# Rapport d'activité **2023** Carnot Icéel

INSTITUT CARNOT Icéel

**Rapport d'activité Carnot Icéel 2023**
publié en juin 2024
**Directeur de la publication :** Jérôme Sterpenich

**Création, mise en page, rédaction :**
Maële Terrec, Jérôme Sterpenich,
**Impression** : Reprographie Université de Lorraine

Carnot Icéel
Campus ENSIC Grandville
1 rue Grandville
BP20451 - 54001 Nancy Cedex

Site : www.carnot-iceel.fr
Contact : iceel-contact@univ-lorraine.fr

**Crédit photos :**
p.4, 7, 8, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 21 : Carnot Icéel
p.14, 19, 22, 23, 24 : Adobe Stock Photos

# ÉDITO

Je suis heureux de vous présenter le rapport d'activité du Carnot Icéel pour l'année 2023. Cette année encore, Icéel a mis en valeur le label d'excellence Carnot par ses actions de développement partenarial, de communication vers le monde socioéconomique et de resourcement de ses composantes à travers l'appel à projets annuel.

Les actions de développement partenarial ont été particulièrement accélérées avec l'arrivée de deux ingénieur-e-s Transfert du CNRS, Dorra Ibrahim et Paul Krasy. Ils ont pour mission de mieux faire connaître l'offre de compétences de laboratoires CNRS du Carnot Icéel, en lien avec les procédés et les matériaux. Ce renforcement humain nous a permis en particulier d'accentuer notre présence sur des salons professionnels d'envergure tels que Pollutec ou Global Industrie.

En plus d'une présence accrue sur les réseaux sociaux et d'un site web totalisant toujours plus de visites, des actions de communication à fort impact ont entouré les deux principaux évènements de l'année, à savoir la signature d'une charte de collaboration avec la CCI Meuse Haute-Marne et la signature d'un accord de partenariat avec le GIP Objectif Meuse permettant de financer les besoins en R&D et en innovation des PME primo innovantes du territoire meusien.

La communication interne vers nos composantes est également un enjeu important pour répondre au mieux aux besoins des entreprises. Les Carnot Hours, moment convivial au cours duquel on partage des informations Carnot avec nos personnels de recherche dans une ambiance conviviale, ont encore connu un succès incontestable cette année. Merci au pôle Communication pour son implication sans faille !
L'appel à projets est toujours un moment important de la vie du Carnot. Il permet à nos composantes de recherche de toujours garder une longueur d'avance dans leur capacité à innover et à proposer aux entreprises le meilleur des compétences de la recherche. Cette année on notera le financement d'un projet transverse TRANSFUSION impliquant sept composantes d'Icéel et dédié aux techniques de chimiométrie avancée de fusion de données.

Je voudrais aussi souligner ici l'arrivée de Marcel Elie au poste de Directeur scientifique. Il a en charge depuis l'été la mise en place de la stratégie scientifique du Carnot au regard des enjeux de R&D, en lien avec les grandes transitions environnementales, énergétiques et sociétales. C'est un poste clé qui doit permettre de mieux articuler l'offre de compétences de nos composantes et les attentes de nos entreprises face à leur besoin de développement par l'innovation.

L'année 2023 voit également l'arrivée dans le périmètre Carnot du Pôle Universitaire d'Innovation Polaris, piloté par l'Université de Lorraine et qui doit permettre de coordonner les acteurs de l'innovation du territoire lorrain et d'augmenter le flux de collaboration entre les entreprises et nos composantes de recherche. Le Carnot Icéel jouera un rôle majeur dans le développement partenarial territorial en coordination avec les fondateurs de Polaris.

**Jérôme Sterpenich**
Directeur du Carnot Icéel

# SOMMAIRE


**6. LE RÉSEAU DES CARNOT**

**9. LE CARNOT ICÉEL**

Un acteur de l'innovation incontournable en Grand-Est
Les chiffres clés
Les composantes labellisées Carnot
L'équipe

**14. DÉVELOPPEMENT PARTENARIAL**

Une présence notoire
Des partenariats au service du territoire
Des rencontre productives
Laboratoires communs 2023
Focus

**22. RESSOURCEMENT SCIENTIFIQUE**

Projets innovants au service des entreprises

**28. RÉTROSPECTIVE**

# LE RÉSEAU DES CARNOT

**Les Carnot forment un réseau unique de 39 structures de recherche publique française reconnues pour leur capacité à répondre aux besoins de R&D de toutes les entreprises.**

Le Label Carnot est une garantie d'excellence scientifique et de qualité pour favoriser le développement de la recherche partenariale. C'est aussi la garantie d'une relation partenariale privilégiée.

Les Carnot constituent la première force de recherche publique capable de se mobiliser sur tous les fronts de la R&D pour accompagner la relance et la souveraineté économique de la France par l'innovation.

Les Carnot proposent une offre scientifique et technologique pluridisciplinaire au meilleur niveau mondial pour offrir des solutions d'innovation sur-mesure aux entreprises de tous les secteurs d'activité.

## LE RESEAU DES CARNOT, L'INTERLOCUTEUR ESSENTIEL POUR LES ENTREPRISES EN RECHERCHE D'INNOVATION

Les 39 Carnot de France réalisent 55% de la R&D financée par les entreprises. Cela représente annuellement 10 200 contrats de recherche, dont 4 400 avec des PME et ETI. Ils concentrent également 20% des effectifs de la recherche publique.

## QUELQUES CHIFFRES

- 600 millions d'euros de chiffre d'affaires de recherche contractuelle avec les entreprises ;
- Contribution à 1/3 des publications françaises de rang A ;
- Un effort croissant en direction des PME et ETI : des contrats de R&D pour un montant de 122 millions d'euros, soit 23 % du chiffre d'affaires ;
- Une thèse CIFRE sur trois est réalisée dans un Carnot.

## LA PLUS PUISSANTE OFFRE DE R&D

Les Carnot ont tissé des liens étroits avec l'écosystème d'innovation (Comités stratégiques de filières, Pôles de compétitivité, Fédérations professionnelles) afin d'identifier les problématiques auxquelles sont confrontées les entreprises, d'anticiper leurs besoins et d'offrir une meilleure visibilité sur les travaux R&D exploratoires de leurs équipes.

Ainsi les Carnot se sont organisés et ont fédéré leurs savoir-faire autour de thématiques porteuses pour l'industrie.

Le Carnot Icéel s'est par exemple associé à d'autres Carnot à travers des alliances pour proposer une offre de compétences transversale sur l'industrie du futur, les énergies à faible impact carbone, les produits biosourcés pour la bioéconomie ou encore la mode et le luxe.

## FOCUS SUR L'ALLIANCE P2B

**Constituée de 8 Carnot (3BCAR, Chimie Balard Cirimat, Icéel, I2C, MICA, Plant2PRO, PolyNat, et IPGG Microfluidique), l'alliance P2B a pour objectif global la structuration des acteurs Carnot concernés pour faciliter l'accès à la R&D et promouvoir la recherche partenariale au service de l'innovation des entreprises de toutes tailles dans le domaine des produits biosourcés.**

**Cette alliance réunit des experts et expertes partageant une vision commune pour le développement durable et la transition vers une bioéconomie prospère.**

CLEANWOOD
Ce dispositif permettra de travailler sur la décontamination des déchets de bois créosoté afin de les rendre moins dangereux et valorisables.

BIOMATÉRIAUX
L'innovation dans les biomatériaux, une réponse aux défis industriels et environnementaux.

ECO-VALUE
A pour objectif de valoriser les écorces de résineux, sous-produits importants des industries de première transformation du bois.

PACKAGING BIOSOURCÉ
Décliné en deux branches, le projet s'adapte aux problématiques liées aux barquettes alimentaires et aux emballages cosmétiques.

Consultez l'offre Carnot en bioéconomie

MEGATRENDS,
RISQUES ET
TRANSITIONS...
ANTICIPER PAR
LA R&D ET
L'INNOVATION
ÉNERGIE
ICÉEL
GÉNÉRATEUR
D'INNOVATION
+ DE 400 CONTRATS ANNUELS
DE RECHERCHE DIRECTE AVEC L'INDUSTRIE

# LE CARNOT ICÉEL

## UN ACTEUR DE L'INNOVATION INCONTOURNABLE EN GRAND-EST

Acteur incontournable de la recherche publique en région Grand Est, il rassemble 28 composantes de recherche (laboratoires de recherche, centres de ressources technologiques, centres techniques industriels, centres de transfert, plateformes technologiques) qui mettent leur expertise et leur savoir-faire au service de l'innovation des entreprises.

## L'INGÉNIERIE DURABLE AU SERVICE DE L'INNOVATION

Les structures de recherche publique, rassemblées autour du Carnot Icéel, œuvrent dans les domaines d'activités suivants :

- Génie des Procédés et Énergie ;
- Matériaux ;
- Ressources et Environnement ;
- Technologies Industrielles.

1100 personnels de recherche (doctorants, ingénieurs, enseignants-chercheurs, chercheurs) sont prêts à mobiliser leurs connaissances, afin de lever les verrous scientifiques et technologiques, rencontrés par les entreprises évoluant dans les secteurs du BTP, des transports, de l'énergie, de la défense, du luxe ou encore de la bioéconomie.

La multidisciplinarité du Carnot Icéel lui permet d'aborder, par une approche transversale, les problématiques de recherche et développement liées aux transitions énergétiques et environnementales.

Innover avec le Carnot Icéel, c'est être accompagné par un interlocuteur dédié, accéder à des innovations technologiques et scientifiques à forte valeur ajoutée et accéder à un parc d'équipements de pointe (70 plateformes en Grand Est).

Le Carnot Icéel est porté par 5 tutelles : l'Université de Lorraine, le CNRS, le Pôle régional de Recherche et de Transfert de Technologie, l'Université Technologique de Troyes et CentraleSupélec.

Ses actions de développement de partenariats socio-économiques, axées autour de l'innovation scientifique, s'inscrivent entièrement dans la stratégie opérationnelle de ses tutelles.

## LES CHIFFRES CLÉS

**70**
plateformes technologiques

**11**
laboratoires communs

**9**
millions d'euro de CA annuel de contrats de R&D avec des entreprises

**12**
chaires industrielles

**65**
thèses CIFRE en cours

**160**
brevets détenus en portefeuille

**500**
entreprises accompagnées chaque année

## NOS COMPOSANTES LABELLISÉES CARNOT ICÉEL

La multidisciplinarité du Carnot Icéel lui confère une approche transversale dans les réponses qu'il peut apporter aux problématiques de R&D liées à la transition environnementale et à la transition énergétique. Le Carnot Icéel fédère 27 composantes de recherches, mobilisables pour lever vos verrous technologiques.

| Énergie et Génie des Procédés | Ressources et Environnement | Matériaux | Technologies Industrielles |
|---|---|---|---|
| **ERPI**<br>Processus innovatifs<br>**Green**<br>Génie électrique<br>**InSyTE**<br>Transitions, Risques, Crises<br>**Lemta**<br>Énergies, H2, Smartgrids<br>**Lermab**<br>Bois, matériaux, énergies<br>**LIBio**<br>Agroressources, matériaux<br>**LIST3N**<br>Capteurs, IA, Silvertech<br>**LRGP**<br>Procédés, matériaux, énergie | **CRPG**<br>Pétrologie, géochimie<br>**GeoRessources**<br>Sous-sol, stockage, géologie<br>**LCPME**<br>Eau, environnement, matériaux<br>**LSE**<br>Sols anthropisés<br>**LIEC**<br>Écotoxicologie | **Halle des Matériaux**<br>Assemblage, brasage<br>**Institut Jean Lamour**<br>Matériaux, nanomatériaux, plasmas<br>**L2n**<br>Nanomatériaux pour la photonique<br>**LASMIS**<br>Optimisation des matériaux<br>**LMOPS**<br>Photonique, photovoltaïque | **Cerfav**<br>Verre<br>**CETELOR**<br>Textiles et fibres biosourcés<br>**CIRTES**<br>Stratoconception, usinage avancé<br>**CRITT Bois**<br>Bois, construction, ingénierie numérique<br>Institut de Soudure<br>Soudage, CND, composites<br>**PLASTINNOV**<br>Plasturgie, écoconception<br>**TJFU**<br>Fonctionnalisation, usinage, découpe<br>**CTIF**<br>Métallurgie |

## LA CARNOT HOUR

Afin d'animer la communauté de recherche de ses composantes labellisées, le Carnot Iéel a mis en place un événement interne : la Carnot Hour.

Cette rencontre trimestrielle a pour objectif d'informer la communauté Carnot sur le label et ses actualités, de fédérer la communauté de chercheurs et de chercheures membre du Carnot Icéel et ainsi de favoriser les collaborations scientifiques inter-laboratoires, quels que soient leurs domaines scientifiques.
**Cet événement prend la forme d'un afterwork et a rassemblé près de 150 personnes en 2023.**

# L'ÉQUIPE

**Une équipe opérationnelle dédiée et organisée en Unité d'Appui et de Recherche (UAR 3653) assure l'interface entre nos composantes labellisées Carnot Icéel, les entreprises, les tutelles, le Réseau des Carnot et l'Agence Nationale de la Recherche.**

**Jérôme Sterpenich**
Directeur Carnot Icéel

**Marcel Elie**
Directeur scientifique

**Véronique Rémy**
Responsable administrative et financière

**Charlène Hübsch-Cassis**
Assistante administrative
*a rejoint l'UFR SciFa en octobre 2023*

**Laëtitia Laurent**
Assistante administrative et commerciale
*nous a rejoint en novembre 2023*

**Catherine Plessy**
Responsable développement partenarial

**Dorra Ibrahim**
Ingénieure transfert - CNRS

**Paul Krasy**
Ingénieur transfert - CNRS
*nous a rejoint en septembre 2023*

**Marie Blanchard**
Responsable communication

**Maële Terrec**
Chargée de communication en alternance

# DÉVELOPPEMENT PARTENARIAL

## UNE PRÉSENCE NOTOIRE

**2023, l'année des salons professionnels pour le Carnot Icéel. L'équipe s'est rendue à quatre rencontres pour être au plus proche des entreprises.**

### GLOBAL INDUSTRIE

L'un des premiers salons mondiaux consacrés à l'industrie. Pour le Carnot Icéel, c'est l'occasion de présenter aux visiteurs et visiteuses ses dernières innovations en matière de fonctionnalisation et texturation de surface.

Des pièces présentant son excellence scientifique ont d'ailleurs été exposées, afin de proposer aux intéressés un éventail de ses compétences pour l'industrie.

Le fruit de nos collaborations R&D avec des industriels ont également été exposées comme Viessman (LabCom SOLARIS), SEB, Air Liquide, Tivoly, etc. ou des équipements scientifiques exceptionnels comme le Tube Daum : le plus grand tube sous ultravide au monde.

### PLANT BASED SUMMIT

Le Carnot Icéel était présent les 13 et 14 juin 2023 au Grand Palais de Lille au salon dédié à la bioéconomie, aux côtés des Carnot I2C, Carnot 3BCAR et Carnot Polynat.

Cet événement international est un incontournable pour les acteurs de la chimie biosourcée et met en avant les solutions à la construction d'une économie durable pour l'avenir.

Le Carnot Icéel étant un spécialiste dans la recherche et le développement de procédés chimiques et biotechnologiques pour la valorisation de la biomasse, l'un des principaux piliers de la bioéconomie, notre équipe a pu montrer les compétences principales de nos composantes face aux 700 décideur et décideuses de haut niveau dans le public et le privé.

## RENCONTRES RÉGIONALES DE LA TRANSFORMATION ÉCOLOGIQUE

Le Carnot Icéel était présent avec l'Institut Jean Lamour (IJL) au village des solutions des Rencontres Régionales de la Transformation Écologique, organisée par Veolia France à Metz.

C'est à nouveau une belle opportunité de collaboration entre le laboratoire de recherche et le Carnot Icéel pour présenter leur panel de compétences auprès d'un public notoire, et qui plus est territorial.

## POLLUTEC

Le réseau des Carnot pour la transition écologique et environnementale était à Lyon du 10 au 13 octobre pour proposer la plus puissante offre de R&D.

Les Carnot Icéel, MICA et Chimie Balard Cirimat ont fédéré l'expertise de leurs structures de recherche au service des entreprises en recherche de solutions environnementales et énergetiques.

Sur cet événement, leur panel de compétence comprenait plusieurs domaines :

- Matériaux, Chimie et Procédés
- Sol et Agronomie
- Énergie
- Prévention des risques

Une belle vitrine de démonstrateurs pour mieux comprendre les travaux de recherche était également accessible.

*Catherine Plessy, Nicolas Minard, Marcel Elie, Audrey Picot et Patrick Lacrois Desmazes*

*Tournage d'un reportage de France 3 sur le projet La Science Fait Des Bas avec Pilar Chavez au LRGP.*

## LES RENDEZ-VOUS CARNOT

Événement annuel incontournable du Réseau des Carnot, cette année les Rendez-Vous Carnot se tenaient à Lyon les 18 et 19 octobre 2023.

Transport et mobilité, Chimie et Matériaux, Energie, Mode et Luxe, Santé... Le Carnot Icéel couvrait de nombreux domaines, illustrés par ses démonstrateurs.

Le salon permet aux entreprises de toutes tailles et de tous les secteurs d'activité d'accélérer et de concrétiser leur projet d'innovation, en ayant l'opportunité de rencontrer facilement les acteurs majeurs de la R&D et du soutien à l'innovation.

Nicolas Brosse du LERMAB a co-animé avec Jean-Michel Le Roux, responsable du programme des instituts Carnot pour l'Agence Nationale de la Recherche (ANR) la table ronde "Matériaux avancés et bioprocédés pour la décarbonation des industries" .

*Vélo IN'BÔ du CETELOR*

## DEEPTECH CONNECT

Pour cette édition 2023, le réseau des Carnot était partenaire de l'événement Deeptech Connect, organisé par le Réseau SATT.

Pour soutenir cette initiative et proposer aux startups présentes son offre de compétences, le Carnot Icéel était présent lors de ce rendez-vous parisien, qui a eu lieu le 19 novembre.

Cet événement rassemblait une centaine de startups issues de la recherche publique dans le domaine des technologies numériques, de la santé, de l'innovation et de la transition énergétique

Ce rendez-vous nous a permis d'aller à la rencontre de porteurs ambitieux, qui veulent révolutionner nos quotidiens et de leur proposer un accompagnement R&D pour booster leur développement.

Ce fût aussi l'occasion de saluer nos chercheurs-entrepreneurs qui présentaient les startups issues de notre laboratoire l'Institut Jean Lamour (IJL) avec le projet SAM SAS (Samuel Kenzari) et Caremosim (Jean-Philippe Jehl).

# DES PARTENARIATS AU SERVICE DU TERRITOIRE

## DÉRISQUEZ VOS PROJETS D'INNOVATION AVEC LE PROGRAMME CARMIN

*Signature officielle du programme dans les locaux du CRITT TJFU à Bar le Duc. De gauche à droite, Raffaël Masiello, Mélanie Varnusson, Hélène Boulanger, Jérôme Dumont et Jérôme Sterpenich.*

Afin de construire des réponses aux grands défis auxquels sont confrontées les entreprises meusiennes des différents secteurs économiques, notamment en matière de transition énergétique et écologique, de bioéconomie, ou en lien avec l'industrie du futur et l'épuisement des ressources, le GIP Objectif Meuse et le Canot Icéel, ont souhaité mettre en commun leurs expertises pour faire jouer des synergies et activer les projets d'innovation des PME du territoire meusien.

Des enveloppes financières comprises entre 2000 et 16000€, pourront ainsi être débloquées pour financer la première phase d'un projet de R&D.

## UN PARTENARIAT ENTRE LA CCI 52-55 ET LE CARNOT ICÉEL

La Chambre de Commerce et d'Industrie (CCI) Meuse Haute-Marne et le Carnot Icéel ont signé un partenariat dont l'objectif est double :

- Accompagner conjointement les entreprises des départements de la Meuse et de la Haute-Marne dans la levée des verrous technologiques ;
- Renforcer la recherche collaborative et l'expertise au sein de l'écosystème du Carnot Icéel.

Ce partenariat offre à la CCI et au Carnot Icéel l'opportunité de mutualiser leurs compétences et leurs ressources, créant ainsi un environnement favorable à l'émergence et à la concrétisation de projets novateurs en Meuse et en Haute Marne.

# DES RENCONTRES PRODUCTIVES

## RENCONTRE ECOTECH ENERGIE

La 6ème édition des rencontres EcoTech Énergie s'est tenue le 8 décembre 2023 à l'Auditorium Bpifrance (Paris). Cet événement d'envergure, organisé par le PEXE et le réseau des Carnot pour les énergies à faible impact carbone, a mis en lumière les enjeux cruciaux liés à la gestion des ressources dans le contexte de la transition énergétique mondiale.

Avec plus de 180 participants, réunissant des acteurs clés de l'industrie (TPE/PME/ETI et grands-groupes), des représentants gouvernementaux, des entrepreneurs innovants, des investisseurs et des chercheurs éclairés, cette rencontre a été une occasion unique de débattre, d'échanger des idées et de forger des alliances stratégiques pour un avenir énergétique plus durable.



## RENCONTRES UTT/ENTREPRISES

L'équipe du Carnot Icéel a eu le plaisir d'assister à la première rencontre UTT-Entreprises, organisée par le TIPI. Cette journée inédite avait pour objectif de faire découvrir les expertises de l'Université de Technologie de Troyes aux entreprises de notre territoire. L'événement était composé de différents parcours, mettant en lumière les domaines de recherche clés dans les cinq laboratoires de notre institution.

## INNOVATION DAY

Le groupe Pochet (Pochet du Courval – Qualipac – Aura – Solev), spécialiste de la fabrication de flacons de parfum pour l'industrie du luxe et convaincu que les emballages de demain doivent reposer sur l'écoconception et des solutions multimatériaux réinventées, a sollicité les compétences des Carnot pour répondre à ses besoins.

En collaboration avec ses collègues de l'Institut Carnot MICA, le Carnot Icéel a invité le groupe Pochet à se rendre dans les locaux du Cerfav, le Centre de Recherche Technique spécialisé dans le verre, pour une journée en janvier. Cette rencontre avait pour objectif de comprendre l'approche innovante du groupe afin de collaborer avec les meilleurs experts du domaine et de leur proposer les meilleures formules de partenariat pour des développements futurs.

# LABORATOIRES COMMUNS 2023

## LE LABCOM PROSEED : vers une nouvelle bioraffinerie du colza et du tournesol

Le laboratoire commun PROSEED, fruit de la collaboration entre le Laboratoire Réactions et Génie des Procédés (LRGP) et le groupe Avril, vise à valoriser les produits riches en protéines issus du colza et du tournesol pour l'alimentation humaine et animale, tout en réduisant leur impact environnemental. Le colza et le tournesol offrent un potentiel stratégique pour l'autosuffisance protéique de la France et de l'Europe, en remplaçant progressivement l'importation de soja.

Depuis 2014, les recherches se concentrent sur la transformation du tourteau de colza et de tournesol en isolats protéiques de haute qualité pour l'alimentation humaine, mais des limitations ont été identifiées, notamment en termes de rendement et d'empreinte environnementale. Une nouvelle orientation vers les concentrés protéiques a été entreprise à partir de 2020, avec pour objectif l'optimisation des procédés et la réduction de l'impact environnemental.

PROSEED évalue également la durabilité des procédés en cherchant à valoriser les coproduits et à limiter l'utilisation d'intrants. L'initiative s'appuie sur cinq thèses de recherche, dont deux CIFRE et une intégrée au plan "France 2030", avec l'ambition de poser les bases d'une nouvelle bioraffinerie pour les oléoprotéagineux, et élargir éventuellement ses recherches aux légumineuses.

*source : Factuel - Univ Lorraine*



## LE LABCOM THEIA : pôle d'excellence en géologie des ressources minérales

À l'occasion des 10 ans de GeoRessources, la collaboration entre le laboratoire et Arethuse Geology s'est vue inaugurée à travers le lancement officiel du labcom THEIA portant sur la métallogénie.

*Dans la mythologie grecque et romaine, Théia est une Titanide, fille d'Ouranos (le Ciel) et de Gaïa (la Terre), elle aurait créé tous les métaux précieux.*

À travers son « Critical Raw Material Act » (plan de l'Union européenne pour sécuriser ses approvisionnements en métaux), la législation européenne sur les matières premières critiques vise à renforcer les capacités de l'UE à tous les stades de la chaîne de valeur. À l'instar de l'Europe, si la France souhaite atteindre ses objectifs climatiques et numériques, l'approvisionnement, la transformation et le recyclage des matières premières critiques et la sécurisation des chaînes d'approvisionnement constituent les défis pour l'avenir.

À travers ses actions de recherche innovante, le LabCom THEIA a un objectif double :

- Mieux comprendre la formation des gisements afin de prédire leur existence efficacement ;
- Préparer les outils de l'exploration minière de demain, pour rester prédictif et permettre à l'industrie de conserver une avancée scientifique et technologique.

Ce projet s'inscrit dans une recherche d'excellence se basant sur de l'interdisciplinarité dans le domaine des ressources minérales et l'ingénierie minière.

*source : Factuel - Univ Lorraine*

# FOCUS

## #LASCIENCEFAITDESBAS

Le Carnot Icéel a lancé une collecte de bas et collants en nylon du 1er mars au 31 mai 2023.
En effet, le Carnot Icéel soutient la start-up auxerroise Écollant dans sa R&D, qui s'attache à relever un nouveau challenge scientifique : développer un procédé de recyclage écoresponsable des collants en nylon.

C'est à Nancy, au sein du LRGP, que Pilar Chavez, doctorante en thèse CIFRE, dédie ses travaux de recherche à la problématique posée par la start-up. Elle est accompagnée de Sandrine Hoppe et Isabelle Chevalot, chercheuses au LRGP.

Après un travail conséquent de compilation de la littérature scientifique et d'étude de faisabilité, elle a dû s'attaquer aux principaux verrous scientifiques : séparer les matières qui composent le collant pour revenir au matériau initial et s'en servir afin de recréer le vêtement. Pour mener à bien cette étude, le Carnot a mis en place près de 20 points de collecte en collaboration avec des acteurs du territoire et d'autres régions de France, et a permis de récolter plus de 170kg de collants et bas usés.



## UN NOUVEAU SOUFFLE POUR LE PROJET THYMO

Le Carnot a à cœur d'anticiper les besoins des entreprises pour répondre aux défis majeurs liés au changement climatique ou à l'épuisement des ressources.

C'est pour répondre à ces enjeux que nos chercheuses et chercheurs travaillent sur le projet THYMO (Traitement Hydrométallurgique de cartes électroniques de téléphones Mobiles), en éprouvant un procédé écoresponsable de recyclage des cartes électroniques des téléphones mobiles pour récupérer les métaux rares et précieux qu'elles contiennent.

Après une collecte de plus de 17 000 appareils mobiles en 2021 pour le projet THYMO, la collecte s'est vu relancée en septembre 2023, en partenariat avec la Métropole du Grand Nancy. La moitié du projet a déjà été réalisée et les étapes de découpe sont maîtrisées. Mais pour aller encore plus loin et tester différentes solutions, l'équipe de recherche du projet a besoin d'une quantité importante de téléphones afin de réaliser les tests. Des points de collecte ont donc à nouveau vu le jour dans les déchetteries du territoire.

# RESSOURCEMENT SCIENTIFIQUE

En 2023, ce sont 17 projets de ressourcement financés par le Carnot Icéel. Il s'agit de projets de recherche à visée de transférabilité vers l'industrie. Cette année fait la part belle aux projets Inter-Carnot favorisant l'interdisciplinarité génératrice d'innovation.

## PROJETS INNOVANTS AU SERVICE DES ENTREPRISES

### STRUCTURATION DE SURFACE D'ALLIAGES À HAUTE ENTROPIE

Les alliages à haute entropie (AHE) sont des composés métalliques multi-élémentaires concentrés (formés d'au moins 5 éléments), découverts en 2004. Outre la complexité chimique, ces composés présentent une distorsion du réseau cristallin qui a permis de définir un nouveau concept d'alliages métalliques avec des propriétés physiques et chimiques exceptionnelles.

Initialement les AHE étaient étudiés pour leurs propriétés mécaniques, en particulier la recherche d'amélioration de performances à haute température, mais leurs atouts adressent de nombreuses propriétés en lien avec les domaines de l'énergie, comme le stockage de l'hydrogène, la catalyse, la décomposition électrocatalytique de l'eau...

Ce projet s'attache à l'étude de la structuration laser de la surface de AHE dans le but d'accroître le potentiel en termes de propriétés. Le type de traitement de surface utilisé permet en effet d'apporter de nouvelles fonctionnalités optiques, tribologiques, mécaniques ou biochimiques à de nombreux matériaux.

Il allie les compétences complémentaires de 2 laboratoires (IJL, Carnot Icéel et SIMAP, Carnot Énergies du Futur) afin d'élaborer plusieurs AHE en films minces, de les structurer par impulsions laser ultrabrèves et d'en déterminer les propriétés fonctionnelles. Les retombées partenariales de ce projet concernent principalement les industriels de l'énergie.

## COMPRENDRE LA STABILITÉ DES POLLUANTS ORGANIQUES AU SEIN DE MATÉRIAUX SIDÉRURGIQUES

La compréhension à long terme de l'évolution de dépôts fortement contaminés, issus de la sidérurgie par exemple, dans des contextes de réaménagement de cours d'eau est indispensable. Aujourd'hui les bureaux d'étude, les gestionnaires de l'eau et les Agences de l'Eau ne disposent pas de cette vision systémique et s'appuient sur des réglementations sans avoir de vision sur les bénéfices de travaux de renaturation à long terme. De plus, l'estimation de la contamination repose sur le dosage des quelques composés ciblés, sans prendre en compte l'origine et le statut de ces composés.

Ce projet apporte un double éclairage sur cette problématique :

- au travers d'expériences de vieillissement et de suivi *in situ* pour comprendre l'évolution du statut de contaminants organiques dans des dépôts sidérurgiques
- en couplant une analyse fine de la disponibilité des contaminants organiques dans ces dépôts et leur analyse thermique Rock-Eval, il proposera des descripteurs simples des fractions organiques en présence dans les dépôts (naturelle/anthropique, labile/réfractaire) qui permettront de faire un premier diagnostic de la contamination et de sa mobilité à long terme.

Ces descripteurs pourront être directement utilisés par les acteurs en proposant de les associer à un risque de remobilisation des polluants ou à l'effet additionnel de stockage de carbone via des interactions carbone-fer.
Ce projet allie les compétences complémentaires d'un laboratoire et d'un EPIC (LIEC, Carnot Icéel et IFP Énergies nouvelles, Carnot IFPEN RE).

## CONTROL ALGORITHMS FOR PMSM MOTORS IN AUTOMOTIVE APPLICATIONS

La popularité croissante des véhicules électriques (VE) et des véhicules électriques hybrides (VEH) en tant qu'alternatives aux véhicules à moteur à combustion interne conventionnels est motivée par les préoccupations environnementales, le réchauffement climatique et l'exploitation limitée des ressources.

Dans le secteur automobile, les machines électriques, notamment les moteurs synchrones à aimants permanents (PMSM), sont largement utilisées pour la propulsion, les actionneurs et le refroidissement des organes essentiels (batterie, électronique de puissance). Grâce à leur haute densité de puissance, leur rapport élevé couple/poids et leur structure simple, les PMSM offrent des avantages significatifs. L'optimisation énergétique du moteur et de son système de contrôle est un enjeu majeur.

Parmi les méthodes de contrôle des PMSM, le contrôle par platitude présente plusieurs avantages, notamment une réponse plus rapide aux perturbations et aux variations de couple de charge, avec l'utilisation d'une seule boucle de contrôle. Cependant, peu de systèmes exploitent actuellement cette technique, principalement en raison du manque de solutions pour assurer une maîtrise sure des courants du moteur, en particulier en cas de saturation.

Selon les récents résultats obtenus sur des architectures mettant en œuvre des algorithmes d'optimisation, il a été démontré qu'il est possible d'éliminer les défauts de contrôle par platitude tout en bénéficiant de ses avantages.

Cette avancée constituerait un progrès significatif en terme d'optimisation du rendement des moteurs, d'efficacité énergétique et de fiabilité. Ce projet vise à consolider ces avancées, à optimiser l'adéquation entre l'algorithme et l'architecture matérielle, ainsi qu'à effectuer des tests sur différentes configurations de PMSM et de modes de fonctionnement afin de réduire les pertes d'énergie, la consommation de l'actionneur et d'augmenter le rendement du système.

Le laboratoire GREEN de Nancy (Carnot Icéel) et le laboratoire ICube de Strasbourg (Carnot TSN) collaborent sur ce projet en offrant des compétences complémentaires dans les domaines nécessitant la conception de systèmes de contrôle des machines électriques, d'électronique (circuits intégrés) et l'optimisation des algorithmes associés.

Le projet transverse est interdisciplinaire par essence puisqu'il réunit au moins un laboratoire de chaque domaine d'activité du Carnot Icéel. Cette année 200 k€ sont consacrés au projet TRANSFUSION.

Nous observons aujourd'hui un intérêt important pour les nanosciences dans de nombreux domaines comme la physique, la chimie ou la biologie. Afin de réponde à cette demande, l'instrumentation analytique se doit d'être toujours plus performante. Les spectroscopies vibrationnelles, la microscopie à force atomique (AFM) et les microscopies électroniques sont de formidables techniques d'analyse pour la caractérisation d'échantillons complexes. Elles permettent d'accéder à une grande richesse d'informations moléculaire et élémentaire.

## TRANSFUSION

### Techniques de chimiométrie avancée de fusion de données pour repousser les limites d'analyse d'appareils conventionnels

L'objectif du projet TRANSFUSION est de développer des outils numériques innovants et performants permettant de repousser les limites instrumentales actuelles lors de la génération de données spatiales couplées à des informations de chimie élémentaire, moléculaire et mécanique.

L'amélioration concerne à la fois la taille du plus petit objet observable, l'identification de sa composition ainsi que le temps de calcul. L'autre intérêt réside dans la transversalité disciplinaire des outils attendus, ceci à travers leur capacité à prendre en compte des environnements variables et des données de natures multiples et multi-échelle, applicables aux domaines tels que les procédés, l'énergie, les ressources et l'environnement ou encore les technologies industrielles.

Ce projet aidera les plateformes instrumentales à proposer une caractérisation plus fine et plus rapide des échantillons à leurs utilisateurs.

Le projet TRANSFUSION réunit le LIEC, le LCPME, le LMOPS, le LERMAB, GeoRessources et TJFU.

## PROJETS FINANCÉS EN 2023

| Composante(s) mobilisée(s) | Type de projet | Objet de la recherche | Niveau de TRL | Financement accordé |
|---|---|---|---|---|
| LIBio | CREATIX | CREATIX-GlycoPREC | N/A | 7 000 € |
| LERMAB | DEMO | Démonstrateur physique et virtuel du procédé d'explosion à la vapeur | N/A | 20 000 € |
| IJL | INTER CARNOT | Structuration de surface d'alliages à haute entropie | 3 | 60 000 € |
| Liec, GeoRessources | INTER CARNOT | Approche multi-analytique pour comprendre la stabilité des polluants organiques au sein de matériaux sidérurgiques | 3 | 50 000 € |
| GREEN | INTER CARNOT | Control Algorithms for PMSM motors in Automotive Applications | 6 | 42 686 € |
| IJL, LEMTA, CRITT TJFU | INTER DA | Étude numérique et expérimentale du comportement dynamique et thermique d'un jet gazeux multi-composants à fraction d'H2. Application à l'oxycoupage des matériaux et au réchauffage des fours sidérurgiques | 3 | 60 000 € |
| LIBio, IJL, CRITT TJFU | INTER DA | Étude de la réactivité physicochimique d'un revêtement bioactif des surfaces auto-biocides | 4 | 60 000 € |
| IJL, GeoRessources | INTER DA | Highlights on Europe Raw Materials Sustainability | 3 | 60 000 € |
| IS, IJL | INTER DA | Collaboration homme/robot intelligente pour un meilleur contrôle qualité en fabrication additive | 4 | 60 000 € |
| IS, EEIGM Halle des Matériaux, IJL | INTER DA | Relations Projections-santé matière en Fabrication additive métal par fusion par Arc | 5 | 60 000 € |
| IJL, L2n | INTRA | Plasmonique Infrarouge Compatible CMOS | 4 | 35 000 € |
| IJL, LMOPS | INTRA | Effet Hall à basse température pour l'étude de matériaux semi-conducteurs à base d'oxydes d'éléments abondants et non-toxiques | 3 | 37 000 € |
| LRGP | INTRA | Chemical Elemental Analysis Without Chemical Preparation | 5 | 45 000€ |
| LEMTA, LRGP | INTRA | Etudes des propriétés et des conditions de synthèse de vitrimères chargés obtenus à partir d'une résine époxy « verte » | 3 | 20 000€ |

## PROJETS FINANCÉS EN 2023

| Composante(s) mobilisée(s) | Type de projet | Objet de la recherche | Niveau de TRL | Financement accordé |
|---|---|---|---|---|
| GeoRessources | INTRA | Opérationalité du laboratoire K-Ar pour la datation des processus géologiques | 3 | 58 300€ |
| LCPME | INTRA | Rôle des bactéries hydrogénotrophes sur la composition des gaz en conditions de stockage souterrain de l'H2 | 3 | 21 700€ |
| Cerfav, Cetelor, CIRTES, Critt Bois, IS, CRITT TJFU | INTRA | Etude et développement de procédés innovants de fabrication performants et intelligents pour l'industrie du futur | 4 | 91 000€ |
| UL Populs', LIST3N, ERPI, LIBio | INTRA | Modélisation de systèmes réactifs complexes | 3 > 9 | 76 500€ |
| LRGP, IJL, L2N | PROF | Fédérer les plateformes matériaux du Grand Est | N/A | 12 500€ |
| IJL | PROF | Ingénieur Plateforme : Elaboration et caractérisation d'alliages métalliques | N/A | 45 000€ |
| GeoRessources | PROF | Ingénieur Plateforme : Analyse et monitoring sur le terrain de gaz et composés organiques volatils par chromatographie gazeuse | N/A | 45 000€ |
| IS | PROF | Soutien HDR, menée dans le secteur industriel et portant sur le développement de solutions sur mesure en se basant sur le monitoring et l'intelligence artificielle | N/A | 15 000€ |
| LIEC, GeoRessources, LCPME, LMOPS, LERMAB, CRITT TJFU | TRANS | Techniques de chimiométRie AvaNcée de FUsion de données pour repouSser les limites d'analyse d'appareils conventIONnels | 3 | 200 000€ |
| **Total consacré au ressourcement scientifique en 2023** | | | | 1 181 686€ |

# RÉTROSPECTIVES

**MAI**

Conférence « Grandes tendances, risques et transitions : anticiper par la R&D et l'innovation » donnée au Cercle des Paraiges, lieu d'échanges et de développement à Metz.

**AVRIL**

Silvia Lasala, (LRGP) est récompensée de la médaille de Bronze 2023 du CNRS pour son travail qui porte sur la thermodynamique et l'énergie.

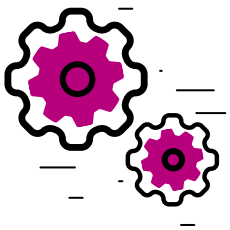


**JUIN**

Le Carnot Icéel est présent à Plant Based Submit à Lille, et au village des solutions des Rencontres Régionales de la Transformation Écologique à Metz.

**JANVIER**

Organisation du séminaire stratégique annuel, qui a eu lieu à l'INIST en présence des directeurs ou représentants de ses composantes.



**FÉVRIER**

Juan Carlos Rojas-Sanchez, (IJL) obtient une bourse ERC Consolidator pour ses travaux en spintronique.

**MARS**

Lancement de la campagne La Science Fait Des Bas avec le LRGP.

Evelyn Füri (CRPG) obtient une bourse ERC pour son projet IRONIS, sur l'étude du traçage et l'origine de l'eau sur la Lune.

### NOVEMBRE

Lancement officiel des travaux de recherche entrepris dans le cadre de la chaire industrielle **SAGID+**. Cette chaire est le fruit d'une longue collaboration entre ERPI et le groupe ACTIBAC dans le but d'optimiser les bords de route qui sont des sources de bénéfices sociaux et environnementaux.

### DÉCEMBRE

Notre composante GeoRessources a fêté ses 10 ans. L'occasion de revenir sur l'usine-pilote STEVAL qui fêtait par la même occasion ses 60 ans.



### OCTOBRE

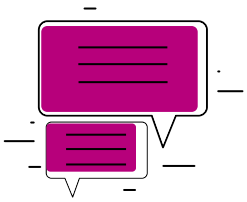
L'équipe du Carnot Icéel est présente sur Pollutec et les Rendez-Vous Carnot à Lyon, deux événements incontournables pour les acteurs de l'environnement et de la transition industrielle et énergétique, ainsi que pour exposer l'offre de R&D de nos composantes.

### JUILLET

Le Carnot Icéel fête ses 15 ans, l'événement a rassemblé près de 60 personnes issues de l'écosystème du Carnot, afin de célébrer les 15 ans d'existence du label sur le territoire sous la forme d'une exposition de projet suivie d'un challenge par équipe.

### SEPTEMBRE

Inauguration du prototype d'explosion à la vapeur du LERMAB et de Cetelor. Ce procédé innovant permet le traitement des fibres avec un faible impact environnemental.



### AOÛT

Lancement du prix Prix FIEEC-Bpifrance, qui reconnaît les chercheur(e)s et ingénieur(e)s des établissements d'enseignement supérieur ou de recherche qui ont collaboré avec des PME ou ETI afin de créer des partenariats dont l'impact est avéré en matière d'augmentation de chiffre d'affaires et de création d'emploi.

cnrs

UNIVERSITÉ
DE LORRAINE

Prett

utt
UNIVERSITÉ DE TECHNOLOGIE
TROYES

CentraleSupélec