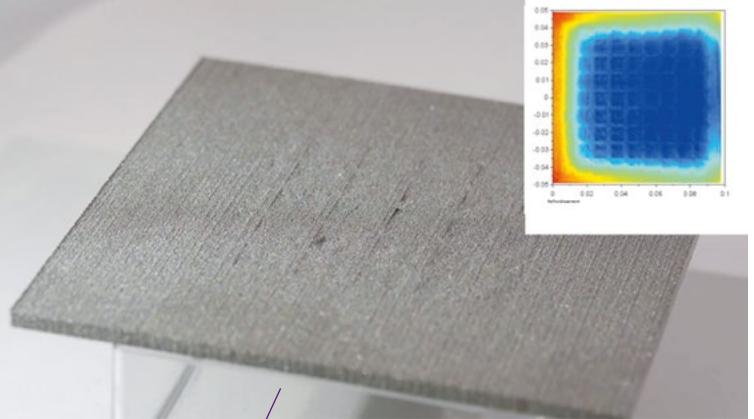


## MOSART

# Des matériaux métalliques transpirants aux capacités de refroidissement accrues

Un matériau poreux peut être protégé de la chaleur s'il est traversé par un fluide froid, de l'air par exemple, qui régule sa température par convection interne. Un gain supplémentaire est obtenu lorsqu'un film froid est créé en surface. On parle alors de transpiration. La capacité d'un matériau à être transpirant est liée à sa porosité interne, qui doit être interconnectée et déboucher à la surface. L'amélioration de l'efficacité de refroidissement des parois des chambres de combustion aéronautiques était l'une des applications visées par le projet MOSART.



Matériau transpirant constitué de zones poreuses 1x1 cm<sup>2</sup> ; Carte de températures montrant le refroidissement.

La démarche du projet a consisté à concevoir, fabriquer et tester des matériaux transpirants par impression 3D métallique. Afin d'obtenir les porosités les plus fines possibles, et donc les surfaces d'échanges les plus grandes, le projet s'est d'abord orienté vers un procédé à base de poudres métalliques soumises à une fusion par faisceau d'électrons (Electron Beam Melting ou EBM). Avec ce procédé, les poudres peuvent être simplement agglomérées par fusion partielle, laissant ainsi une porosité interne et permettant la transpiration. Il a ainsi été montré que la vitesse de balayage du faisceau et la puissance de celui-ci sont des paramètres déterminants dans la mise au point d'un matériau poreux performant. Il a également été possible de réaliser des supports architecturés permettant d'accueillir une couche de finition poreuse fabriquée par un procédé conventionnel de frittage. Des essais sur bancs aérothermiques, mettant en œuvre les matériaux architecturés ainsi développés, ont permis de démontrer que la transpiration

améliorait le refroidissement des matériaux étudiés. Les essais expérimentaux ont en effet montré que les températures à l'intérieur et à la surface des matériaux se maintiennent à des valeurs proches de celle de l'air qui les traverse.

Il est ainsi possible de créer de nouveaux systèmes transpirants multi-couches plus ou moins complexes, en tirant parti de la flexibilité de design des procédés d'impression 3D. La géométrie peut donc être adaptée à l'application visée. Dans le cas de la protection des parois de chambres de combustion aéronautique, le choix du design s'est fait en considérant des critères de masse, d'encombrement, de perméabilité et de tenue structurale. Des travaux de simulations numériques sont venus enrichir l'approche expérimentale. Ils ont permis de mieux comprendre le phénomène de refroidissement par transpiration et de dimensionner les épaisseurs des systèmes étudiés pour assurer un bon débit d'air et ainsi obtenir le meilleur refroidissement possible.



### PERSPECTIVES

Le projet MOSART a tiré parti des capacités offertes par l'impression 3D. Celle-ci permet de concevoir une géométrie sur-mesure. Il est désormais envisageable de jouer sur les propriétés du matériau lui-même, comme ici sur sa porosité interne, pour concevoir des systèmes de plus en plus complexes. Ces nouveaux outils offrent de nombreuses possibilités à la conception de « patches » de réparation de chambres de combustion.

## MOSART

Mise en Œuvre de Structures Architecturées Refroidies par Transpiration

Programme ANR : Astrid



Financé intégralement par la Direction générale de l'Armement

Édition, durée du projet : 2014, 36 mois

Subvention ANR : 300 000 €

Coordinateur :

Cécile Davoine  
cecile.davoine@onera.fr  
www.onera.fr

Publication ou contribution principale :

O. Lambert, Thèse, 2017 & S. Pinson, Thèse, 2016 sous la direction de R. Dendievel, Grenoble Alpes

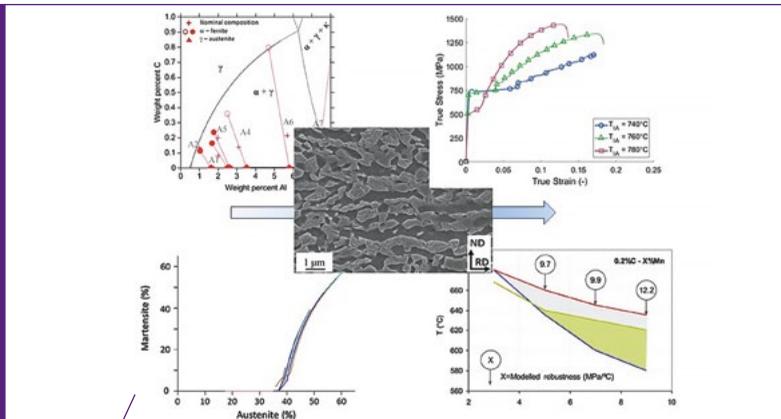
Partenaires :

Onera - The French Aerospace Lab, Département Matériaux et Structures, Université Paris-Saclay ; SIMaP - Science et Ingénierie des Matériaux et Procédés, Grenoble ; SafranTech, Magny-les-Hameaux ; SinterTech (PORAL®), Veurey-Voroize

# MeMnAl Steels

## Une nouvelle famille d'aciers à propriétés mécaniques optimisées pour l'automobile

Le seuil européen d'émissions de CO<sub>2</sub>, fixé à 130 g/km, force l'industrie automobile à alléger les véhicules. Pour obtenir de nouvelles nuances d'acier à très haute résistance et ainsi alléger d'environ 20 % la caisse en blanc, il est nécessaire de développer les connaissances et les outils qui accéléreront l'industrialisation d'une troisième génération d'aciers. Des teneurs moyennes en manganèse (Mn) et en aluminium (Al) permettent d'obtenir une microstructure biphasée conférant à ces aciers résistance mécanique et formabilité.



Comprendre et modéliser microstructures et comportement des aciers à très haute résistance pour fiabiliser leur industrialisation

Le projet MeMnAl Steels combine les approches de la métallurgie physique et de la métallurgie mécanique pour modéliser, d'une part, la genèse des microstructures, et, d'autre part, les relations entre ces microstructures et les propriétés mécaniques des aciers. Ces connaissances permettent de définir les domaines de composition et traitements optimaux pour un comportement mécanique visé, tout en accélérant le développement et en réduisant les efforts d'industrialisation.

Concernant la genèse des microstructures, une analyse à l'échelle atomique a abouti à une première prévision des domaines d'équilibre du système Fe-Mn-Al-C. Des essais et modélisations mésoscopiques ont permis d'établir la nature des phases d'équilibre, leur fraction relative et leur composition. Par des simulations DICTRA (Diffusional Transformations in Alloys) les cinétiques de transformation au recuit ont été quantifiées.

S'agissant du comportement mécanique des alliages, les mécanismes physiques de déformation ont été quantifiés *in situ* par

microscopie électronique en transmission. Le suivi *in situ* des champs de déformation et de la fraction d'austénite par magnétisme a mis en évidence que des bandes de déformation étaient associées à la transformation martensitique. La transition ductile-fragile a été caractérisée en lien avec les différentes microstructures.

Les résultats de ce projet ont ouvert de nombreuses pistes d'amélioration des aciers de troisième génération pour l'automobile. Ainsi :

- ▶ les interactions manganèse / aluminium / carbone dans la ferrite, ainsi que les conditions de stabilité et d'apparition du carbure kappa, ont été précisées ;
- ▶ il a été montré que le comportement élastoplastique dépend étroitement de la stabilité de l'austénite et de sa cinétique de transformation ;
- ▶ le projet a mis en évidence que les instabilités de déformation à température ambiante résultent du passage de bandes de déformation intense couplées à une transformation locale de l'austénite ;
- ▶ enfin, les transitions ductile-fragile ont été caractérisées pour les zones à grains

fins (rupture interfaciale) et la phase delta (clivage, également identifié par calcul atomistique).



### PERSPECTIVES

Les résultats du projet MeMnAl Steels ont permis de préciser les paramètres de fabrication permettant d'obtenir les propriétés mécaniques visées, et d'identifier les domaines les plus critiques (risque de déformation localisée, de rupture par clivage). En accélérant l'identification des paramètres de mise en œuvre en fonction des utilisations visées, les méthodes expérimentales et modèles obtenus participeront au développement d'aciers de troisième génération par l'entreprise ArcelorMittal.

## MeMnAl Steels

Développement d'aciers de 3<sup>e</sup> génération à structures duplex destinés à l'automobile

**Programme ANR:**  
MATETPRO

**Édition, durée du projet:**  
2013, 48 mois

**Subvention ANR:**  
1 199 501 €

**Coordinateur:**  
Jean-Hubert Schmitt

jean-hubert.schmitt@centralesupelec.fr  
<http://memnal-steels.grenoble-inp.fr/>

**Publication ou contribution principale :** A.Perlade et al. - Development of 3<sup>rd</sup> generation Medium Mn duplex steels for automotive applications, Mater Sci Technol 35 (2019) 204.

**Partenaires :**  
MSSMat (CentraleSupélec-CNRS); ArcelorMittal Maizières Research; UMET (Univ. Lille 1-CNRS); SIMAP (Grenoble INP-CNRS); IM2NP (Univ. Aix Marseille-CNRS); CEMES (CNRS); ARMINES (Mines ParisTech)

# JEMImE, le premier jeu sérieux qui apprend aux enfants autistes à produire des expressions faciales adaptées au contexte social

Les enfants avec autisme éprouvent de grandes difficultés à comprendre et à produire des signaux socio-émotionnels tels que les expressions faciales. L'objectif du jeu développé dans le cadre du projet JEMImE était de leur apprendre à imiter et à mimer des émotions faciales afin de reproduire l'expression appropriée dans un contexte donné. Le cœur technologique du projet était donc de concevoir de nouveaux algorithmes d'intelligence artificielle capables d'évaluer la qualité des expressions émotionnelles produites par les enfants.



Captures d'écran du jeu sérieux et visualisation des traitements réalisés par l'algorithme de reconnaissance d'expressions faciales

Pour mener à bien ce projet de recherche pluridisciplinaire, des compétences complémentaires dans les domaines de l'analyse automatique des émotions, de la conception de jeux sérieux et de la prise en charge clinique de l'autisme ont été réunies. Les travaux de recherche du consortium se sont concentrés sur deux aspects : la conception d'un jeu sérieux et la réalisation d'un module d'analyse d'expressions faciales.

La création du jeu a impliqué de concevoir des scénarios adaptés aux exigences cliniques et aux contraintes techniques, de créer un univers graphique, ainsi que de développer le jeu à proprement parler. La conception du module de reconnaissance d'expressions faciales a, quant à lui, nécessité de mettre en œuvre des algorithmes d'apprentissage automatique innovants permettant d'obtenir, en temps réel, une analyse robuste et précise des émotions faciales. Pour entraîner de tels algorithmes d'intelligence artificielle, le consortium a collecté et annoté des données d'enfants typiques et des données d'enfants

avec autisme. Celles-ci ont également été exploitées dans une perspective clinique afin de mieux comprendre les spécificités des productions émotionnelles des enfants avec autisme.

Le projet a donné lieu à un démonstrateur réunissant l'expertise de tous les partenaires du projet. Une version préliminaire du module de reconnaissance d'expressions faciales a remporté la campagne d'évaluation internationale de reconnaissance et d'analyse des expressions faciales (Facial Expression Recognition and Analysis Challenge 2015). Le projet a également donné lieu à une abondante production scientifique : 12 articles de revues internationales (dont 2 publications multipartenaires), 11 communications internationales (dont 3 communications multipartenaires) et de nombreuses actions de vulgarisation et de valorisation dans des congrès, des journées thématiques et des séminaires.



## PERSPECTIVES

Le projet JEMImE a démontré la faisabilité d'un jeu sérieux centré sur l'analyse automatique des productions émotionnelles d'enfants avec autisme. La prochaine étape du projet consistera à montrer l'apport clinique de ce jeu au travers d'une étude de grande ampleur qui permettra, à terme, de le diffuser auprès des thérapeutes et des familles via la plateforme Curapy.com.

## JEMImE

Jeu Educatif Multimodal  
d'Imitation Emotionnelle

### Programme ANR :

Contenus Numériques et Interactions (CONTINT)

### Édition, durée du projet :

2013, 54 mois

Subvention ANR : 615 513 €

### Coordinateur :

Kévin Bailly

kevin.bailly@sorbonne-universite.fr

<http://jemime.isir.upmc.fr>

### Publication ou contribution principale :

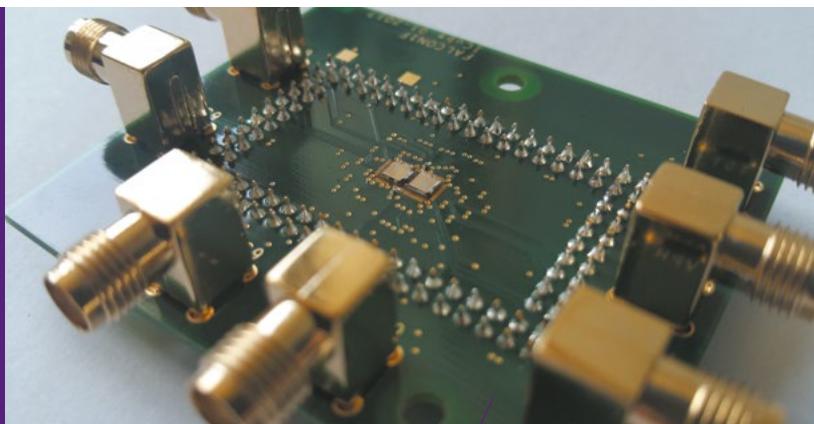
Algorithmes de reconnaissance d'émotions (1<sup>er</sup> prix, campagne d'évaluation internationale FERA 2015)

### Partenaires :

Sorbonne Université (ISIR),  
GENIOUS Systèmes,  
École Centrale de Lyon (LIRIS),  
Université de Nice (CoBTek)

# FALCON, le premier capteur vidéo ultrarapide à stockage numérique capable de prendre de 10 à 100 millions d'images par seconde

En imagerie vidéo rapide, les caméras les plus rapides utilisent l'imagerie par rafale pour contourner le goulet d'étranglement de la vitesse de transmission et ainsi dépasser une vitesse d'acquisition de plus d'un téra pixel par seconde. L'imageur FALCON s'appuie sur des procédés de microélectronique 3D pour pousser les performances bien au-delà de l'état de l'art en capturant plus de 1 000 images à une vitesse de 10 à 100 millions d'images par seconde.



© Wilfried Uhring

Photographie du prototype démonstrateur du capteur FALCON

**A**fin de repousser la fin de la loi de Moore, l'industrie microélectronique développe des techniques avancées comme la technologie 3D, qui empile les circuits intégrés de façon à augmenter la densité d'intégration. Cette technique présente l'avantage de pouvoir répartir les fonctions d'un système sur les différentes couches du circuit tout en offrant un débit d'information potentiel inégalé. Cette technologie est donc idéale pour concevoir un capteur vidéo rapide, dont le goulet d'étranglement est principalement la bande passante de transmission des données. Par ailleurs, l'électronique s'étalant sur plusieurs couches, le pixel en intègre davantage et crée des fonctions plus complexes. Ainsi, la conversion analogique numérique (CAN) est intégrée dans l'architecture du circuit. Au-delà de l'amélioration de l'intégrité des images, cette fonction permet surtout d'augmenter d'environ un ordre de grandeur le nombre d'images stockables dans le pixel par rapport à l'état de l'art.

Le capteur FALCON est la première archi-

itecture d'imageurs ultrarapides à stockage numérique. Les mesures effectuées sur le démonstrateur ont permis de valider la fonctionnalité du système. La vitesse maximale de 100 millions d'images par seconde et le nombre d'images stockées, supérieur à 1 200, sont tous deux 5 fois supérieures à ceux des systèmes commerciaux en l'état actuel de l'art. Les différentes briques technologiques conçues présentent des performances supérieures à l'état de l'art et pourraient être utilisées dans la conception d'autres systèmes d'imagerie ou de capteurs pour l'Internet des objets (IoT). Par exemple, l'architecture de la mémoire SRAM qui a été développée satisfait à tous les critères de qualité et de performance, notamment la faible consommation, ce qui rend possible son utilisation dans l'Internet des objets. Enfin, les progrès obtenus sur la CAN ont contribué à l'émergence d'une nouvelle génération de convertisseurs pour les capteurs d'images CMOS exploitée par la startup XDIGIT.



## PERSPECTIVES

Avec ce nouveau type d'imageur, l'imagerie ultrarapide fait un bond technologique et permet désormais de filmer plus de 1 000 images d'un phénomène physique complexe. Les différentes briques technologiques conçues par les partenaires du consortium sont à l'état de l'art et peuvent également être utilisées dans le cadre d'autres applications d'imageur ou de l'IoT.

## FALCON

Fast Acquisition Lattice  
Camera Owing to  
Nanotechnology

**Programme ANR :**  
CE26-0024-01

**Édition, durée du projet :**  
2014, 48 mois

**Subvention ANR :**  
648 378 €

**Coordinateur :**  
Wilfried Uhring  
wilfried.uhring@unistra.fr

**Publication ou contribution principale :**  
W. Uhring et al., « A Scalable Architecture for Multi Millions Frames per Second CMOS Sensor With Digital Storage, » IEEE NEWCAS 2018

**Partenaires :**  
Laboratoire ICube, UMR 7357, Strasbourg, porteur du projet  
Tima, UMR5159, Grenoble  
CEA leti, Grenoble  
Dolphin Intégration, Grenoble

## BAKERY

# Les pratiques paysannes et artisanales en boulangerie au cœur de la biodiversité

Bien que le pain soit un aliment d'importance historique, culturelle et nutritive en France, les atouts de sa filière boulangerie à faible intrant pour le développement d'une alimentation durable sont mal connus. Le projet BAKERY visait à accroître les connaissances sur la variété des pratiques boulangères, la diversité des espèces microbiennes présentes dans les levains, et leurs effets sur la qualité nutritionnelle et organoleptique du pain ainsi que sur les perceptions des consommateurs.



© Elisa Michel

Blé, farine et levain

Le projet BAKERY a adopté une approche de recherche participative interdisciplinaire, impliquant à la fois des boulangers, des psycho-sociologues, des bio-mathématiciens, des agronomes et des microbiologistes, pour analyser les pratiques de fabrication du pain au levain, la diversité microbienne et la qualité du pain.

Le levain est un mélange de farine et d'eau naturellement fermentée par les levures et les bactéries lactiques. Il est responsable de la levée de la pâte et produit des acides lactique, acétique ainsi que des arômes. Le projet a mis en évidence que la rupture avec le modèle dominant de production de pain blanc par levure commerciale conduisait à une grande diversité de pratiques de panification, bénéfiques à la conservation de la diversité microbienne. L'espèce bien connue de levure de boulangerie, *Saccharomyces cerevisiae*, n'est pas majoritaire. D'autres espèces de levure, du genre *Kazachstania*, sont fréquentes et certaines

n'avaient, jusqu'à présent, encore jamais été décrites. Les pratiques boulangères peuvent être distinguées en pratiques paysannes et artisanales, qui maintiennent des espèces microbiennes différentes et contribuent donc à la conservation de la biodiversité. Une expérience a ensuite été réalisée : des agriculteurs ont cultivé des populations de blé anciennes et des variétés modernes que des boulangers ont employées pour obtenir et propager de nouveaux levains. Ceux-ci ont ensuite servi à faire des pains expérimentaux.

Le projet a montré que l'environnement du fournil et le boulanger sont les principaux « meneurs » du microbiote du levain. Il existe donc un effet « terroir boulanger ». L'analyse organoleptique et sensorielle des pains a révélé que leurs profils aromatiques diffèrent non seulement selon le « terroir boulanger » des levains mais aussi selon le terroir de culture des blés. Enfin, des entretiens avec les consommateurs ont mis en évidence que ceux-ci, au-delà

des préoccupations « santé », recherchent un lien social en choisissant de manger du pain au levain.



### PERSPECTIVES

Au niveau scientifique, les résultats du projet BAKERY ont fait émerger le microbiote levain et la filière boulangerie comme un modèle applicable à l'écologie, à l'évolution et à la recherche participative. Au niveau sociétal, ils démontrent que le développement de filières locales reposant sur des pratiques paysannes et artisanales permettent de promouvoir la biodiversité et la diversité des goûts. Il devient maintenant important de suivre l'essor de ces filières, et son impact sur la dynamique des pratiques boulangères et de la biodiversité.

## BAKERY

Diversité et interactions d'un écosystème agro-alimentaire « Blé/ Homme/Levain » à faible intrant : vers une meilleure compréhension de la durabilité de la filière boulangerie

**Programme ANR :**  
ALID

**Édition, durée du projet :**  
2013, 54 mois

**Subvention ANR :**  
669 694 €

**Coordinateur :**  
Delphine Sicard  
delphine.sicard@inra.fr  
<https://www6.inra.fr/bakery/>

**Publication ou contribution principale :**

Carbonetto, et al. (2018) Bakery yeasts, a new model for studies in ecology and evolution. doi:10.1002/yea.3350

**Partenaires :**

UMR SPO, UMR GQE-Le Moulon, CIRM-Levures, CIRM-BIA, ONIRIS, UB0, ITAB, Réseau semence paysanne, Association Triptolème, 40 boulangers/paysans-boulangers