



ISIFoR

RAPPORT
D'ACTIVITÉ

2022

Votre partenaire
RI&D dans
l'ingénierie durable
des géoressources





Votre partenaire RI&D
dans l'ingénierie durable
des géoressources

SOMMAIRE

- 04 - 05 L'édito du directeur
- 06 - 17 ISIFoR votre partenaire RI&D
- 18 - 27 Des projets soutenus par notre Carnot
- 28 - 39 Retour sur l'année 2022
- 40 - 43 Le réseau des Carnot
- 44 - 45 Merci



L'ÉDITO DU DIRECTEUR

Revoilà le temps de l'édito de l'IC ISIFoR. 2022, déjà un an. Une année encore particulière marquée non plus par une crise sanitaire, encore que l'épée de Damoclès du COVID ne soit jamais très loin, mais par une crise géopolitique qui vient percuter une période marquée également par l'accélération dans le changement de modèle énergétique. Fruit d'un travail collectif, notre feuille de route a su évoluer pour anticiper cette transition énergétique dont ISIFoR entend être un acteur incontournable. Le sous-sol est indissociable d'un modèle énergétique bas carbone. Il fournit, par exemple, les capacités de stockage massif indispensable à la flexibilité du réseau énergétique, il est une source de calories par la géothermie ou d'hydrogène naturel mais également de métaux dont la disponibilité redevient un enjeu national stratégique.

Notre feuille de route affiche la place centrale du sous-sol dans la transition énergétique et le lien indissociable entre la surface et le sous-sol dans le modèle énergétique de demain. Notre approche globale, interdisciplinaire, et notre couverture de la chaîne RI&D sont autant d'atouts qui nous ont permis de maintenir en 2022 notre niveau de recettes contractuelles et par là-même, de bénéficier d'un abondement supérieur à 1,3 M€ dont, rappelons-le, 75% sont ré-injectés dans les projets de recherche. Gageons que les résultats de cette recherche publique

seront un des leviers de l'innovation, du développement des entreprises et de la réindustrialisation des territoires. L'année 2022 restera aussi une année marquée par le renouvellement de l'équipe opérationnelle du Carnot. Chloé, notre dynamique responsable communication et évènementiel, s'en est allée en contrée lointaine vers une nouvelle vie. Louis a le challenge de reprendre le flambeau. Daniel nous rejoint également à la direction adjointe du Carnot pour mieux répondre à l'ensemble de nos missions. Virginie, directrice opérationnelle du Carnot ISIFoR depuis sa création a rejoint la direction des grands projets de l'UPPA. Sa modestie ne me permet pas de lui dresser une statue mais nos huit ans de binôme à la direction d'ISIFoR me permettent de la remercier chaleureusement, de la féliciter pour ce nouveau poste et de remarquer que, comme par hasard, elle retourne auprès de Gilles Pijaudier-Cabot, premier directeur de notre Carnot. Je vais vous teaser l'actualité à venir d'ISIFoR en vous annonçant qu'une nouvelle directrice opérationnelle a rejoint ISIFoR, mais comme son arrivée sera très bientôt effective, je n'en dirai pas plus. Vous la découvrirez vous-même en surfant sur le site du Carnot ou lors de la visite que l'équipe d'ISIFoR ne manquera pas de faire dans vos structures !

Merci à tous et à très bientôt !

PIERRE CÉZAC,
Directeur de l'Institut Carnot ISIFoR



ISIFoR
VOTRE
PARTENAIRE
RI&D



LE FONCTIONNEMENT DU CARNOT ISIFoR EN UN COUP D'ŒIL

(chiffres 2021)

LES ENTREPRISES / L'INDUSTRIE

01

La genèse des projets

À l'origine de chaque projet soutenu et accompagné par le Carnot ISIFoR, il y a une idée, un projet qui nécessite une R&D de pointe.

+ de 90 partenaires

47% GE

10% ETI

28% PME TPE

15% entreprises étrangères / autres

Ils travaillent dans

l'énergie
les géoressources
la géologie
la chimie/chimie verte
l'hydrogène
le biogaz

LA RECHERCHE

11 laboratoires qui travaillent dans

les géosciences – les sciences de l'ingénieur – les mathématiques – la chimie – la microbiologie – les sciences sociales

865 ETP

02

La médiation ISIFoR

Notre institut accompagne les entreprises à trouver la forme collaborative adaptée à chaque projet.



Contractualisation



Gestion de la



Modalités de pr



Abondable au CI



Autres dispositifs ?

ation

mpagne les acteurs afin de
laborative qui sera la plus
projet.

sation

confidentialité

ropriété intellectuelle

R / CICO

CIFRE

03

La matérialisation du projet

Une fois la forme du projet définie, le travail s'engage, il peut prendre différentes formes.

Quelle forme prend le travail ?

- Collaboration de recherche
- Prestation de service
- Accès aux équipements scientifiques

Les chiffres

157 contrats dont 36 CIFRE

04

La richesse des résultats

L'issue de la collaboration peut être diverse et étalée dans le temps (*en fonction du projet et de son développement*).

Les chiffres

65 brevets prioritaires
(363 au total en portefeuille)

7,8 M€ de recettes

839 publications de rang A

350 doctorants impliqués

L'équipe ISIFoR

Louis
DECAM



**Responsable
Communication et
Événementiel**

06 27 18 05 94
louis-frederic.deccam
@univ-pau.fr

Virginie
BUIL



Directrice opérationnelle

virginie.buil@univ-pau.fr

Virginie CATURLA
Directrice opérationnelle
à partir de février 2023

06 31 02 17 57
virginie.caturla@univ-pau.fr

Pierre
CÉZAC



Directeur

05 59 40 78 30
06 86 88 11 12
pierre.cezac
@univ-pau.fr

Daniel
BRITO



**Directeur
adjoint**

05 59 40 74 18
06 59 61 24 03
daniel.brito
@univ-pau.fr

Catherine
MAUPEU



**Responsable
Qualité**

catherine.maupeu
@univ-pau.fr

Peter
MOONEN



**Correspondant à
l'international**

05 59 40 73 30
peter.moonen
@univ-pau.fr

EN 2022 LE CARNOT ISIFoR A FÊTÉ SES 10 ANS



Dix années d'existence, c'est une véritable étape, étape qui témoigne de la pérennité et de la vitalité de notre Carnot. Pour fêter dignement ce moment toute l'équipe ISIFoR avait rassemblé ses laboratoires, des entreprises partenaires et enfin ses tutelles et certains Carnot.

Au programme : une matinée de présentations de nos tutelles, chercheuses et chercheurs, suivie, l'après-midi, d'une table ronde dédiée à la place du sous-sol dans la transition énergétique.

Cette rencontre a permis de réaffirmer toute la pertinence de la mission de notre Carnot : fédérer la recherche académique du grand sud-ouest et accompagner les entreprises nationales et internationales dans leurs projets de RI&D consacrés aux enjeux énergétiques et environnementaux du sous-sol.



Nos laboratoires de recherche publique

IPREM

Institut des sciences analytiques et de Physico-chimie pour l'Environnement et les Matériaux
Pau/Anglet/Mont-de-Marsan

LFCR

Laboratoire des Fluides Complexes et leurs Réservoirs -
Pau/Anglet

LaTEP

Laboratoire de Thermique, Énergétique et Procédés -
Pau/Tarbes

LMAP

Laboratoire de Mathématiques et de leurs Applications - Pau

SIAME

Laboratoire des Sciences pour l'Ingénieur Appliquées à la Mécanique et au génie Électrique - Pau/Anglet

EPOC

Environnements et Paléoenvironnements Océaniques et Continentaux - Bordeaux

GET

Géosciences Environnement Toulouse

IMFT

Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse

DMEX

Développement de Méthodologies Expérimentales - Pau

CHLOE

Computational Hydrocarbon Laboratory for Optimized Energy Efficiency - Pau

OPERA

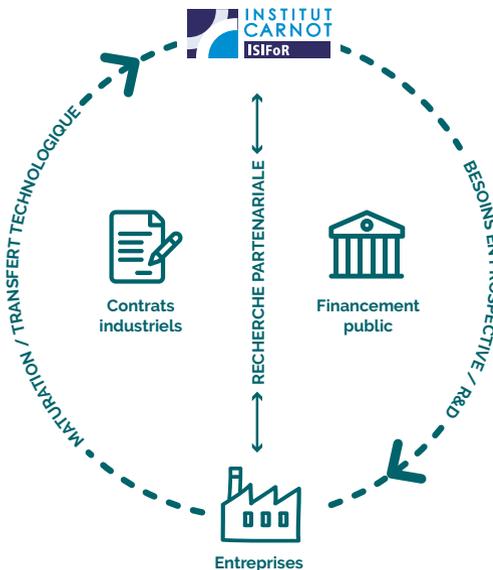
Organisme Pétrolier de Recherche Appliquée - Pau

LA RI&D AVEC ISIFoR

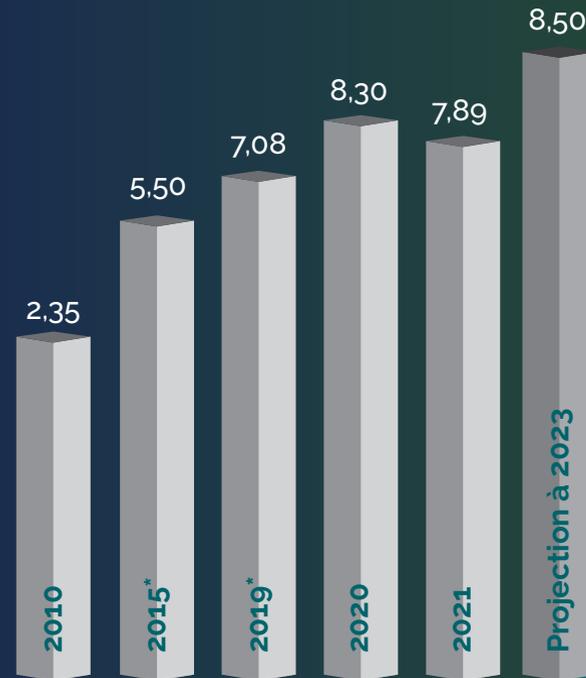
Fonctionnement et résultats

Le fonctionnement

Vous identifiez vos besoins de RI&D et l'institut Carnot ISIFoR vous accompagne dans votre projet : identification des laboratoires de recherche appropriés, montage administratif et financier, notamment via les subventions (ANR, ADEME, Europe...). ISIFoR vous guide également vers le format de collaboration le plus adapté avec ses laboratoires de recherche (collaboration de recherche, prestation de service, CIFRE, accès aux équipements scientifiques).



Recherche contractuelle public-privé du Carnot ISIFoR



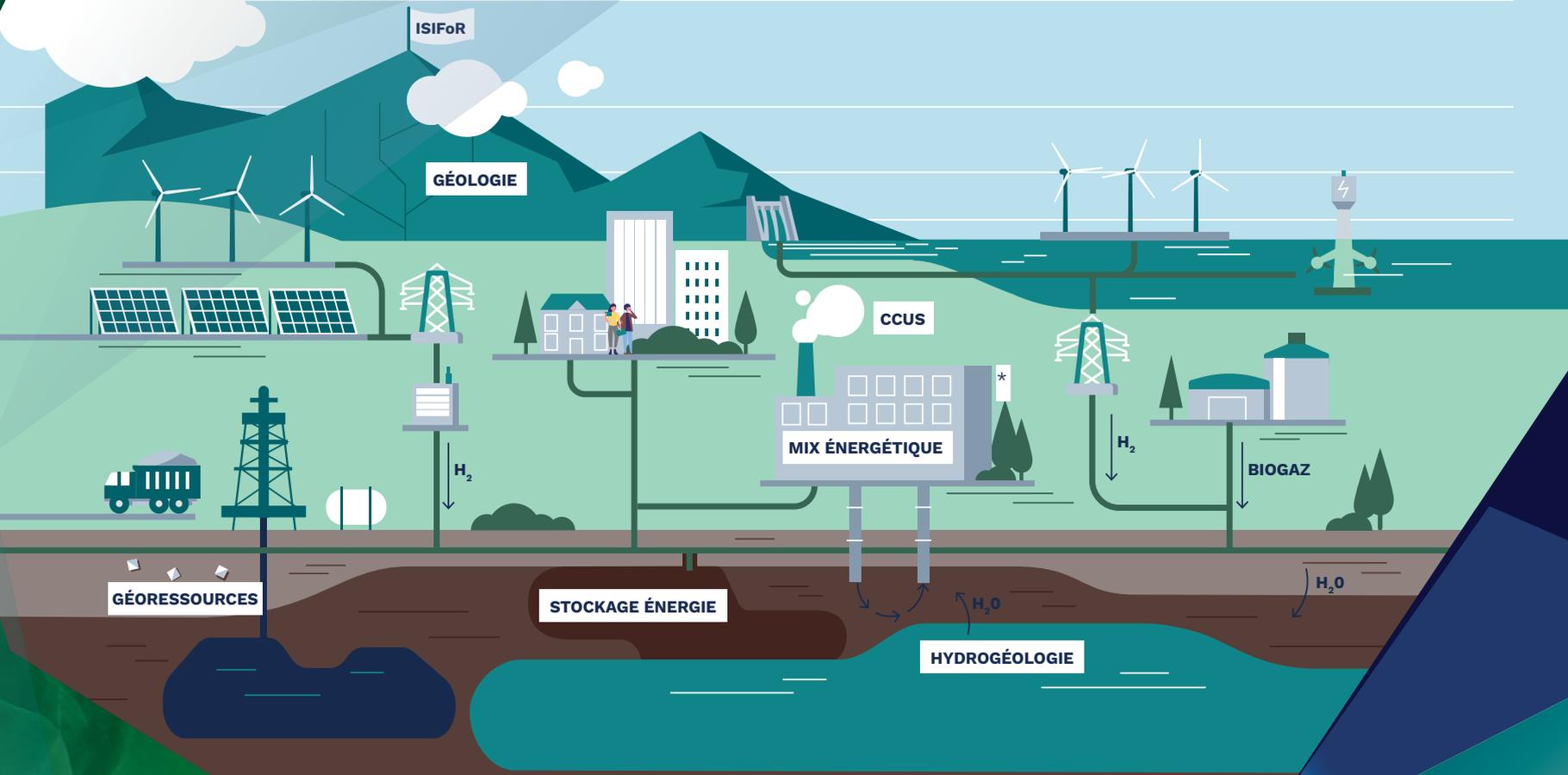
Recherche contractuelle abondante de 2010 à 2021 en millions d'euros et projection à 2023

* sur les années 2015 et 2019, changement de périmètre

NOTRE FEUILLE DE ROUTE

ALLER VERS LA DÉCARBONATION DES ÉNERGIES

La feuille de route du Carnot ISIFoR accompagne les défis énergétiques que rencontre notre société : qu'ils soient environnementaux, climatiques, énergétiques ou sociétaux. C'est pour cette raison qu'elle évolue pour être au plus près des attentes des industriels tout en restant proche des savoir-faire de nos laboratoires de recherche.



* Carbon Capture, Utilization and Storage

PROJETS RESSOURCÉS 2022

Laboratoire	Responsable du projet	Nom du projet	Montant subvention
IPREM	Brice BOUYSSIÈRE	CircuBalle - Économie Circulaire : de la Balle de riz aux Bio-huiles et Particules de silice	60 000 €
LaTEP	Salaheddine CHABAB	H2Stock-2 - Étude des propriétés thermophysiques des systèmes H ₂ + Gaz + Eau + Sels dans les conditions de stockage souterrain de l'hydrogène dans les aquifères	60 000 €
IPREM	Philippe CARBONNIÈRE	STOCHI - Stockage chimique de l'Hydrogène par utilisation du CO ₂ : rationalisation et optimisation du processus réactionnel par modélisation moléculaire	60 000 €
LFCR	Christelle MIQUEU	ESPOIR - Estimation des capacités de stockage et séparation de gaz de matériaux POREux émergents pour la décarbonation de l'IndustRIe	59 500 €
EPOC	Grégory COHEN	ARMUR - AméliORation et validation numérique d'un Modèle multiphasique pour l'Utilisation du Radon-222 comme outil de délimitation et quantification de NAPL en aquifères hétérogènes	60 000 €
LFCR	Charles AUBOURG	FAROCH2 - Fabrique des Roches d'Intérêt H ₂	16 050 €
SIAME	Yves LE GUER	BiogAlg - Biogaz de biomasses microalgales : prétraitement par champs électriques pulsés et biosolvants, caractérisation rhéologique et tests BMP	60 000 €
IMFT	Dominique LEGENDRE	Thermosm - Thermo-osmose et mouillage	60 000 €
IMFT	Pascal SWIDER	IPOM - IRM et Poromécanique en Milieux Hétérogènes	60 000 €
GET	Stefano SALVI	QuartzEXPLO - Le Quartz comme Traceur de l'Uranium et du Lithium : Application pour l'Exploration	55 000 €
SIAME	Thierry REESS	H2-PH2 - Apport des hautes puissances électriques pulsées pour la sécurisation du stockage d'hydrogène en cavité saline	60 000 €
LaTEP	Cécile HORT	BioMÉT - Procédé de Biofiltration fongique pour l'élimination du Méthane à faible concentration	60 000 €
LMAP	Brahim AMAZIANE	THMC-Gaz - Modélisation et Simulation Numérique Haute Performance des Couplages Thermo-Hydro-Mécanique-Chimique (THMC) dans le Sous-Sol : Applications au Stock	60 000 €
GET	Pascale BENEZETH-GISQUET	CO2MeT - Coupler le stockage du CO ₂ et la récupération des métaux critiques pour la transition énergétique	60 000 €
IPREM	Anthony RANCHOU-PEYRUSE	IFHygeniA - Identification de Formulations Réactionnelles Microbiologiques liées à l'Hydrogène par simulation de bassin sur un cas d'Application	60 000 €
LFCR	Nicolas BEAUDOIN	CoMiQue - Contrôle microstructural des migrations de fluides réactifs dans les roches-réservoirs : approches expérimentales et numériques	60 000 €
IPREM	Antoine BOUSQUET	NAJA-H₂ - Nanoparticules Janus pour la génération de Carburant Solaire Hydrogène	60 000 €
Total			970 550 €





**DES
PROJETS
SOUTENUS PAR
NOTRE CARNOT**



Success Stories ISIFoR

PROJET IMCOMBMS

Aux origines du projet ImCombMS

Ressourcé en 2018 le projet ImCombMS s'appuyait sur un projet plus ancien et déjà ressourcé par le Carnot ISIFoR. À l'issue de celui-ci (nommé *Dosage élémentaire in situ dans une matrice pétrolière*) nous avons déposé un brevet avec TotalEnergies et l'Université d'Oviedo, son nom : **Method for detecting and quantifying oxygen in oxidizable compounds**. Mais nous voulions aller plus loin et avancer sur le développement d'un instrument de mesure appuyé sur cette méthode. Il s'agissait ainsi de mettre au point un outil permettant de mesurer en total et en isotopie les composés majeurs sur une surface solide pour élargir les possibilités instrumentales pour la cartographie d'un échantillon. Plus précisément cet outil devait pouvoir quantifier de manière précise les composés oxygénés présents (phénols, aldéhydes,

acides organiques) dans les biocarburants afin de les éliminer. Enjeux importants de la réduction de l'empreinte carbone, les biocarburants sont intéressants dans la mesure où ils émettent moitié moins de CO₂ qu'une énergie fossile classique sur leur cycle de vie.

À la recherche d'un partenaire industriel

Pour arriver à cet objectif, nous avons la plupart des éléments en main mais restait à trouver une entreprise capable de créer l'instrument en question. Nous nous sommes donc rapprochés de l'une des références du marché en la matière, le japonais Shimadzu. Leader dans le domaine de l'instrumentation analytique (du médical à l'aéronautique) Shimadzu a montré de l'intérêt pour ce brevet et nous leur avons licencié celui-ci. Le 19 janvier 2021, un communiqué de presse commun (Shimadzu, TotalEnergies, UPPA et

Université d'Oviedo) était dévoilé, mettant en lumière l'objectif de notre collaboration. Tous les éléments étant désormais sur « *des rails* », la version beta fut étudiée dans les mois qui suivirent et bientôt les premiers prototypes sont arrivés à Oviedo et chez TotalEnergies. En 2023, l'UPPA devrait avoir le sien et l'année 2024 être marquée par la commercialisation du produit.

Le maillon d'une chaîne de recherche

Ce projet ressourcé présente, dans la forme développée que nous venons d'évoquer, un exemple très riche et sur le long cours des résultats de financements successifs du Carnot ISIFoR. Pour faire court, on peut décrire ce processus de recherche partenariale ainsi :

- **1^{er} projet ressourcé en 2014** ▶ il aboutit à un brevet (collaboration de 2 partenaires académiques ; UPPA et Université d'Oviedo avec un industriel TotalEnergies),
- **2^e projet ressourcé en 2018** ▶ conduit à la création d'un instrument de mesure appuyé sur le brevet précédent (acteurs du projet : les 4 précédents et un constructeur d'instrumentation analytique international : Shimadzu),
- **L'avenir** ▶ d'ores et déjà de nouveaux éléments (issus des précédentes étapes) émergent : collaborations extérieures en cours de construction et poursuite des projets avec le Carnot ISIFoR autour de SPELBIO qui s'intéresse aux matrices biosourcées.



L'idée d'ImCombMS de créer un instrument de mesure appuyé sur nos travaux de recherche s'est donc matérialisée, mais elle ne s'arrête pas là et va plus loin, car elle s'est ramifiée à partir d'une même idée originelle ; un bon exemple de dialogue continu et fructueux entre la recherche académique et l'industrie.

Responsable du projet :

Brice Bouyssière - brice.bouysiere@univ-pau.fr - IPREM
Projet ressourcé en 2018

Le projet GAZDANSLO s'est intéressé à la géothermie haute énergie, capable de produire une énergie thermique suffisamment élevée pour la production d'électricité, à partir d'eaux provenant du sous-sol profond.

PROJET GAZDANSLO

Cette filière se heurtait à un certain nombre de verrous technologiques et scientifiques dont la caractérisation du comportement thermochimique du fluide géothermal, système aqueux salin sous haute pression et haute température. Cette caractérisation est un des axes de recherche prioritaire du LaTÉP. Les verrous scientifiques et techniques lorsqu'on travaille avec des systèmes salés sous ces conditions de température et pression sont nombreux (système chimiquement et thermodynamiquement complexe, corrosion, problème de fuite, tenue des joints...). Le projet GAZDANSLO s'est focalisé sur le comportement Gaz Liquide du fluide géothermal avec prioritairement la détermination du point de bulle et du ratio Gaz Liquide à pression atmosphérique. Le soutien financier apporté par l'institut Carnot ISIFoR a permis, au travers de l'achat de matériel (gazomètre, pompe seringue), d'être en capacité de déterminer rigoureusement : la pression de bulle d'une eau salée synthétique ou réelle pour des systèmes jusqu'à 200°C et 500 bars, le ratio gaz liquide sous pression atmosphérique et la composition des différentes phases en équilibre. Ces travaux ont notamment donné lieu à un article (Chabbab et al., 2021) et à la participation à une conférence internationale (EGC Berlin 2022). À partir de cette montée en compétence expérimentale dans la caractérisation des systèmes électrolytiques

sous Haute Température et Pression, le LaTÉP a pu développer de nouveaux projets tels que la Chaire HYDR (Impact de l'hydrogène en stockage profond, titulaire Dr. Salaheddine Chabab) ou le projet RINGS (Stockage de nouveaux gaz, TEREKA, STORENGY, UPPA) où la caractérisation fine du comportement Gaz Liquide et la composition des différentes phases en équilibre sont primordiales.

Publications liées au projet GAZDANSLO

Chabab, S.; Cruz, J.L.; Poulain, M.; Ducouso, M.; Contamine, F.; Serin, J.P.; Cézac, P. Thermodynamic Modeling of Mutual Solubilities in Gas-Laden Brines Systems Containing CO₂, CH₄, N₂, O₂, H₂, H₂O, NaCl, CaCl₂, and KCl: Application to Degassing in Geothermal Processes. *Energies* 2021, 14, 5239. <https://doi.org/10.3390/en14175239>

Thermodynamic modelling to predict the bubble-point pressure from available information (T, GLR) from geothermal processes to prevent degassing Salaheddine Chabab, Marie Poulain, Marion Ducouso, Pierre Cézac Université de Pau et des Pays de l'Adour, E2S UPPA, LaTÉP, Pau, France, EGC Berlin, October 2022

Responsable du projet :

Marion Ducouso - marion.ducouso@univ-pau.fr - LaTÉP

Projet ressourcé en 2018



Figure 1 : équipement expérimental : gazomètre



Figure 2 : équipement expérimental : seringue reliée au pilote

HYDROGÈNE ET SOUS-SOL DANS LE CADRE D'ISIFoR : STOCKAGE MASSIF ET EXPLORATION D'HYDROGÈNE NATIF

Un environnement devenu particulièrement dynamique

L'activité qui se développe autour de l'Hydrogène et le sous-sol depuis environ une petite vingtaine d'années, et tout particulièrement depuis un peu plus de 5 ans dans le sud-ouest de la France, est liée à la croissance des investissements intellectuels, financiers et technologiques de la France pour la transition énergétique et pour le développement des énergies nouvelles afin de remplacer progressivement les énergies fossiles et d'améliorer l'état environnemental de notre planète. Dans ce cadre, l'hydrogène est une priorité essentielle pour la Commission Européenne, qui prévoit d'investir près de 500 milliards d'euros dans ce secteur. L'Hydrogène du sous-sol fait partie de ces priorités même si, à l'échelle française, dans le cadre de *la stratégie nationale pour le développement de l'Hydrogène décarboné*, l'apport du sous-sol dans cette transition est relativement peu considéré. En effet, au cours des deux dernières décennies, le monde des géosciences et de l'énergie s'est penché sur l'existence possible d'Hydrogène natif dans le sous-sol. Des recherches récentes ont identifié des émanations d'Hydrogène natif à la surface des continents.

Ainsi, même s'il est encore difficile d'estimer les possibles, il existe potentiellement une nouvelle source naturelle d'énergie bas carbone associée à ces « *gisements* » *souterrains d'Hydrogène*. Un autre sujet pour lequel il est important de bien connaître les propriétés de l'Hydrogène dans le sous-sol est le *stockage souterrain d'hydrogène dans des structures géologiques* (cavités salines, aquifères profonds, réservoirs déplétés). Le stockage souterrain d'Hydrogène, dont celui produit via l'excédent d'énergie électrique produit par des ressources renouvelables, a pour objectif de permettre de maintenir un niveau constant de l'approvisionnement de la ressource.

Ces activités se sont progressivement structurées à la fois **du côté académique** (environ une trentaine d'unités de recherche sont impliquées sur ces sujets en France), **des EPICs** (BRGM, IFPEN, INERIS...) et **du côté Industriel** suivant (Storengy, Teréga, Geostock, CVA, Air liquide, Engie, TotalEnergies...), très souvent au travers de collaborations entre académiques et EPIC ou industriels (chaire ANR industrielle Orhyon, projet HyPSTER, projet RINGS...) et via des structures communes (programme Earth2, Groupement de Recherches HydroGeMM...). Un nombre non négligeable de ces actions sont réalisées dans le périmètre de l'Institut Carnot ISIFoR.



Mesures (Ugo Geymond) et échantillonnage (Gabriel Pasquet) d'hydrogène présent naturellement dans les sols en Namibie - © Isabelle Moretti

En 2022 - La constitution d'un GdR : HydroGemm

Depuis le premier Janvier 2023, s'est mis en place un GdR (Groupement de Recherche), sous l'égide du CNRS (INSU, INSIS et INSMI), **autour de l'Hydrogène du sous-sol** : étude de la Genèse à la modélisation mathématique (HydroGEMM). Il regroupe une trentaine de laboratoires académiques, des EPICs et des industriels. Son objectif principal est de mieux structurer et de faire interagir la communauté française autour de l'hydrogène et le sous-sol. **ISIFoR** y est particulièrement bien représenté. Ainsi, l'équipe de direction est composée de membres qui sont tous dans le périmètre de l'Institut Carnot (A. Cerepi, **EPOC**, B.

Amaziane, **LMAP** et G. Galliero, **LFCR**), et la quasi-totalité des laboratoires d'ISIFoR fait partie de ce GdR (**IPREM, LFCR, LaTEP, GET, IMFT, EPOC**). Sachant que l'Hydrogène naturel est entré comme ressource dans le droit du sous-sol français début 2022, la région Nouvelle-Aquitaine a décidé de savoir si elle avait des ressources et un consortium, dont fait partie l'UPPA (les autres membres étant CVA, 48-5, Engie et le BRGM), est en train de l'évaluer. Les géosciences sont en première ligne mais aussi les SHS qui étudieront l'accueil que les citoyens réserveront à cette nouvelle ressource.

Le Programme et Équipement Prioritaire de Recherche Hydrogène décarboné

Le *PEPR Hydrogène décarboné* est un Programme et Équipement Prioritaire de Recherche validé en 2021 qui bénéficie d'un investissement de 80 millions d'Euros et qui est piloté par le CEA et le CNRS.

En revanche le *PEPR "Sous-sol, bien commun"* validé en 2022 et bénéficiant d'un investissement d'environ 70 millions d'Euros (porté le CNRS et le BRGM) devrait débuter et intégrera des sujets autour de l'hydrogène et le sous-sol. L'UPPA y est très impliqué notamment au travers du « *chantier Aquitain* » co-porté par un membre du LFCR (J.P. Callot).

L'implication d'ISIFoR dans le domaine de l'hydrogène et du sous-sol

Depuis plusieurs années, ISIFoR a participé à la constitution d'une recherche active dans le domaine de l'hydrogène, via les nombreux projets ressourcés de ses laboratoires labellisés.

On trouvera pour mémoire :

En 2019

- **H2R** – Hydrogène natif en contexte de Rift – (LFCR, IPREM)*
- **H2C** – Hydrogène natif et carbonatation – (LFCR, IPREM)

En 2020

- **PyH-Mag** - Processus de serpentinsation dans les Pyrénées révélés par la magnétite : un lien vers l'hydrogène naturel ? - (GET, LFCR)

En 2021

- **H2STOCK** -Étude thermodynamique des systèmes H2+Gaz+Eau+Sels pour les applications de stockage souterrain de l'hydrogène en milieux poreux - (LaTEP, LFCR)
- **IMAGHYN** - Couplage IMAGerie Géophysique passive et suivi in situ des émanations d'Hydrogène Natif dans les Pyrénées - (GET, LFCR)
- **OPHTYS** - Optimisation de matériaux hybrides pour le stockage d'hydrogène – (LFCR)

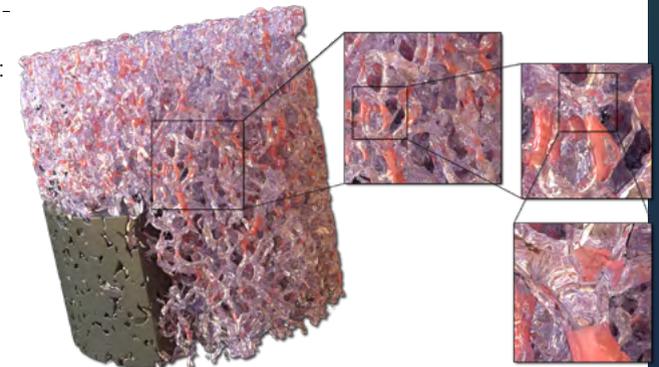
En 2022

- **H2STOCK2** - Étude des propriétés thermophysiques des systèmes H2+Gaz+Eau+Sels dans les conditions de stockage souterrain de l'hydrogène dans les aquifères - (LaTEP, LFCR, IFPEN), projet Inter-Carnot
- **THMC-Gaz** - Modélisation et Simulation Numérique Haute Performance des Couplages Thermo-Hydro-Mécanique-Chimique (THMC) dans le Sous-Sol : Applications au Stock - (LMAP, GET, LFCR)
- **FAROCH2** - Fabrication des Roches d'Intérêt H2 - (LFCR, DMEX, GET)

Texte Guillaume Galliero -
révisions Salahedine Chabab,
Isabelle Moretti - Multi
laboratoires

*Le projet H2R s'est déroulé sur 4 ans et il a permis l'accompagnement de la thèse de G. Pasquet sur l'hydrogène dans le triangle des Afars (sud mer rouge/Djibouti/Ethiopie), la partie Djibouti a été faite en collaboration avec l'office Djiboutien de la Géothermie et a permis d'étudier les coproductions géothermie/hydrogène.

Note : le congrès annuel HYNAT a permis de regrouper au niveau mondial toute la filière et le premier opus s'est tenu en 2021. I. Moretti en dirige le comité scientifique et ISIFoR s'est impliquée pour permettre à tous les étudiants de l'UPPA de suivre cet événement.



L. Hume, P. Poncet, A velocity-vorticity method for highly viscous 3D flows with application to digital rock physics, *J. Comput. Phys.* 425, pp.2021) 109910.

OPHYS : Optimisation de matériaux hybrides pour le stockage d'Hydrogène

Dans le contexte des ressources d'énergie renouvelables, l'hydrogène apparaît comme un vecteur énergétique potentiel, en convertissant l'électricité en hydrogène et sa restitution à la demande au moyen d'une pile à combustible ou d'une turbine à gaz par exemple. La problématique du stockage d'énergie sous forme d'hydrogène est un facteur clé de ce contexte.

Le projet OPHYS porte sur l'étude de matériaux hybrides innovants pour le stockage de l'hydrogène (H_2). Ces matériaux hybrides sont composés de matériaux solides stockant l' H_2 par changement de phase (cristaux organiques ou hydrures métalliques) confinés dans une matrice poreuse. Le confinement de ces matériaux permet de faciliter le changement de phase dans des conditions environnementales acceptables.

1. Cristaux Organiques imprégnés dans des matrices poreuses

Dans cette partie, une nouvelle technique d'imprégnation des cristaux organiques

dans des milieux poreux a été développée et brevetée (n° 22 04851). Lors de leur sublimation, ces cristaux organiques s'adsorbent dans les matériaux poreux, puis condensent dans les pores. Cette nouvelle technique d'imprégnation par voie sèche a été prouvée pour l'imprégnation de différents cristaux organiques (hydroquinone (HQ), urée, résorcinol) dans des matériaux poreux à base de carbone ou de silice et dans un polymère poreux. Les taux massiques d'imprégnation peuvent atteindre jusqu'à 35% en masse des matériaux hybrides.

Les matériaux composites ainsi obtenus ont été testés pour la capture de l'hydrogène. Les capacités de stockage de ces matériaux ont été mesurées en fonction de cycles de température (0°C-100°C). Un exemple est donné dans la figure 1 dans le cas d'un matériau hybride composé du polymère poreux et de l'HQ à 18%*m*. Les quantités d'hydrogène captées *y* sont représentées en fonction des cycles de températures. La capacité de stockage augmente à 0°C

avec le nombre de cycles. De plus, la totalité des molécules d' H_2 est relarguée lorsque la température est à 100°C. Les capacités de stockages atteignent jusqu'à 1,4 wt%, soit $7 \frac{g_{H_2}}{g_{HQ}}$. Dans les conditions ambiantes (25°C, 1 bar), la capacité d' H_2 est 0,8 wt%, soit $4 \frac{g_{H_2}}{g_{HQ}}$. Afin d'améliorer les performances des matériaux hybrides en termes de capacité de stockage d' H_2 , il est nécessaire d'apporter une meilleure compréhension sur le comportement des cristaux organiques confinés à l'échelle du pore.

2. Hydrures métalliques imprégnés dans des matrices poreuses

La seconde partie de ce projet est consacrée à l'étude des hydrures métalliques confinés dans une matrice poreuse. Dans un premier temps, un travail sur les effets de capture/relargage de l' H_2 sur les propriétés mécaniques a été réalisé car la modification de ces dernières est la principale cause de la chute des capacités de stockage d'un hydrure métallique. Pour cela,

des déformations induites par capture d' H_2 ont été mesurées sur un cylindre de palladium. Ces déformations surfaciques sont estimées à l'aide de la technique de corrélation d'images numériques (figure 2.a). Lors de la capture de l' H_2 , un changement de phase de la structure de l'hydrure se produit : phase α , phase $\alpha+\beta$ et phase β . Les déformations dues au changement de phase de l'hydrure sont représentées dans la figure 2.b. après 50 cycles de capture/relargage de l' H_2 , les déformations de la phase β sont plus importantes qu'avant ces cycles. La capture d' H_2 peut donc impacter les propriétés mécaniques du palladium même s'il a été observé en parallèle que les quantités d' H_2 stockées n'ont pas été modifiées après 50 cycles de capture/relargage.

Dans un second temps, des imprégnations de particules de palladium ont été réalisées dans une matrice nanoporeuse carbonée. Le pourcentage massique des particules de palladium imprégnées a pu atteindre 40%. Les premières caractérisations des matériaux hybrides sont actuellement en cours. La prochaine étape consistera à étudier l'effet du confinement des particules sur les capacités de capture de l' H_2 et les déformations induites par le changement de phase des particules confinées.

Responsables du projet :

Laurent Perrier - laurent.perrier@univ-pau.fr -
Christelle Miqueu - christelle.miqueu@univ-pau.fr -
post-doctorant Rafik Mallek - rafik.mallek@univ-pau.fr - LFCR
Projet ressourcé en 2021

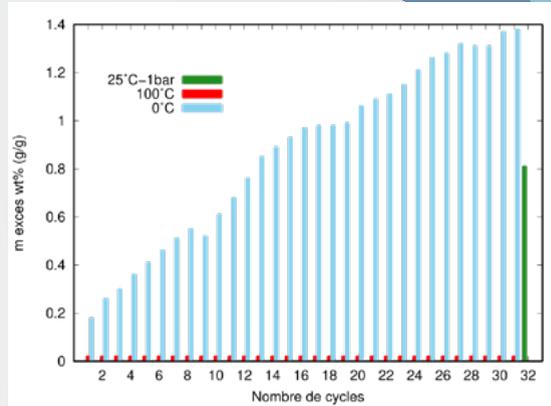


Figure 1. Évolution de la capture d' H_2 du matériau hybride polymère poreux/hydroquinone en fonction des cycles de température

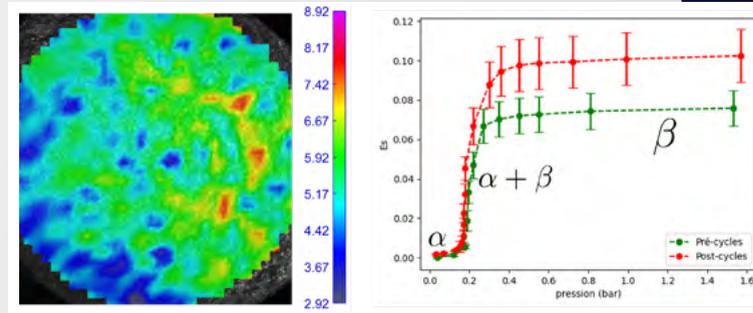


Figure 2. a. Déformation de la surface du palladium obtenue par corrélation d'images numériques. b. Courbe des déformations surfaciques en fonction de la pression d'hydrogène pour 3 zones de calculs.



**RETOUR
SUR L'ANNÉE
2022**



L'ANNÉE 2022 DU CARNOT ISIFoR

 	
Préambule :	
1. Contexte du séminaire : renforcer les synergies entre les deux instituts Carnot (ISIFoR et IFPEN RE) et développer des projets « brise-Carnot ». 2. Objectifs du séminaire : échanger des informations sur les 5 thèmes déterminés, partager les expertises et des résultats de travaux de recherches récents, approfondir quelques questionnements/besoins, identifier des opportunités de collaboration. 3. Pour chaque présentation (Italique) créer entre 5/6 slides maximum (bien calibrer l'information affichée et adapter le contenu aux objectifs et à la durée) → Cibler sur 2 axes de présentation pour laisser la place à une ou deux questions. 4. Les participants peuvent assister aux sessions techniques de 9h à 16h, et ce en fonction de leurs intérêts techniques/scientifiques et de leurs disponibilités.	
Agenda	
9h00 à 9h15 :	Introduction
9h15 à 10h30 :	Transparence et état en milieu creux en vue d'applications HD natif et stockage, stockage de CO ₂ , production géothermique
Carnot IFPEN RE : A. Colantoni (10 min), A. Pujol (10 min), M.C. Cloze (10 min), I. Falla, E. Beney, V. E. Inault, A. Establier, H. Esau, J. Rogez	
Carnot ISIFoR : Fabrice Cracul (10 min), Noémie Derly (10 min), Anne Battan, Guillaume Gallier, Guilhem Moreau, Peter Monaco, Henri Battier, Nicolas Beaudoin	
10h30 à 11h00 :	Pause
11h00 à 11h30 :	Microbiologie, réactivité des micro-organismes dans le sous-sol avec applications géothermie et stockage de gaz (H ₂ , gaz naturel, biogaz) en sous-sol (équipes/changes dédiés)



INAUGURATION DE LA CHAIRE ANR INDUSTRIELLE « ORHYON » À L'UPPA

25 janvier // Pau

Lancement de la chaire ORHYON portée par Anthony Ranchou-Peyruse, co-financée par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR) et Engie, en collaboration avec IFP Énergies Nouvelles et soutenue par le Carnot ISIFoR. Projet de géoscience, ORHYON vise à mieux comprendre le comportement de l'hydrogène dans le sous-sol.

SÉMINAIRE DES CARNOT IFPEN RE ET ISIFoR

02 février // distanciel

Séminaire entre deux Carnot intéressés par des thématiques proches. De nombreux chercheurs ISIFoR et IFPEN RE ont participé et animé cette rencontre avec enthousiasme.



KICK-OFF DU RÉSEAU EUROPÉEN EXCITE

17-18 janvier // distanciel

Lancement du réseau Excite qui réunit 15 instituts spécialisés en imagerie électronique et à rayons X dont notre laboratoire DMEX.

Février ♦02

♦03

♦11

OCCITANIE INNOV

03 février // distanciel

Les rencontres de l'innovation en Occitanie



CLUB INNOVATION ENVIRONNEMENT « VALORISATION & MÉDIATION DES RÉSIDUS MINERS »

11 février // Limoges

Journée co-organisée par le pôle AVENIA et ISIFoR avec visite du site d'ORANO

Janvier ♦17-18

♦25



CAFÉ ET RÉALITÉ VIRTUELLE

12 avril // Pau

En partenariat avec la technopole HélioParc qui accueille les locaux du Carnot ISIFoR, un petit-déjeuner a permis à nos invités de tester une expérience de réalité virtuelle 3D qui les a immergés au cœur de l'offre RI&D de notre Carnot.



SPECTRATOM

10-13 mai // Pau

Quatre journées de conférences, dont l'institut Carnot ISIFoR était sponsor, qui ont rassemblé 312 participants autour de la spectrométrie atomique et ses applications (environnement, géosciences, agroalimentaire, archéométrie, nucléaire, biomédical). Ce congrès était destiné aux chercheurs, responsables de laboratoires industriels et académiques, ingénieurs, techniciens et étudiants.

Mars ♦17

Avril ♦12

Mai ♦05

♦10-13



CORDÉES DE LA RÉUSSITE

5 mai // Pau

L'institut Carnot a participé aux Cordées de la réussite « Change le Monde » qui sont portées par la Vice-présidente déléguée à l'Orientation et à l'Insertion Professionnelle et le Service d'Orientation et d'Insertion Professionnelle de l'UPPA. Dans ce contexte, l'institut a présenté à une classe de collégiens de Lembeye (64) ses activités et l'expérience de réalité virtuelle qu'il a développée. Ce dispositif vise à donner aux élèves l'envie de poursuivre des études supérieures et de s'ouvrir à des domaines d'excellence qui viendront alimenter leurs futurs projets professionnels.

10 ANS D'ISIFoR

17 mars // Pau

Pour fêter ses 10 années d'existence, le Carnot ISIFoR a rassemblé ses partenaires (recherche, industrie, autres instituts Carnot) afin d'évoquer le présent et l'avenir de ses activités.





PETIT-DÉJEUNER RÉALITÉ VIRTUELLE AVEC LES CHERCHEURS ISIFoR

11 mai // Pau

Rendez-vous matinal avec des chercheurs pour tester l'expérience de réalité virtuelle 3D, créée par le Carnot ISIFoR, afin de présenter notre offre RI&D.



SALON INNOVATIVES SHS

18-19 mai // Paris

Notre expérience de réalité virtuelle se trouvait présentée lors du Salon de la valorisation en Sciences Humaines et Sociales par notre laboratoire partenaire TREE.



JOURNÉE TECHNIQUE : VALORISATION DU CO₂ EN NOUVELLE AQUITAINE

31 mai // Pau

Participation d'ISIFoR à l'organisation d'une journée afin de faire un état des lieux et échanger sur la valorisation du CO₂ en Nouvelle-Aquitaine.

Mai ♦ 11

♦ 17-20

♦ 18-19

♦ 23-24

♦ 31



SALON GLOBAL INDUSTRIE

17-20 mai // Villepinte

Trois journées de présence sur le salon Global Industrie à Paris (Villepinte) pour présenter notre Carnot via notre expérience de réalité virtuelle.



RDV DES RÉGIONS GRAND EST

23-24 mai // Nancy

Le pôle Avenia, les Carnot Icéel, ISIFoR et IMT Grand Est réunis pour aborder les thèmes relatifs aux usages du sous-sol dans le Grand-Est.





PETIT-DÉJEUNER ADHÉRENTS DU PÔLE AVENIA

02 juin // Pau

Animation matinale avec l'expérience réalité virtuelle du Carnot ISIFoR pour les adhérents du pôle AVENIA.

H-NAT SUMMIT

21-22 juin // distanciel

H-Nat est depuis 2 ans La Conférence mondiale annuelle autour des questions d'hydrogène naturel et de son stockage. Isabelle Moretti (chercheur de notre laboratoire LFCR) en est le commissaire scientifique et elle est intervenue au sujet de l'hydrogène natif en Namibie.



DÉPART DE CHLOÉ AUFFREDOU

30 juin // Pau

Dernier jour de notre chère Chloé après 6 années passées au sein du Carnot ISIFoR. Merci à elle pour tout le travail accompli et bonne route pour ses nouvelles aventures !

Juin ♦02

♦14-15

♦21-22

♦30



GÉODAYS

14-15 juin // Pau

Salon international rassemblant les acteurs des industries du sous-sol dont notre Carnot est partenaire (avec l'intervention de chercheurs de nos laboratoires).



CONGRÈS RETIS

30 juin // Pau

Participation au congrès RETIS (réseau d'accompagnement de l'innovation).



JOURNÉE RECHERCHE PARTENARIALE ET TRANSFERT DE CONNAISSANCES DU LABORATOIRE TREE (TRANSITIONS ÉNERGÉTIQUES ET ENVIRONNEMENTALES)

1^{er} juillet // Pau

Journée au cours de laquelle Virginie Buil, a pu présenter ISIFoR et échanger avec les membres du laboratoire TREE.



JOURNÉE SFGP « LA THERMODYNAMIQUE DU SOUS-SOL »

12 juillet // Pau

Journée nationale co-organisée par notre Carnot et la SFGP (Société française de génie des procédés) impliquant une soixantaine de chercheurs ainsi que des partenaires industriels.



JACA 2020

7-9 septembre // Jaca

Seizième édition de la conférence internationale de mathématiques Pau-Saragosse, avec une thématique spécifique autour des écoulements en milieu poreux ; ISIFoR était sponsor de cette rencontre.

Juillet

◆01

◆04

◆12



JOURNÉE SCIENTIFIQUE JSPYRENE 2022

04 juillet // Pau

ISIFoR a soutenu cette 4^e édition du colloque regroupant la communauté scientifique de l'UPPA autour de l'utilisation de clusters et des moyens de calculs mis à sa disposition.



CAP'CARNOT

12 juillet // Paris

Évènement Carnot autour de la Transition énergétique de l'industrie, ISIFoR était là avec son expérience de réalité virtuelle pour aborder ce thème.

SEPTEMBRE

◆01

◆07-09



ARRIVÉE DU NOUVEAU RESPONSABLE COMMUNICATION & ÉVÉNEMENTS DE NOTRE CARNOT

1^{er} septembre // Pau

Arrivée de Louis Decam au poste de Chargé de communication & événements.



15^e RDV CARNOT

12-13 octobre // Paris

L'occasion pour toute l'équipe du Carnot ISIFoR de démontrer ses activités et ses champs d'action aux partenaires actuels et à venir.



VISITE DE NOS LABORATOIRES PARTENAIRES : IMFT ET GET

14-15 novembre // Toulouse

Deux journées pour échanger sur notre relation partenariale et préparer le futur.



ÉCOTECH ÉNERGIE

06 décembre // Paris

Les instituts Carnot rassemblés autour des Énergies à Faible Impact Carbone participent et promeuvent la 5^e Rencontre Ecotech autour des nouveaux systèmes énergétiques.

Octobre ◆12-13

COLLOQUE H2

9-10 novembre // Bordeaux – St Émilien

Colloque

Novembre ◆9-10

◆10

◆14-15

Décembre ◆06

◆07

DÉJEUNER DES RESPONSABLES DE PROJETS RESSOURCÉS

07 décembre // Pau



JOURNÉE PARTENARIAT INNOVATION AU SIAME

10 novembre // Anglet

Notre directrice opérationnelle participait à la journée sur la valorisation des résultats de la recherche, organisée par le SIAME.

VIE DE NOS TUTELLES ET DE NOS PARTENAIRES EN 2022



Avril

Les universités de Bordeaux et l'UPPA (tutelles ISIFoR) sont labellisées

« Science avec et pour la société »

13 avril

Un label qui récompense les initiatives favorisant le dialogue entre sciences, recherche et société au cœur des territoires.



Notre tutelle, Université Toulouse III – Paul Sabatier, est relabellisée « Développement durable et responsabilité sociétale »

1^{er} juillet

Un label valorisant l'engagement des établissements d'enseignement supérieur et de recherche en matière de développement durable et de responsabilité sociétale.

Juillet

Juin



Anniversaire des 35 ans d'Hélioparc

29 juin // Pau

Anniversaire de la technopole qui accueille l'équipe opérationnelle de notre Carnot et certains laboratoires.



Juillet

► Pérennisation du label d'excellence I-SITE E2S

« Initiative ScienceS, Innovation, TerritoireS, Économie » « solutions pour l'énergie et l'environnement »
de notre tutelle UPPA

06 juillet // Pau

Label d'excellence récompensant la valorisation d'atouts scientifiques thématiques concentrés, distinctifs, reconnus sur le plan international.



Nuit européenne de la science à l'UPPA

30 septembre

Première participation de l'UPPA à cette nuit qui vise à faire connaître la recherche et les chercheurs.

Septembre



Octobre

► OCTOBRE ROSE

28 octobre

Peter Moonen et Stéphane Faucher du laboratoire DMEX sont intervenus sur le stand de la Ligue contre le Cancer lors des animations d'octobre rose (afin d'expliquer ce que sont les rayons X et en quoi ils interviennent lors des tests de dépistage du cancer du sein).



Soirée partenaires UPPA

12 juillet // Anglet

Une soirée pour remercier les partenaires avec qui l'UPPA travaille étroitement en recherche, innovation et en formation.

LA VIE DU RÉSEAU CARNOT EN 2022



" Fort de ses 39 structures de recherche et de 35 000 professionnels implantés partout en France, le réseau des Carnot est le leader de la recherche public-privé."

Philippe Véron
Président de l'Association des instituts Carnot



Séminaire de notre réseau de Carnot fédéré autour des Énergies à Faible Impact Carbone

28-29 mars // la Grande Motte

Réunion de notre réseau (groupement d'instituts Carnot travaillant sur des thématiques proches) afin d'anticiper les besoins et les attentes des industriels. Le Carnot ISIFoR était présent avec les chercheurs de plusieurs laboratoires partenaires (SIAME, LaTEP, LFCR).

Réunion inter-Alliances

21 mars

Mars



Séminaire communication

21-22 mars // Paris

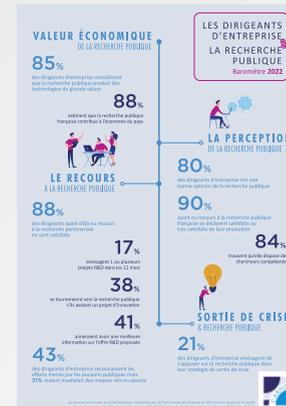
Formation communication interne

Avril



21 avril

Webinaire mettant en avant les forces de recherche que promeut le CNRS INSU, avec le réseau des Carnot, en direction de l'industrie et des services. Pascale Bénézeth (directrice de recherche au CNRS et directrice adjointe du GET : laboratoire du Carnot ISIFoR) a participé à cette présentation avec les chercheurs de plusieurs laboratoires ISIFoR (SIAME, LaTEP, LFCR).



Résultats du Baromètre Carnot

09 juin

Résultats du 3^e Baromètre Carnot sur la relation entre recherche publique et entreprises privées.

Juin

Webinaire « Les Instituts Carnot : un réseau d'excellence pour le développement de l'innovation dans l'industrie et les services » organisé par l'INSU (CNRS)



Séminaire Carnot

22-23 juin // Lyon

Notre directrice opérationnelle, Virginie Buil, a participé à ce rendez-vous qui abordait la stratégie et les actualités des instituts Carnot.

Séminaire communication

27-28 juin

Formation SEO (Search Engine Optimization)

Réunion communication Paris

22 novembre

Rendez-vous des communicant.e.s du Réseau des Carnot.



Inter-alliances

13 décembre // Paris

Rendez-vous pour parler des réseaux de Carnot.

Juin

Octobre

Novembre

Décembre



Nomination du nouveau DG de l'AI Carnot

21 juin

Jean-Denis Muller est nommé directeur général de l'Association des Instituts Carnot

Prolongation par le Ministère de l'Éducation et de la Recherche de la certification des 39 instituts Carnot jusqu'à fin 2024.

Séminaire stratégique des directeurs Carnot

08 décembre // Paris





LE RÉSEAU DES CARNOT



LE RÉSEAU DES CARNOT

QU'EST-CE QU'UN INSTITUT CARNOT ?

Un institut Carnot est une structure de recherche publique labellisée par le Ministère de la Recherche à l'issue d'appels à candidatures très sélectifs. Chaque institut Carnot prend des engagements forts pour développer son activité de RI&D en faveur de l'innovation des entreprises : PME, ETI et grandes entreprises. Il reçoit, en retour, un soutien financier calculé en fonction de son volume d'activité partenariale, pour le soutenir dans la réalisation des actions nécessaires à la tenue de ses engagements. Chaque Carnot présente une « spécialisation » (énergies, aéronautique, automobile, sport, santé...) qui lui permet de répondre aux besoins d'innovation d'entreprises situées au sein d'environnements concurrentiels, aux évolutions rapides.



POURQUOI UN RÉSEAU DES INSTITUTS CARNOT ?

Il existe aujourd'hui 39 instituts Carnot, présents partout en France, ils couvrent un champ de recherches particulièrement étendu. Ils ont d'ores et déjà dépassé les objectifs qui leur avaient été assignés lors de leur création et ceci avec de remarquables résultats (voir les infographies ci-après).

Ces Carnot sont liés les uns aux autres via une Association des Instituts. Celle-ci en assure la visibilité avec de nombreux événements (Rendez-vous Carnot, deeptech...), et en anime le réseau pour développer toutes ses complémentarités au service du monde industriel.

« Le réseau des Carnot constitue un formidable outil au service de l'innovation des entreprises, comme j'ai pu personnellement l'expérimenter depuis 15 ans tant au sein d'instituts Carnot que comme client, du côté des entreprises et des entrepreneurs collaborant avec le réseau. »



Jean-Denis MULLER,
Directeur général de l'AiCarnot

LES INDICATEURS-CLEFS DU RÉSEAU DES CARNOT

Un accélérateur de recherche partenariale

Source AI Carnot - chiffres 2021

39 Carnot
implantés dans toutes
les régions françaises

20%
des effectifs de la
recherche publique

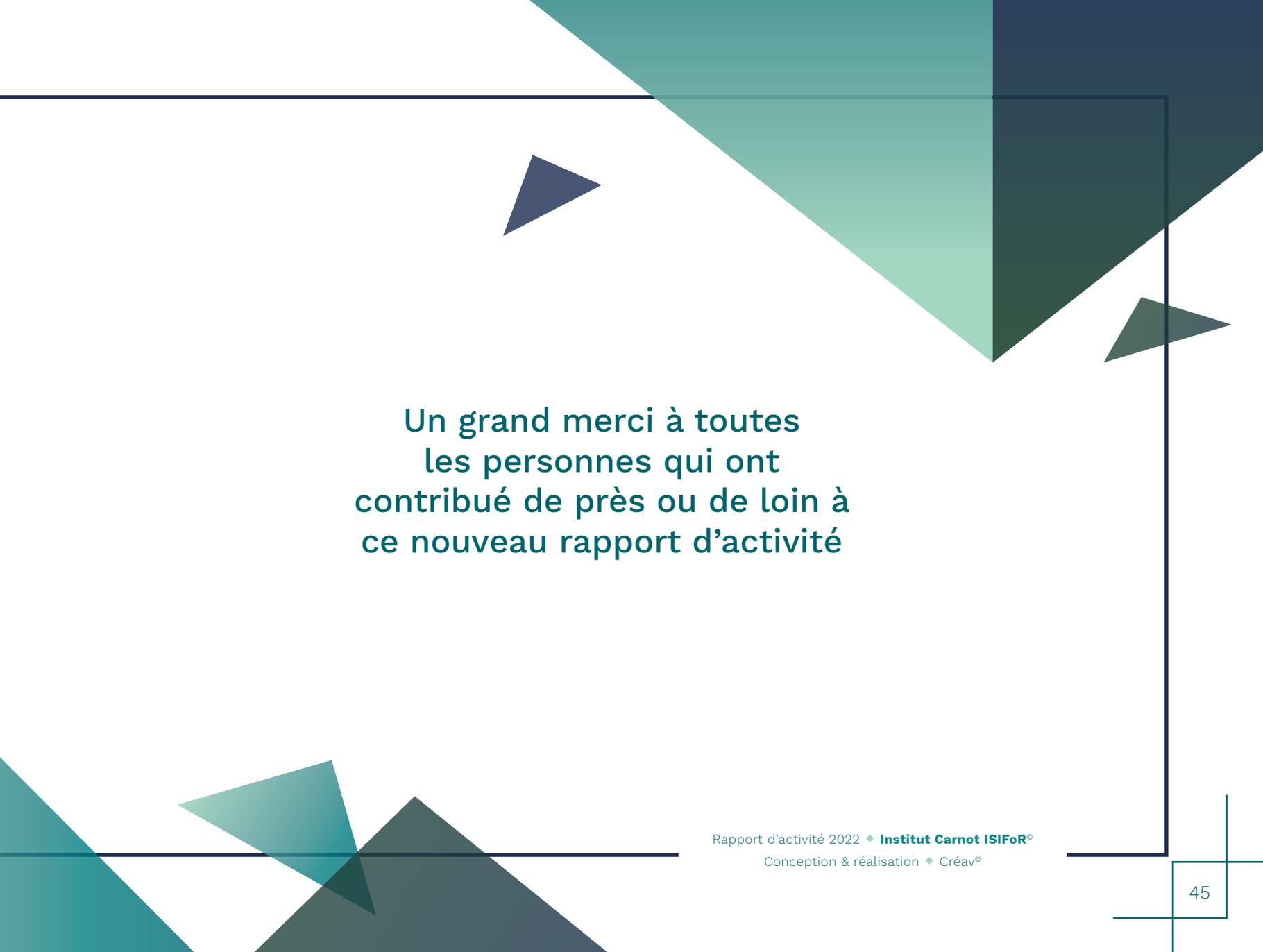
1 150
brevets prioritaires
déposés dans l'année,
positionnant le réseau
des Carnot au 1^{er} rang
des déposants français

28 500
publications de rang A par an

55%
de la RI&D financée par les
entreprises à la recherche publique
est confiée au réseau Carnot,
soit plus de 11 000 contrats
de recherche par an dont
40% avec des PME-ETI

MERCI À EUX





Un grand merci à toutes
les personnes qui ont
contribué de près ou de loin à
ce nouveau rapport d'activité

ISIFoR

2022

**INSTITUT
CARNOT ISIFoR**

www.carnot-isifor.eu

Université de Pau et des Pays de l'Adour
Présidence - ISIFoR
Avenue de l'Université
BP 576 - 64012 Pau CEDEX

Carnot_ISIFoR 

institut-carnot-isifor 

