT Teddy, BRUNET Antoine, THEVENOT Maël, DESSEIN Gilles, PARIS Jean-Yves, WAGNER Vincent, publication brevet national n° FR2003636 le 10/04/2020.

Focus Tribologie en conditions sévères

- Perspectives

Projet ANR SACREE-CERA 2023

| | | |
|--|----------------|---------------|
| AAPG2023 | SACREE-CERA | PRC |
| Coordonné par : | Gilles DESSEIN | Durée 48 mois |
| CE08 - Matériaux métalliques et inorganiques | | |

Vers de nouvelles céramiques sacrificielles en conditions tribologiques sévères

I. Contexte, positionnement et objectif(s) de la pré-proposition

Objectifs : Ce projet s'inscrit dans une démarche itérative de conception d'une céramique innovante possédant ces caractéristiques sacrificielles et de tenue à l'érosion, de caractérisations tribologiques en condition de hautes vitesses/hautes températures/humidité et de modélisation des différentes situations d'interactions pour aider à la compréhension du comportement du matériau en conditions sévères, afin d'ajuster les propriétés intrinsèques du matériau sacrificiel par retour d'expériences.

Stratégie : Le projet vise à proposer une méthodologie d'identification du rôle du système (approches multi-échelle et multiphysique) dans le comportement tribologique du revêtement céramique sacrificiel, et ainsi à accroître sa performance par la maîtrise des modes d'endommagement-usure et à étendre la connaissance des mécanismes mis en jeu aux très hautes températures. Cette méthodologie s'appuie sur plusieurs dispositifs d'essais de laboratoire, complémentaires et uniques sur le plan des situations tribologiques (exemple en figure 1a), et sur un couplage modèle-expérience visant à accroître la compréhension des phénomènes en situation d'interaction.

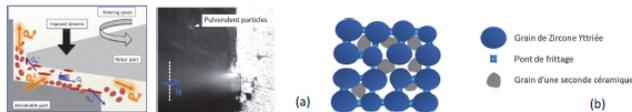


Figure 1 : Approche tribologique en conditions sévères (a) et composite céramique (b)



| CIRIMAT | ESTOURNES Claude (DR) | Développement de composites céramiques |
|---------|---------------------------|--|
| | CHEVALLIER Geoffroy (IE) | Frittage SPS |
| | Recrutement (IR) | Génie & science des matériaux céramiques |
| LEM3 | PHILIPPON Sylvain (PR) | Tribologie conditions sévères |
| | VINCENT Julien (IR) | Instrumentation en conditions sévères |
| | FAURE Laurent (MCF) | Expérimentation |
| | COULIBALY Mamadou (MCF) | Modélisation du contact |
| | CAPPELLA Andrea (IR) | Sciences des matériaux |
| | Recrutement (Doctorant.e) | Science des matériaux |

| LGP | DESSEIN Gilles (PR) | Coordinateur |
|---------|----------------------------|---------------------------------|
| | PARIS Jean-Yves (MCF) | Phénoménologie des interfaces |
| | YAHIAOUI Malik (MCF) | Émission acoustique |
| | WAGNER Vincent (MCF HDR) | Thermomécanique |
| | DELBE Karl (MCF HDR) | Spectroscopie Raman |
| | Recrutement (Doctorant.e) | Science des matériaux |
| LaMcube | DUFRENOY Philippe (PR) | Thermomécanique |
| | DESPLANQUES Yannick (PR) | Approche 3 ^{ème} corps |
| | BRUNEL Jean-François (MCF) | Dynamique |
| | MAGNIER Vincent (MCF HDR) | Méthodes numériques |

« La recherche doit avant tout être un jeu et un plaisir »

Pierre Joliot

« Chaque fois que la science avance d'un pas, c'est qu'un imbécile la pousse, sans le faire exprès. »

Emile Zola

Merci de votre attention

gilles.dessein@enit.fr