



INSTITUT
CARNOT

Energies du Futur

LE CARNOT ENERGIES DU FUTUR

**À LA POINTE
DES TECHNOLOGIES
POUR LA TRANSITION
ÉNERGÉTIQUE**

SOMMAIRE



.....

.....

CARNOT ENERGIES DU FUTUR

LE DISPOSITIF CARNOT EN QUELQUES MOTS

Le dispositif Carnot a été mis en place par l'État avec pour objectif principal d'accompagner le transfert technologique de la recherche publique à l'industrie. C'est dans un esprit d'excellence et de valorisation de la recherche que s'est créé et développé le réseau des 39 Carnot rassemblés au sein d'une association nationale, afin de développer l'attractivité des meilleurs laboratoires de recherche français en favorisant une meilleure visibilité de leurs compétences et de leur professionnalisme au profit des entreprises.

**Les Carnot : une synergie
pour favoriser la recherche
partenariale entre les
laboratoires et les entreprises.**

LE CARNOT ENERGIES DU FUTUR

Dans la région grenobloise, lieu historique de la recherche et du développement des entreprises dans le domaine de l'énergie, le Carnot Energies du Futur, créé en mars 2007, remplit cette mission : fédérer, autour de grandes structures de recherche et d'enseignement supérieur (CEA, CNRS, Grenoble INP, UGA, USMB, INRAE) les acteurs locaux des nouvelles technologies de l'énergie. Il suscite une véritable recherche partenariale qui facilite les transferts de technologie vers le monde de l'industrie et de l'entreprise.

La richesse de l'environnement scientifique grenoblois place le Carnot Energies du Futur à la pointe de la recherche et des technologies sur les énergies bas carbone. Qu'il s'agisse de matériaux, de procédés, du management de l'énergie, de la recherche sur les micro sources, du développement de composants pour la filière hydrogène ou de l'intégration de ces technologies dans le bâtiment et les transports, les laboratoires qui composent le Carnot Energies du Futur relie la recherche fondamentale à la recherche appliquée pour proposer des innovations relevant le défi des énergies de notre civilisation future.

En répondant aux besoins de R & D des entreprises, en mettant en place des modèles collaboratifs innovants et multidisciplinaires, le Carnot Energies du Futur s'affirme comme un grand pôle européen sur les nouvelles technologies de l'énergie.

LES CHIFFRES CLÉS 2021



1 850

professionnels de
la recherche (ETP)



dont **750**

doctorants et
post-doctorants



40 M€

de chiffre d'affaires pour
des contrats de recherche
partenariale avec
les entreprises

20%

du chiffre d'affaire
réalisé à l'international

RÉPARTITION CLIENTS INDUSTRIELS

29%
PME/TPE

9%
ETI

62%
Grandes
entreprises



2 000

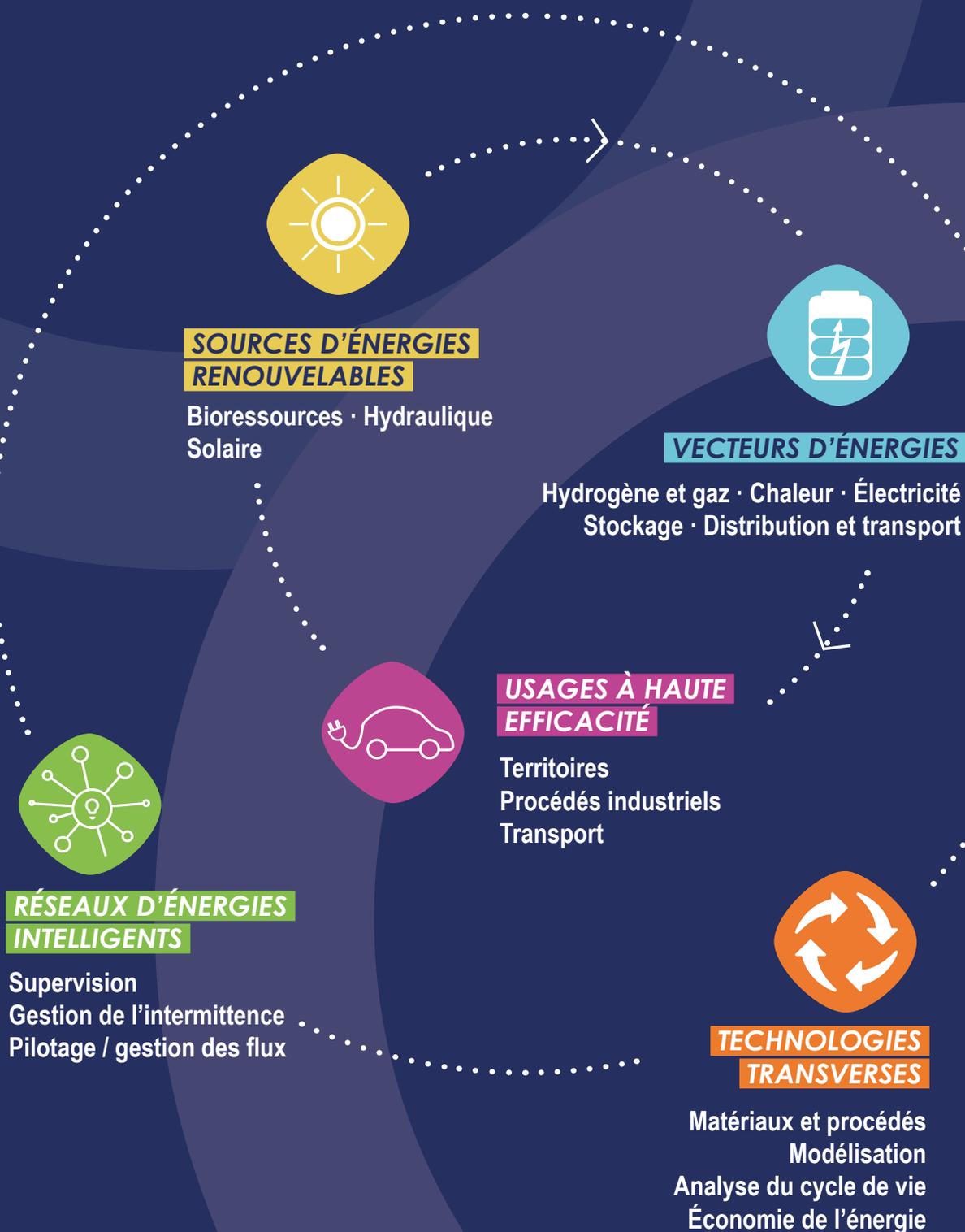
brevets prioritaires
en portefeuille

200

brevets déposés
en 2021

LES ACTIVITÉS DE RECHERCHE D'ÉNERGIES DU FUTUR

Les activités de recherche du Carnot Energies du Futur couvrent l'ensemble de la chaîne de la valeur des nouveaux systèmes énergétiques. Elles sont réparties selon cinq axes thématiques.



DEHT

DÉPARTEMENT DE L'ELECTRICITÉ ET DE L'HYDROGÈNE
POUR LES TRANSPORTS

PRODUCTION

STOCKAGE

USAGE

RÉSEAUX

TRANSVERSE

EXPERTISES

- Batteries Li-ion et post Li-ion
- Battery et Fuel Cell Management System
- Piles à combustible basse température PEMFC
- Electrolyseurs basse température PEMWE et AEMWE
- Hybridation des systèmes électrochimiques
- Conversion de puissances électriques
- Nouvelles technologies pour stockage stationnaire
- Sécurité des batteries et des systèmes hydrogène

RÉALISATIONS

Exemples :

- Batterie monolithique tout solide Li-ion
- Nouveaux catalyseurs de PEMFC
- Stack PEMFC pour des applications de puissance >100 kW
- Convertisseurs intégrés à un module pile

PARTENAIRES INDUSTRIELS

- Exemples :** ACC • Airbus • Alstom • Courb
- Envision AESC Japan • Murata Manufacturing Co • ORANO • Renault • RM Fora Marine
 - SAFT • Samsung Electronics • Solvay
 - SymbioFCCell • Thales Aerospace • Umicore

DTCH

DÉPARTEMENT THERMIQUE CONVERSION ET HYDROGÈNE

PRODUCTION

STOCKAGE

USAGE

RÉSEAUX

TRANSVERSE

EXPERTISES

- Production d'hydrogène par électrolyse haute température
- Piles à combustible haute température
- Conversion de bioressources en énergie – économie circulaire du carbone
- Simulation et pilotage de systèmes énergétiques et de réseaux thermiques
- Transferts de chaleur : boucles expérimentales et simulation
- Stockage thermique
- Assemblage (soudage-diffusion et brasage)
- Fragilisation des métaux par l'hydrogène : application au transport
- Études technico-économiques de systèmes énergétiques

RÉALISATIONS

Exemples :

- Développement de systèmes d'électrolyse haute température
- Valorisation énergétique de résidus papetiers par gazéification hydrothermale
- Étude sur des Cycles Organiques de Rankine à mélange de fluides
- Participation au démonstrateur français de production de méthane de synthèse à partir de captage de CO₂ (Jupiter 1000)
- Outil de simulation et d'aide au pilotage du réseau de chaleur pour la ville de Grenoble
- Développement d'un démonstrateur de stockage thermique 1.2 MWh pour un réseau de chaleur de la ville de Nice

PARTENAIRES INDUSTRIELS

- Exemples :** Schneider Electric • Genvia • GRDF
- GRT Gaz • Lhyfe • Naval Group • RTE
 - Safran • Schlumberger • Storengy • Sylfen
 - Technip Energies • Total

DTNM

DÉPARTEMENT DES TECHNOLOGIES DES NOUVEAUX MATÉRIAUX

PRODUCTION

STOCKAGE

USAGE

RÉSEAUX

TRANSVERSE

EXPERTISES

- Matériaux magnétiques doux (ferrites) et durs (aimants permanents NdFB & SmCo)
- Fabrication additive par voie poudre métallique, plastique et céramique
- Électronique flexible et hybride
- Recyclage des composants pour les nouvelles technologies pour l'énergie (batteries, piles à combustible, PV, aimants, ...)
- Dépôt couche mince (Cold Space Sublimation, CVD)
- Hydrogène : cellule électrochimique haute température (solid oxide) et stockage (solide & liquide)
- Nano-Sécurité
- Analyse d'impact environnemental et Eco-innovation
- Caractérisation avancée (Microscopie, Spectroscopie, Grands Instruments /ESRF...)

RÉALISATIONS

Exemples :

- Réalisation d'imageur RX à base de perovskites
- Procédé de recyclage d'électrodes de batteries
- Réalisation d'échangeurs micro-canaux par impression 3D
- Caractérisation avancée de matériaux d'électrodes de batteries et de piles à combustible
- Interfaces homme-machine innovantes et conformables
- Capteurs souples portés par la personne pour suivi des données physiologiques

PARTENAIRES INDUSTRIELS

Exemples :

- Genvia • HP • Naval Group
- MBDA • Orano Isorg • Safran • Symbiose
- Technip Energy • Trixell

DTS

DÉPARTEMENT DES TECHNOLOGIES SOLAIRES

PRODUCTION

STOCKAGE

USAGE

RÉSEAUX

TRANSVERSE

EXPERTISES

- Technologies solaires photovoltaïques haut rendement (matériaux, cellules, modules)
- Intégration du PV et gestion intelligente de l'énergie dans les bâtiments
- Systèmes électriques et réseaux énergétiques
- Mix énergétique

RÉALISATIONS

Exemples :

- Cellules tandem Si-Perovskite à haut rendement
- Panneau PV allégé HELIUP
- Volets roulants autonomes
- EMS pour le pilotage de bâtiment
- Stabilisation des réseaux par modulation de fréquence et effacement

PARTENAIRES INDUSTRIELS

Exemples : Alcen • Apollon Solar

- Bubendorff • DeltaDore • ECM • Enel
- Green Power • Garmin • Nissan Motor
- Photowatt • Recom Solar PTE • RTE
- Schneider Electric • Toyota • Vicat
- West Works Building

CONCEVOIR LE SYSTÈME ÉLECTRIQUE DE DEMAIN

POUR RÉPONDRE AU DÉFI DE LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

PRODUCTION

STOCKAGE

USAGE

RÉSEAUX

TRANSVERSE

EXPERTISES

- Etude des matériaux diélectriques et électrostatiques
- Conception et réalisation de dispositifs électromagnétiques innovants
- Elaboration et développement de convertisseurs de puissance
- Ecriture des feuilles de route nationales et européennes dans le domaine des réseaux de transport et de distribution électrique

RÉALISATIONS

Exemples :

- Optimisation de l'architecture des réseaux du futur
- Identification et modélisation de sources électromagnétiques
- Réseaux : interopérabilité des plateformes de distribution d'énergie PREDIS – PRISMES
- Convertisseur 'cluster' pour réseaux DC
- Analyse des retards dans les smart grids interopérables
- Modulation de puits d'énergie magnétique à l'échelle des MEMS pour micro-manipulation de nano-objets
- Intégration 3D de Composants Semi-conducteurs de Puissance par la Technique « Power-Chip-on-Chip » pour des Applications Véhicules Électriques et Hybrides

PARTENAIRES INDUSTRIELS

- Exemples :** Alstom • Altair • EDF • Enedis (chaire Smartgrids) • Energy Pool • Exxelia magnetic
- GreenAlp • Lancey • Naval Group • RTE • Safran
 - Schneider • Siemens • Valeo • Wattmen



GAEL – Axe énergie

Laboratoire d'Economie Appliquée de Grenoble

ANALYSE ET PROSPECTIVE ÉCONOMIQUES

LES COMPLÉMENTS ESSENTIELS DE L'INNOVATION
TECHNOLOGIQUE

PRODUCTION

STOCKAGE

USAGE

RÉSEAUX

TRANSVERSE

EXPERTISES

- Analyse économique des politiques énergétiques
- Approche néo-institutionnelle des marchés de l'énergie
- Modélisation prospective de l'organisation des industries de réseaux et de nouveaux systèmes technologiques bas carbone

RÉALISATIONS

Exemples :

- Prospective énergétique : étude des paramètres technico-économiques clés qui structurent l'évolution des mix énergétiques + construction d'un outil pédagogique
- Mise en place d'une co-simulation multi-vecteur à l'échelle quartier

PARTENAIRES INDUSTRIELS

- Exemples :** Arcelor Mittal • Air liquide • EDF
- Schneider Electric

OPTIMISER LA PRODUCTION

ET LES CHAÎNES LOGISTIQUES POUR ÉCONOMISER L'ÉNERGIE

PRODUCTION

STOCKAGE

USAGE

RÉSEAUX

TRANSVERSE

EXPERTISES

Développement de modèles, méthodes et algorithmes pour optimiser les performances

- Gérer les flux énergétiques : optimisation de la gestion de l'énergie dans l'habitat
- Gérer les flux dans la chaîne logistique et les unités de production : ordonnancement, planification et pilotage réactif des systèmes.

Écoconception et performances environnementales

- Recycler les matériaux rares : impacts et bénéfices environnementaux potentiels.
- Concevoir des produits, des process, des organisations et leur cycle de vie
- Développer des plateformes supports à l'intégration de l'environnement en conception.

RÉALISATIONS

Exemples :

- Energy smart homes : lutter contre la précarité énergétique
- Réseaux d'énergie multivecteurs :
 - Dimensionnement et pilotage des systèmes
 - Configuration optimale des réseaux AC/DC
- Conception de cycles de vie innovants pour conserver la valeur de l'électronique de puissance
- Recyclage et éco-conception de cœurs de batteries de type Li-ion

PARTENAIRES INDUSTRIELS

- Exemples :** Air Liquide • Airbus • Arconic
Fastening Systems • Artelia • Bayer Business
Services • Becton Dickinson • Engie • Hager
- Kaizen Solutions • KLS Logistic System
 - Renault • Schneider • SNCF • Socitec
 - ST Micro • Verkor

DES TURBINES

À OPTIMISER, POUR ÉCONOMISER ET PRODUIRE DE L'ÉNERGIE

PRODUCTION

STOCKAGE

USAGE

RÉSEAUX

TRANSVERSE

EXPERTISES

- Optimisation des systèmes de conversion d'énergie (hydroliennes, éoliennes)
- Analyse des interactions fluides-structures (érosion, cavitation, affouillement, impact des particules sur PV)
- Optimisation de procédés énergivores (transferts thermiques par convection; écoulement diphasique en conduite)

RÉALISATIONS

Exemples :

- Simulation d'écoulements diphasiques complexes
- Développement d'une chaîne de calcul pour évaluer à moindre coût les performances d'un parc d'hydroliennes et permettre son dimensionnement optimal
- Cavitation hydrodynamique sous champ magnétique intense
- Développement d'une turbine biaxiale
- Preuve de concept d'une hydrolienne à pas contrôlé
- Refroidissement diphasique des batteries

PARTENAIRES INDUSTRIELS

Exemples :

- Alpinov X • AKWELL • Ariane group
- EDF • General Electric • INOGS • MotrhyS
- Naval Group • Siemens • Thomsea
- ST Microelectronics • Ylec

UN STOCKAGE ÉLECTROCHIMIQUE

MOINS COÛTEUX ET PLUS SÛR

PRODUCTION

STOCKAGE

USAGE

RÉSEAUX

TRANSVERSE

EXPERTISES

- **Matériaux** – Conception et Durabilité – Membrane polymère, électrocatalyseurs, sulfures, oxydes. Caractérisations *in situ* et *operando*
- **Electrochimie** – Cinétique, durabilité, mécanismes de transport et de transfert, générateurs electrochimie, corrosion
- **Génie Electrochimie** – Modélisation multi-physique et multi-échelle, seconde vie, recyclage des métaux critiques

RÉALISATIONS

Exemples :

- Architecture d'électrodes pour PAC de type SOFC
- Matériaux d'Electrodes organiques à base de Nitroxydes pour Batteries au Lithium
- Microstructure, durabilité et modélisation de matériaux de cellules à oxydes solide
- Optimisation de l'impression de cellules PEMFC à faible chargement en platine
- Batterie monolithique tout solide Li-ion obtenue en une étape

PARTENAIRES INDUSTRIELS

Exemples :

- Aperam • Arkema • Becton
Dickinson • Blue Solutions • Gencell • Michelin
• Nawa Technologies • SAFT • Saint Gobain
• Symbio • Swatch • Verkor • Vulkam



LMGMP

Laboratoire des Matériaux et du Génie Physique

TRL
1 → 6

LES NANOMATÉRIAUX

POUR OPTIMISER LA PRODUCTION ET LE STOCKAGE D'ÉNERGIE

PRODUCTION

STOCKAGE

USAGE

RÉSEAUX

TRANSVERSE

EXPERTISES

- Optimisation de la synthèse et des propriétés des nanomatériaux fonctionnels, élaborés par couches minces, nanostructures ou réseaux de nanofils
- Synthèse chimique, croissance cristalline et combinaison de matériaux (nanolamellaires et 2D ; nanofils et nanostructures semiconducteurs ; oxydes pour dispositifs nanoioniques)
- Caractérisations in situ/ operando

RÉALISATIONS

Exemples :

- Nouvelle génération de LED blanche éco-efficiente
- Croissance localisée de nanofils de ZnO pour applications photovoltaïque et éclairage
- Elaboration, modélisation et caractérisation des matériaux base silicium en couches minces pour les cellules photovoltaïques de 2ème et 3ème génération
- Récupération d'énergie par des générateurs d'énergie qui convertissent l'énergie mécanique ambiante en électricité

PARTENAIRES INDUSTRIELS

- Exemples :** Altran Technologies • Becton Dickinson • Infracreen • LVMH • MAGIA Diagnostic • Nanolike • Pfeiffer Vacuum
- Sanofi



LOCIE

LOCIE

Laboratoire procédés énergie bâtiment

TRL

1 → 6

L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE DES BÂTIMENTS

DE LA STRUCTURE À L'ENVELOPPE, DE L'ÉDIFICE AU QUARTIER

PRODUCTION

STOCKAGE

USAGE

RÉSEAUX

TRANSVERSE

EXPERTISES

- Structure et enveloppe pour un bâti durable
- Procédés énergétiques à sorption, échangeurs de chaleur, systèmes de stockage par chaleur sensible, capteurs solaires thermiques, procédés de transformation et de conversion de l'énergie dans le bâtiment, procédés de traitement de l'air
- Optimisation des performances de bâtiment via l'interaction entre bâtiments

RÉALISATIONS

Exemples :

- Modèles numériques pour l'efficacité énergétique des bâtiments
- Stockage de l'énergie par sorption d'eau sur des composites « Sel/support carbone »
- Modélisation dynamique des bâtiments et de leurs systèmes thermiques pour leur connexion et interopérabilité avec les réseaux de chaleur

PARTENAIRES INDUSTRIELS

Exemples : Alphi • Agence Qualité Construction

- Barel et Pelletier • Cythelia Energy • EDF
- Edilians • Enercal • Engie • Genvia
- Heliocity • Léon Grosse • Naval Group

L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE

SPÉCIFICITÉ ET FLEURON DU MIX ÉNERGÉTIQUE FRANÇAIS

PRODUCTION

STOCKAGE

USAGE

RÉSEAUX

TRANSVERSE

EXPERTISES

- Développement, conception, réalisation et exploitation d'accélérateurs de particules
- Physique des réacteurs: réacteurs pilotés par accélérateurs (ADS, Accelerator Driven Systems), et réacteurs utilisant le cycle thorium
- Réacteurs à sels fondus (RSF) : générateurs nucléaires de 4^e génération, problématiques de sûreté

RÉALISATIONS

Exemples :

- Technologie des sels fondus haute température : Construction d'une boucle de sels fondus fonctionnant en circulation forcée et munie d'un système de nettoyage en continu du sel
- Couches minces fonctionnelles de nitrures métalliques pour l'optimisation énergétique des accélérateurs de particules

PARTENAIRES INDUSTRIELS

Exemples : ADS • EDF • ORANO • Orsay group
/ Orsay physics • Polygon physics • Rolls Royce

LA PHYSIQUE DES MATIÈRES CONDENSÉES

OFFRE DE MULTIPLES APPLICATIONS ÉNERGÉTIQUES

PRODUCTION

STOCKAGE

USAGE

RÉSEAUX

TRANSVERSE

EXPERTISES

Matériaux pour l'énergie :

- Hydrogène
- Aimants (moteurs, éoliennes)
- Éclairage (LED)
- Grapillage d'énergie, matériaux di-électriques
- Électronique de puissance (diamant)
- Réfrigération magnétique

RÉALISATIONS

Exemples :

- Hydrures pour stockage de l'hydrogène
- Développement d'aimants frittés anisotropes de type RFe12
- Développement d'aimants NDFEB à haute performance, sans éléments de terres rares lourdes et mises en œuvre par PIM
- Substitution du cuivre par l'argent dans les alliages kesterites $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$ pour les cellules tandem sur silicium

PARTENAIRES INDUSTRIELS

Exemples : Air Liquide • Aledia • Calneos

- Constellium • Cryoconcept • Grapheal
- Mincatec • Swatch • Toyota Motors



SIMaP

Science et Ingénierie des Matériaux et Procédés

TRL
1 → 4

DES MATÉRIAUX OPTIMISÉS ET PLUS DURABLES

POUR DES ÉCONOMIES D'ÉNERGIE

PRODUCTION

STOCKAGE

USAGE

RÉSEAUX

TRANSVERSE

EXPERTISES

- Conception de matériaux – intelligence artificielle et analyse combinatoire, comportement sur mesure, matériaux architecturés
- Génie des procédés d'élaboration – procédés hybrides, fabrication additive – CVD – ALD – PVD ; effets des champs, cristallogenèse, optimisation énergétique
- Durabilité des matériaux – écoconception, gestion des ressources, valorisation des déchets

RÉALISATIONS

Exemples :

- Frittage de matériaux à base de Si-Ge pour des applications thermoélectriques
- Tirage de monocristaux par la méthode de Czochralski en creuset froid
- Couches minces fonctionnelles de nitrures métalliques pour l'optimisation énergétique des accélérateurs de particules
- Outils de prédiction basé sur l'équilibre thermodynamique pour adapter les mélanges aux procédés

PARTENAIRES INDUSTRIELS

Exemples : Arcelor Mittal • Constellium • EDF

- Framatome • Metalor • Orano • Safran
- Saint Gobain • Schneider • ST Micro
- Ugitech • Thales AVS

CARNOT ENERGIES DU FUTUR

Grenoble INP - UGA
46 avenue Félix Viallet - 38031 Grenoble Cedex 1

+33 (0)4 7657 4531 • carnotenergiesdufutur@grenoble-inp.fr

energiesdufutur.fr

Suivez-nous sur  [Carnot Energies du Futur](#)

