

Colloque Hauts de France Universités

« Transition Energétique et Universités : enjeux, défis, forces et structuration »

Contribution de la Région Hauts de France pour
une Energie Nucléaire plus sûre et plus propre

Franck Béclin, Murielle Rivenet, Ingrid Proriol Serre

24 mai 2024, Polytech Lille, Université de Lille

☐ Panorama des forces dans les Hauts de France.....Lille



Plateau Nucléaire



Laboratoire Paul Painlevé



Laboratoires de Recherche Communs

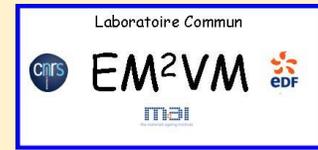


Approche expérimentale

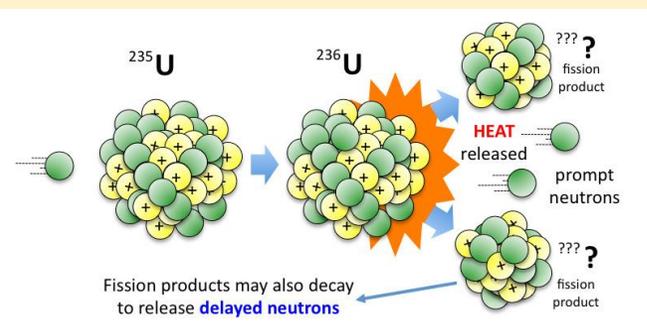
- Chimie
- Mécanique
- Matériaux

Approche théorique

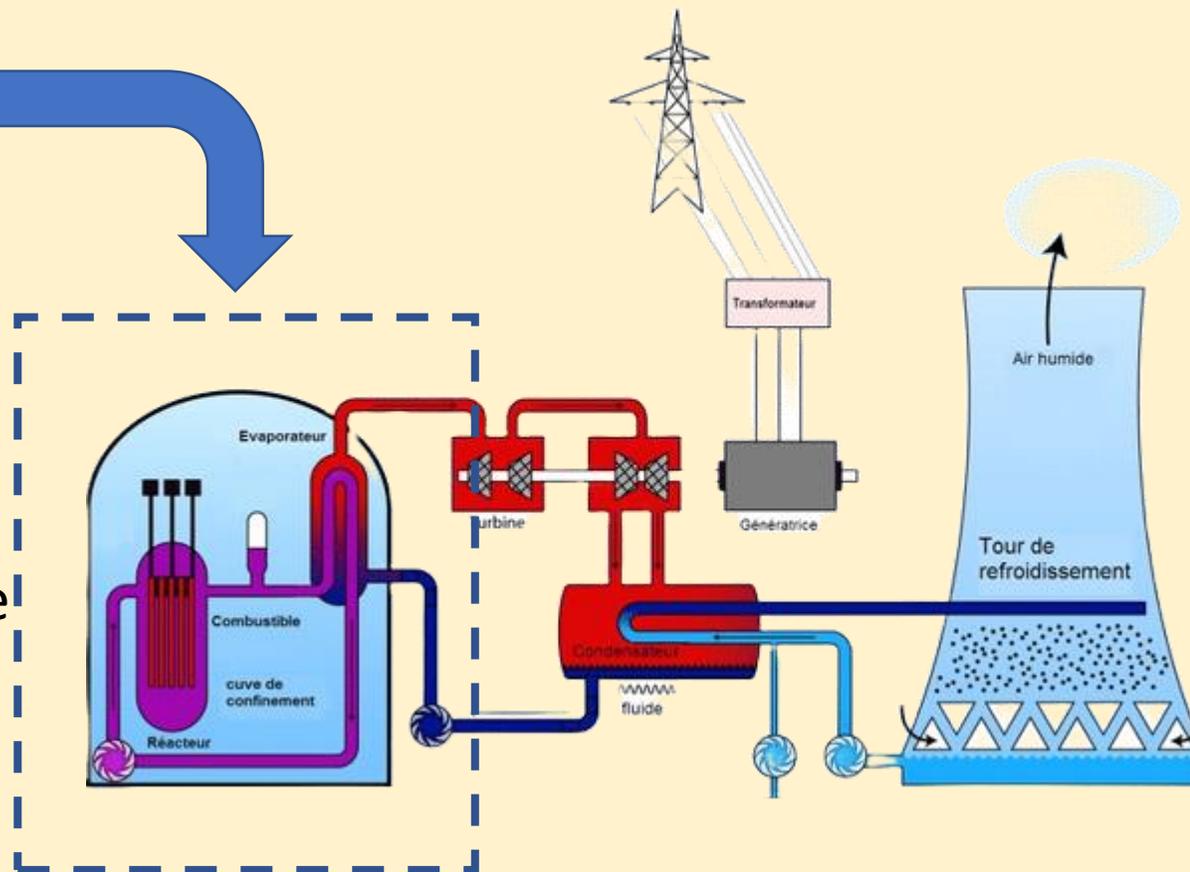
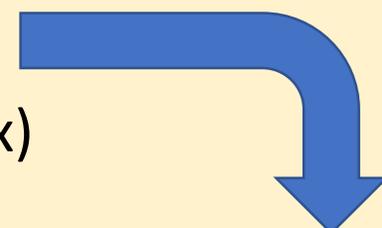
- Modélisation par éléments finis
- Modélisations multi-échelles (Ab-initio, Monte Carlo)
- Développement de modèles mathématiques



- Enrichi en ^{235}U (0,7% \rightarrow 4 à 7%)
- Sous forme d'oxyde UO_2 ; PuO_2 (Mox)



Rayonnement
Produits de fission
(radioactifs à faible
durée de vie)



Filière actuelle : REP et EPR



- 4% de produits de fission (Kr, Ba, Y, Zr, Nb, La, Ce,...)
- 1% d'Actinide (Pu, Am, Cm)
- 95% U appauvri en ^{235}U

- Elaboration du combustible

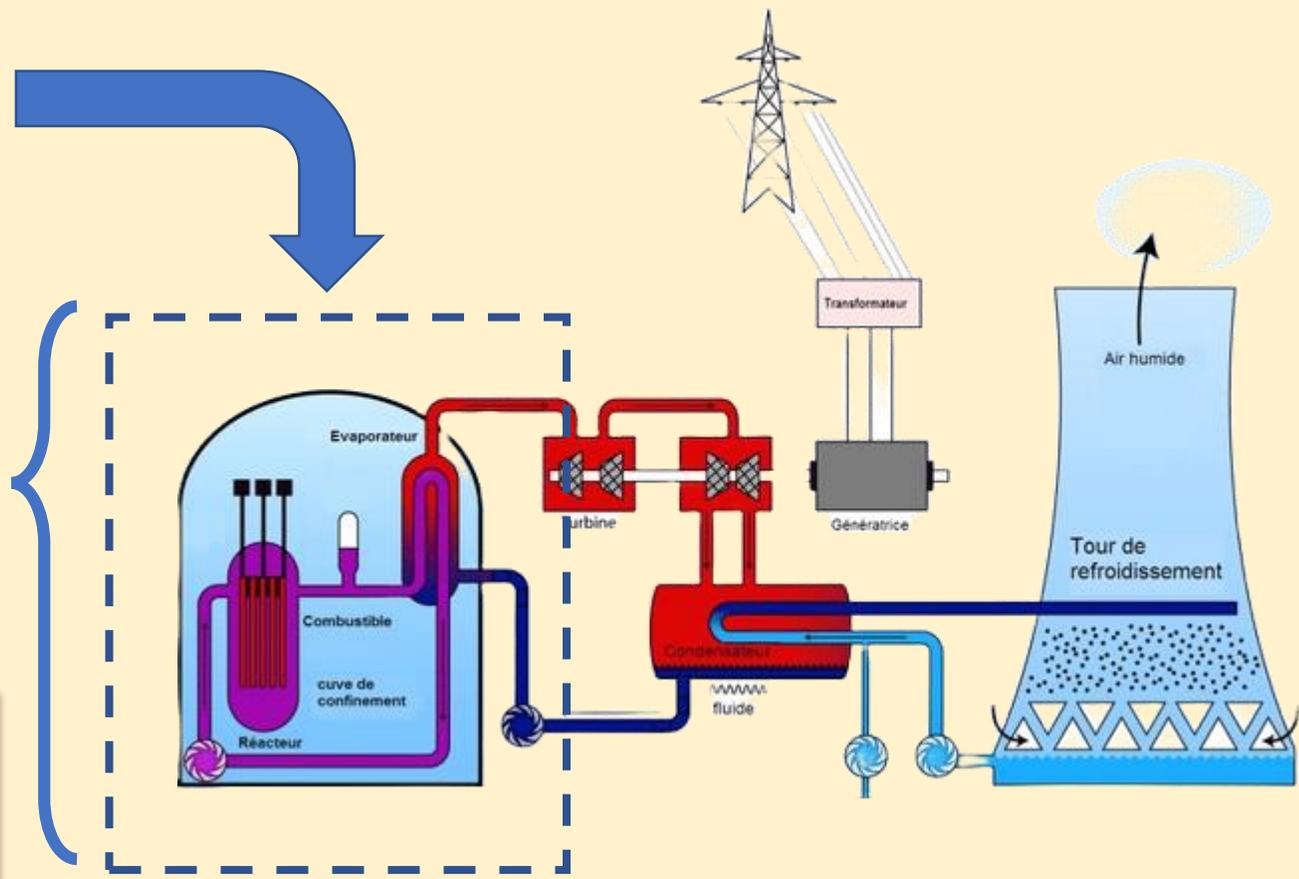
UCCS UMET

- Matériau de confinement
- Tenue des matériaux métalliques
- Accident

LaM^{CU3E} UMET PhLAM

- Traitement et Valorisation des combustibles usés
- Séparation des radioéléments
- Pérennité du Stockage des déchets
 - Confinement
 - Corrosion

UCCS PhLAM LaM^{CU3E}



Filière actuelle : REP et EPR

UMET et UCCS



Combustible



- Etudes structurales et thermodynamiques pour l'élaboration de combustibles UO_2 et UMo
 - LRC U Lille, CNRS, Centrale Lille et Framatome depuis 2016
 - IGR en CDI Mission (juin 2024 → mai 2030) 2 thèses CIFRE (Octobre 2024)

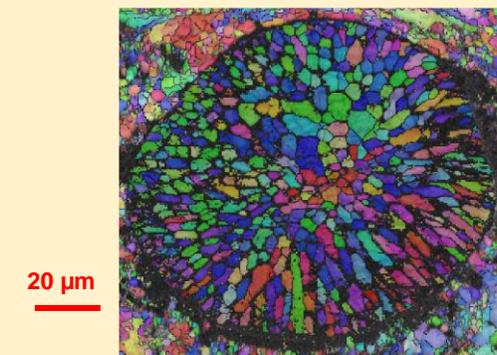
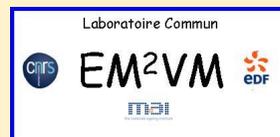


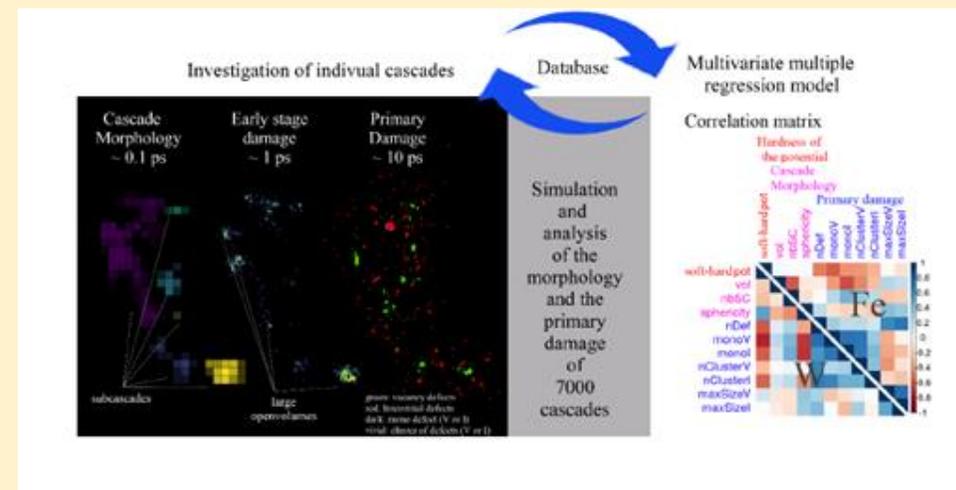
Image EBSD d'une bille UMo

UMET

Métaux sous irradiation (réacteur)



- Modélisation multi-échelle de phénomènes de déformation, de changements de phases et d'endommagement de matériaux métalliques par irradiation
 - Calcul Ab initio (calculs DFT), dynamique moléculaire et de méthode Monte Carlo cinétique ou Métropolis
 - Fission (Acier) et la Fusion (Tungstène) projet ITER
 - Collaboration avec EDF LRC depuis plus de 20 ans
 - Projets avec le CEA + ANR, contrat Euratom....
- **10 thèses** soutenues durant les 5 dernières années (certaines CIFRE)



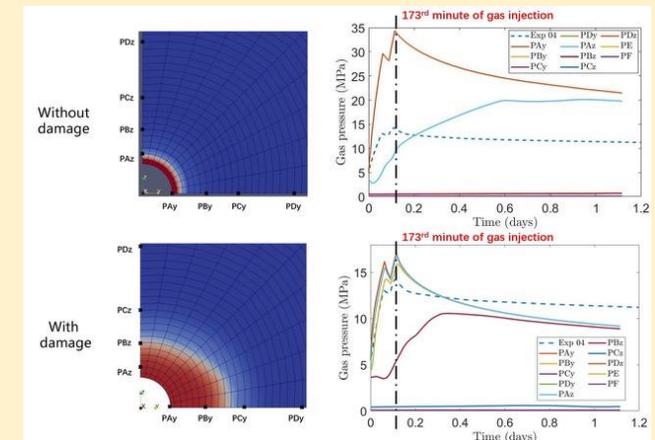
Comparaison des cascades de déplacements dans le Fe et dans le tungstène



Banc expérimental d'essais couplé de transfert gaz en cours de cisaillement d'une interface

☐ Matériaux de confinement (réacteur et enfouissement)

- Approche expérimentale et simulation
- Etude et développement de matériaux de confinement
 - Partenariat EDF : réparation d'ouvrage de confinement, développement et caractérisation de matériaux Ad Hoc (Polymère..), monitoring, surveillance d'ouvrages de confinement (EPR)
 - Partenariat Orano : développement d'un Mur de radioprotection
- Problématique du stockage Géologique
 - Problème de la diffusion gazeuse au sein des roches/fissures et des ouvrages de confinement.
 - Activité ancienne et pérenne
 - Contrat Cadre ANDRA (2000k€/5 ans), collaboration de plus de 10 ans ONDRAF
 - Nombreux projets : CIGEO (Français), Européen PREDIS, EURAD (leader d'un WP).
 - Activité pérenne (EURAD 2)
- **12 thèses** soutenues durant ces 5 dernières années



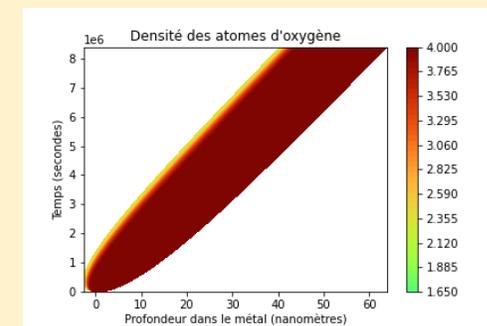
Simulation de l'injection de gaz dans un milieu poreux

Laboratoire Paul Painlevé



☐ Enfouissement des déchets

- Développement de modèles mathématiques pour la prédiction de la corrosion de métaux dans les conditions de stockage géologique
 - Modèles de type Poisson-Nernst-Planck
 - Collaboration CEA et ANDRA, modèles appliqués au Fer
 - Développement futur sur des Alliages Fer Chrome et Fer Nickel
 - **1 thèse** durant ces 5 dernières années



Profondeur corrodée en fonction du temps

PHLAM



☐ Accidentologie et traitement des combustibles usagés

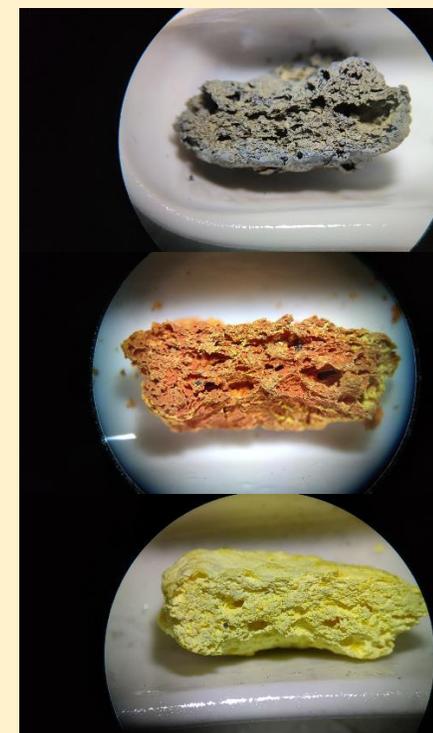
- Développement d'outils théoriques et de modélisation pour comprendre et prédire les propriétés des radionucléides
 - CEA, et les laboratoires Argonne et HZDR : Spectres d'excitations de valence et de cœur
 - CEA : modélisation de la séparation liquide-liquide des radioéléments
 - IRSN, Labex CaPPA : mise à jour des bases de données nucléaires pour le relâchement des radionucléides dans l'atmosphère
- **7 thèses** durant les 5 dernières années

UCCS

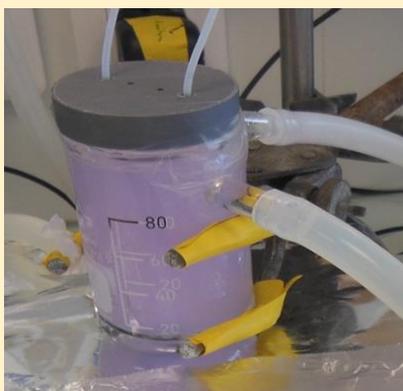


□ Cycle du combustible Nucléaire

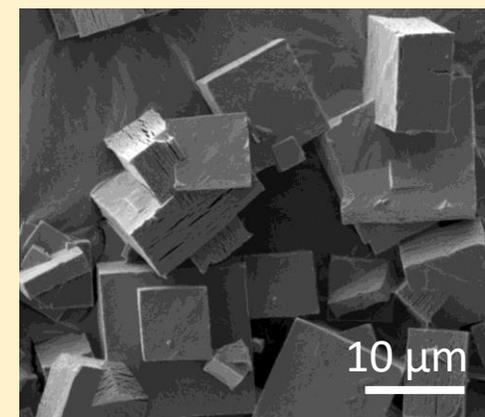
- Elaboration du combustible (Mox)
- Optimisation des procédés du cycle (purification et conversion des concentrés uranifères, séparation et précipitation des actinides en milieu oxalique...)
- Métallurgie des poudres pour le développement de matériaux innovants
- Valorisation des sous-produits du cycle (stockage de la chaleur par un processus thermo-chimique, propriétés catalytiques des métaux nobles)
- Très forte relation avec la société Orano (LR4CU)
- **12 thèses** soutenues durant ces 5 dernières années



*Mousse d'Uranium
Stockage de Chaleur*



*Précipitation oxalique du néodyme en
réacteur à effet vortex*



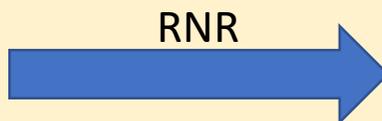
*Oxalate
d'uranium(IV)*

UMET Filière du Futur : RNR (Réacteurs à Neutrons Rapides)

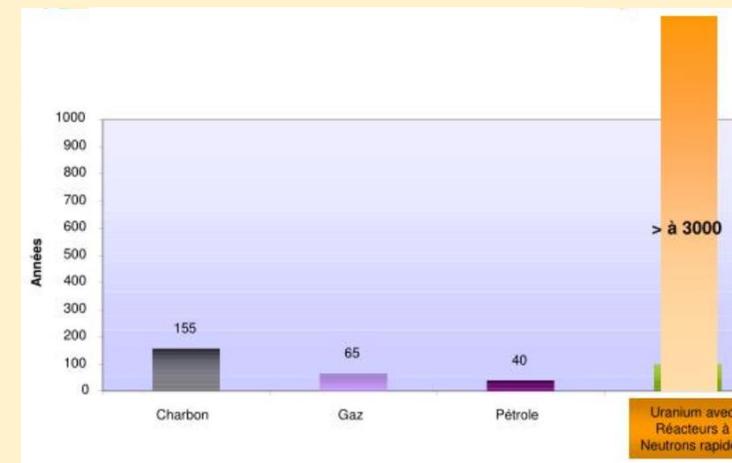
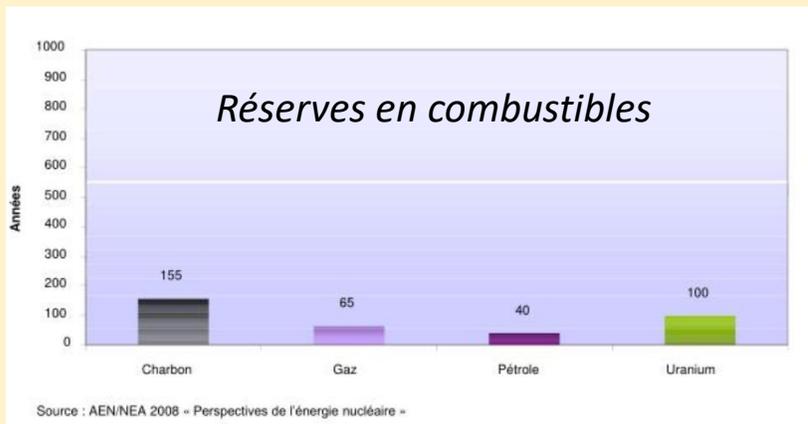
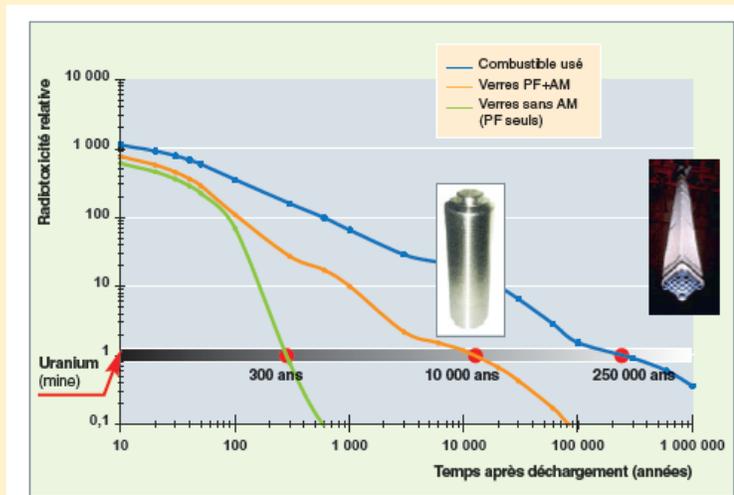
- Complément au EPR



Ferme le cycle du combustible

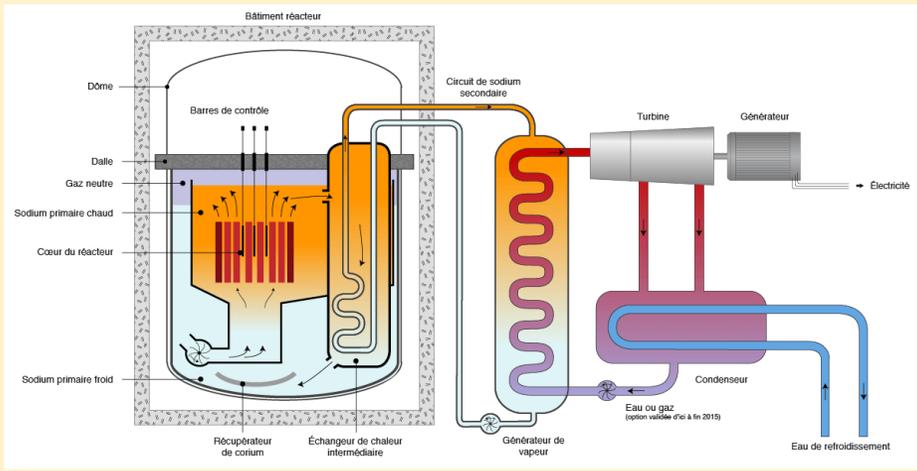


- Transmute ²³⁸U, Pu, Am, Cm en isotope fissile
- Fission de tous les éléments de la filière nucléaire
- Recycle le Pu à l'infini



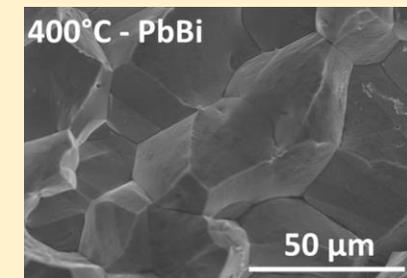
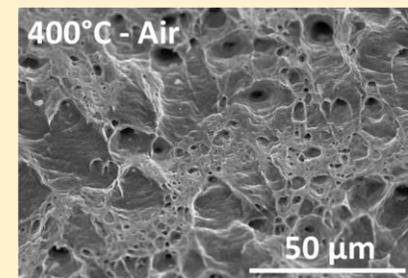
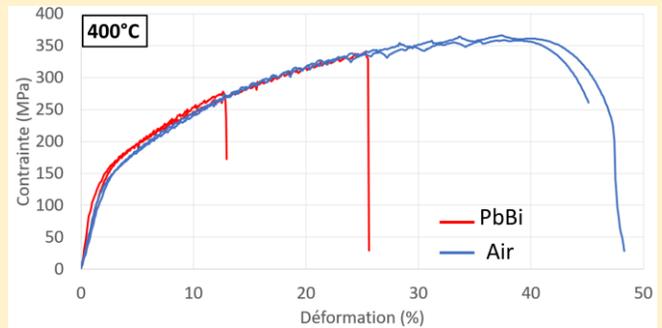
UMET Filière du Futur : RNR (Réacteurs à Neutrons Rapides)

- Depuis l'EBR 1 (1944), 22 RNR ont été construits, seuls 3 sont encore en fonction (2 en Russie et 1 en Chine)
- 4 en France : RAPSODIE (1967-1983), PHENIX (1973-2009), SUPERPHENIX (1985-1997), Projet ASTRID (2009-2018)



ASTRID

- Nécessité de remplacer l'eau comme fluide caloporteur
 - **Métaux liquides** : Na, Pb, PbBi
- Fragilisation des métaux, thématique à l'UMET depuis 1998
 - Développement d'essai in-situ
 - Nombreux contrats européens (INNUMAT), ANR GAUGUIN...
 - **2 thèses** sur les 5 dernières années



Faciès de rupture : à gauche présentant des signes de déformation, à droite des facettes nettes et lisses (à l'image d'un verre) indiquant l'absence de déformation

UMET Filière du Futur : RNR (Réacteurs à Neutrons Rapides)

- Nécessité de remplacer l'eau comme fluide caloporteur
 - **Sels Fondus** (NaCl, MgCl₂.....UCl₃, PuCl₃) 550 et 650°C
 - Association UCCS et UMET (COMASYS)
 - Elaboration du Sel
 - Corrosion des métaux en présence des Sels
 - Evolution du Sel/interaction avec le Métal
- 2022 PIA ISAC (CNRS, CEA, EDF, Framatome et Orano)
- 2024 France 2030 PROXIMA (Start up Thorizon, Orano)
- Très fort partenariat avec Orano
 - 2023 Chair NIOUSALT (Murielle Rivenet)
 - 2024 Ingénieure ORANO localisée à Lille
 - 2024 Installation d'une Boucle à Lille
- **1 thèse** soutenue (Col. KTH)



Réalisation d'une salle dédiée au projet (Bât C7)

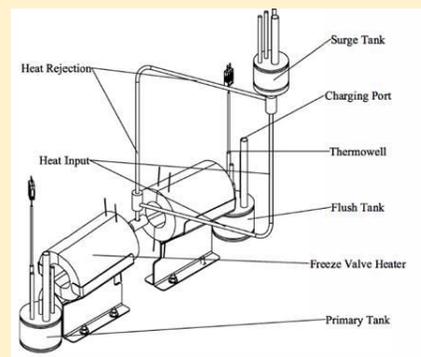


Fig. 2. The microloop core components. Gas system, insulation, and structural support omitted for clarity.

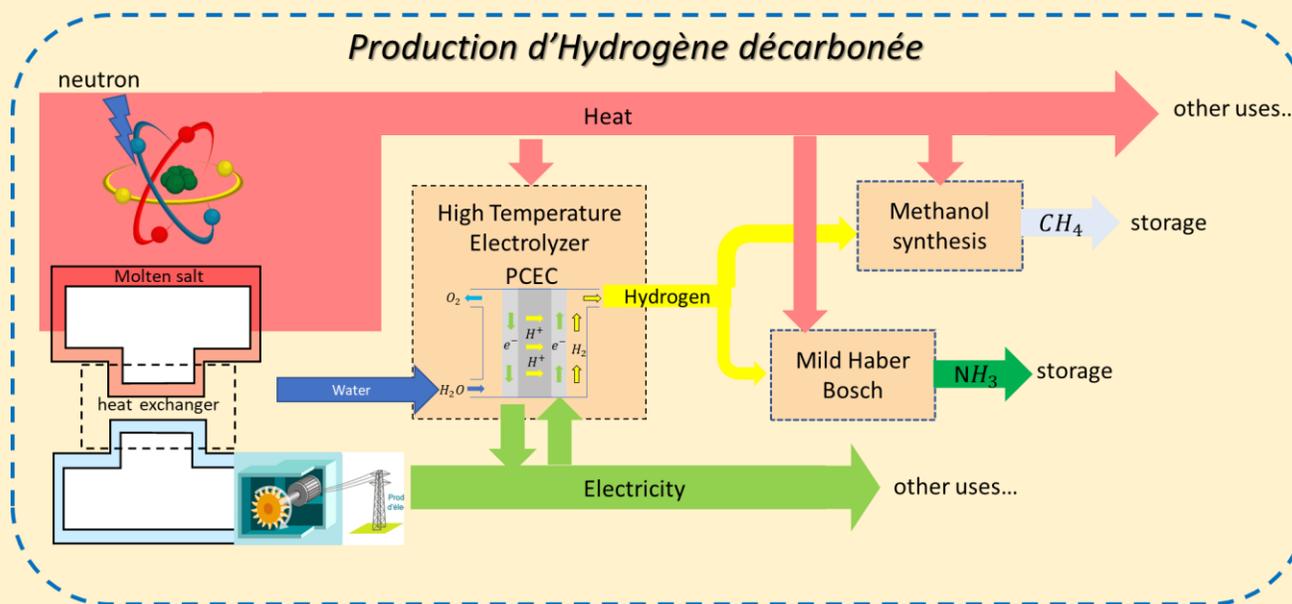


Fig. 3. Side view of a completed microloop installed into its test stand.

Schéma d'une boucle

Pour Conclure

- Thématique importante pour 5 laboratoires de Lille
- Lien avec tous les acteurs de la filières
- 45 thèses soutenues en 5 ans (9 thèses/an)
- Production d'électricité décarbonée
- Mais également de chaleur => Synergie possible



Merci de votre attention