



—
INNOVER
POUR UN MONDE
DÉCARBONÉ
ET DURABLE
+

2023 **RAPPORT
D'ACTIVITÉ**

NOTRE MISSION

IFPEN, L'ESSENTIEL

- Mission & présentation 01__
- Le message de Pierre-Franck Chevet, président d'IFPEN 02__
- La gouvernance d'entreprise 04__
- Données sociales & financières 06__
- L'actualité 2023 d'IFPEN : panorama 07__

LA R&I D'IFPEN, INNOVER LES TECHNOLOGIES DE LA TRANSITION

- Consolider les technologies maîtrisées 12__
- Développer les technologies prometteuses 20__
- S'appuyer sur les activités historiques pour renforcer le financement des NTE 26__

UNE RECHERCHE FONDAMENTALE TERREAU DES FUTURES INNOVATIONS 27__

ENCOURAGER ET SOUTENIR L'INNOVATION 32__

LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE AU CŒUR DE LA FORMATION ET DE LA RECHERCHE D'IFP SCHOOL 35__

CONTEXTE

LE CHANGEMENT CLIMATIQUE ET LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE

+ ENJEUX



FAVORISER UNE MOBILITÉ DURABLE



DIVERSIFIER LE MIX ÉNERGÉTIQUE

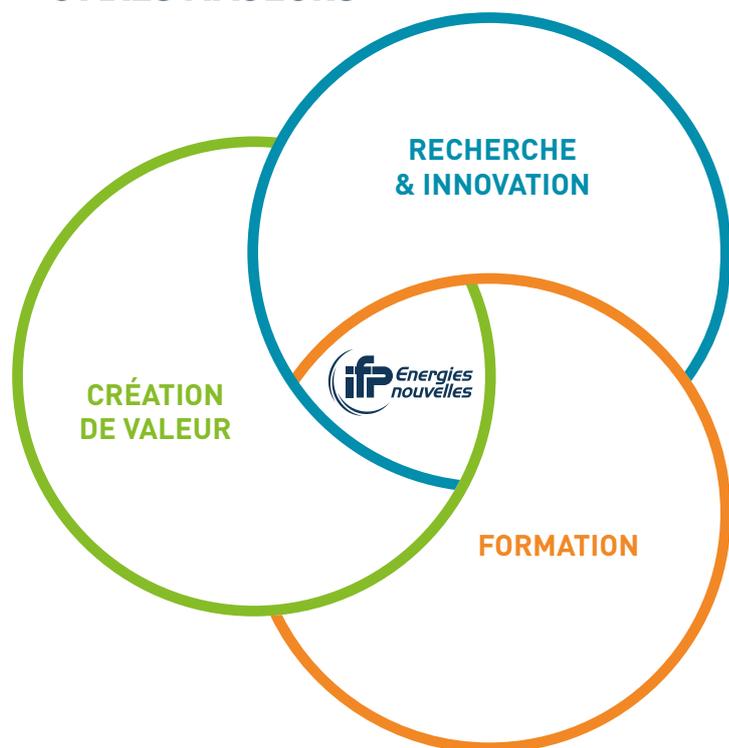


GAGNER EN EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE



RÉDUIRE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DES RESSOURCES FOSSILES

+ 3 AXES MAJEURS



IFP ENERGIES NOUVELLES

IFP Energies nouvelles (IFPEN) est un acteur majeur de la recherche et de la formation dans les domaines de l'énergie, de la mobilité et de l'environnement. Depuis les concepts scientifiques en recherche fondamentale jusqu'aux solutions technologiques en recherche appliquée, l'innovation est au cœur de son action.

Dans le cadre de la mission d'intérêt général confiée par les pouvoirs publics, IFPEN concentre ses efforts sur l'apport de solutions aux défis sociétaux et industriels de l'énergie et du climat, au service de la triple transition écologique, énergétique et numérique. Partie intégrante d'IFPEN, IFP School, son école d'ingénieurs, prépare les générations futures à relever ces défis.

UNE RECHERCHE CENTRÉE SUR L'INNOVATION

Les programmes de R&I d'IFPEN ont pour objectif de lever des verrous scientifiques et technologiques afin de déboucher sur des innovations valorisables par l'industrie.

Face à une large gamme de questionnements scientifiques ouverts, la **recherche fondamentale** d'IFPEN vise à produire un socle transverse de connaissances nouvelles, de concepts et méthodologies, support au développement des innovations de demain.

Les projets sont souvent menés dans un cadre collaboratif avec des partenaires académiques et industriels.

Les chercheurs d'IFPEN apportent régulièrement leur expertise scientifique aux pouvoirs publics, afin de leur fournir des éléments d'éclairage utiles à la décision. Engagé dans de nombreux projets, plateformes technologiques et réseaux dans le cadre d'Horizon Europe, IFPEN contribue également à faire émerger une vision européenne de la recherche dans les domaines de la mobilité et de l'énergie.

Les programmes de **recherche appliquée** sont structurés autour des quatre **orientations stratégiques** :

- **climat, environnement et économie circulaire** : réduire l'impact des activités humaines et industrielles sur le climat et l'environnement ;
- **énergies renouvelables** : produire, à partir de sources renouvelables, de l'énergie, des carburants et des intermédiaires chimiques ;
- **mobilité durable** : développer des solutions pour des transports efficaces et à faible impact environnemental ;
- **hydrocarbures responsables** : répondre à la demande en énergie et en produits chimiques de manière plus respectueuse de l'environnement.

Le financement d'IFPEN est assuré à la fois par le budget de l'État et par des ressources propres provenant des filiales et de partenaires industriels.

LA CRÉATION DE VALEUR

IFPEN contribue à la création de richesse et d'emplois, en favorisant le développement économique des filières liées aux secteurs de la mobilité, de l'énergie et des éco-industries. Le modèle d'IFPEN repose sur la valorisation des innovations développées par ses chercheurs. La mise sur le marché se fait via les filiales de son groupe et au travers de partenariats étroits avec des industriels. Sur des marchés émergents ou matures, IFPEN crée ainsi des sociétés ou prend des participations dans des entreprises prometteuses. Par ailleurs, IFPEN accompagne le développement de start-up et PME dans le cadre d'accords de collaboration leur permettant de bénéficier de son savoir-faire technique et juridique.

LA FORMATION, VECTEUR DE COMPÉTITIVITÉ

Dans le contexte de la transition énergétique, IFP School forme des talents pour relever les défis techniques, économiques et environnementaux, tout en accompagnant les industriels dans leurs besoins en personnel hautement qualifié. Rayonnant à l'international, IFP School propose à de jeunes diplômés des formations de niveau Master pour les métiers d'aujourd'hui et de demain dans les domaines de l'énergie, de l'automobile et de l'environnement. Elle diplôme ainsi tous les ans plus de 500 étudiants issus du monde entier.

LE MESSAGE DE PIERRE-FRANCK CHEVET, PRÉSIDENT D'IFPEN



IFPEN, s'appuyant sur sa vision stratégique Horizon 2035, développe aujourd'hui des technologies, procédés, produits, logiciels et services, pour diversifier le mix énergétique, décarboner les secteurs de l'industrie et du transport ou encore promouvoir l'économie circulaire.

L'année 2023 illustre la concrétisation du virage que nous avons opéré pour nous positionner en tant qu'acteur clé de la triple transition écologique, énergétique et numérique. Cette démarche s'est accompagnée d'une réorganisation de notre structure en quatre nouveaux centres de résultats : « Systèmes énergétiques », « Produits énergétiques », « Chimie pour l'industrie » et « Mobilité ».

En 2023, IFPEN s'est particulièrement distingué par sa capacité à porter ses innovations jusqu'à leur mise sur le marché sous différentes formes, au travers de filiales, d'unités de démonstration, ou de premières unités industrielles. Ainsi, nous avons créé une filiale dans le secteur de l'éolien, GreenWITS, qui propose des services numériques avancés. Nous sommes par ailleurs associés au démonstrateur de notre procédé de captage du CO₂ DMX™, sur le site d'ArcelorMittal à Dunkerque, qui a pour vocation de valider l'efficacité du procédé à l'échelle industrielle.

2023 nous a permis de nous affirmer comme tiers de confiance aux côtés des pouvoirs publics et des industriels.

Autre exemple : le choix du procédé BioTfuel[®], développé et démontré par IFPEN et ses partenaires, pour l'usine BioTJet[™] sur le bassin de Lacq. Cette unité devrait fournir du carburant d'aviation durable pour la décarbonation du transport aérien et du naphta à destination de la chimie verte. Ces réalisations sont toutes l'aboutissement de plus de 10 années de Recherche & Innovation.

IFPEN contribue ainsi au développement de nouvelles filières industrielles.

Par ailleurs, nos compétences dans le domaine des technologies de l'hydrogène ont été reconnues par notre deuxième place dans le classement mondial des organismes publics de recherche en termes de dépôts de demandes de brevets.

IFPEN poursuit également sa politique de développement industriel et de valorisation de ses innovations via une démarche globale d'incubation, d'essaimage et de prise de participation dans des sociétés liées à la transition écologique.

2023 nous a permis de nous affirmer comme tiers de confiance aux côtés des pouvoirs publics et des industriels. En témoigne notre participation active à divers groupes de travail auprès des pouvoirs publics et des industriels sur des sujets liés au déploiement des technologies écologiques en France et en Europe. Engagés dans le plan d'investissement France 2030, nous sommes fiers de piloter ou copiloter trois programmes et équipements prioritaires de recherche (PEPR). Cet engagement renforce notre ouverture et nos partenariats de recherche.

Parallèlement, nous avons significativement augmenté notre engagement dans la formation à et par la recherche en finançant un nombre record de thèses en 2023, dans l'objectif d'anticiper les défis des nouvelles thématiques de recherche.

Enfin notre école, IFP School, a poursuivi son adaptation à l'évolution de l'industrie et de la société en ouvrant de nouveaux programmes de formation, tels que le master *Geosciences for the energy system transition*, en partenariat avec l'université de Strasbourg, et en prévoyant le lancement d'un Mastère Spécialisé[®] sur l'hydrogène en septembre 2024.

C'est plus que jamais sous le signe de la transition qu'IFPEN, porteur d'innovation et de solutions technologiques, relèvera les défis à venir, et c'est l'une des raisons pour lesquelles nous envisageons d'adopter prochainement un nouveau nom reflétant mieux notre engagement pour la transition écologique.

Bonne lecture !



LA GOUVERNANCE D'ENTREPRISE

LE COMITÉ EXÉCUTIF*

DIRECTION GÉNÉRALE



Pierre-Franck Chevet
Président



Catherine Rivière
Directrice générale adjointe
Recherche & Innovation



Éric Lafargue
Directeur général adjoint
Administration et gestion des filiales

DIRECTEURS DES CENTRES DE RÉSULTATS



Benjamin Herzhaft
Systèmes énergétiques



Florence Delprat-Jannaud
Produits énergétiques



Véronique Ruffier-Meray
Directrice des Ressources humaines



Cécile Barrère-Tricca
Chimie pour l'industrie



Gaëtan Monnier
Mobilité



Dominique Humeau
Directeur Sciences et technologies
du numérique, Digital Office
et Système d'information



Pascal Longuemare
Formation



Nathalie Alazard-Toux
Développement industriel

AUTRES MEMBRES DU COMITÉ EXÉCUTIF

* Au 1^{er} mai 2024.

LE CONSEIL D'ADMINISTRATION*

Pierre-Franck Chevet
Président

Frédéric Ravel
Directeur scientifique du secteur « Énergie, développement durable, chimie et procédés » au service de la stratégie de la recherche et de l'innovation à la direction générale pour la Recherche & Innovation, représentant la ministre de l'Enseignement supérieur et de la Recherche

Un(e) représentant(e)
du ministère de l'Économie, des Finances et de la Souveraineté industrielle et numérique, à nommer

Un(e) représentant(e)
du ministère chargé de l'Industrie, à nommer

Monique Axelos
Directrice scientifique Alimentation et Bioéconomie, unité collège de direction, INRAE

François Dassa
Directeur de la mission Prospective et Relations internationales d'EDF, au sein de la direction Innovation, Responsabilité d'entreprise, Stratégie

Laurent Duval
Représentant des salariés

Carla Gohin
Directrice de la Recherche, de l'Innovation et des Technologies avancées de Stellantis

Didier Holleaux
Directeur général adjoint d'Engie

Hervé Le Treut
Membre de l'Académie des sciences, directeur de recherche au CNRS

Sophie Paturle-Guesnerot
Fondatrice associée de Demeter Partners

Sylvie Perrin
Représentante des salariés

Axel Plasse
Directeur Recherche & Développement et Marketing, Powertrain Driveline Systems Product Group, Valeo

Bruno Sportisse
Président-directeur général d'Inria

Anne Varet
Directrice scientifique et directrice exécutive adjointe de la Prospective et de la Recherche de l'ADEME

Une personne qualifiée
à nommer à la suite de la démission d'une administratrice

ASSISTENT ÉGALEMENT

Pierre Amidey
Contrôleur général économique et financier

Un commissaire
du gouvernement auprès d'IFPEN, à nommer

Guillaume Gougeul
Secrétaire du comité social et économique central (CSEC) d'IFPEN

LE CONSEIL SCIENTIFIQUE*

Luc Vervisch, Président
Professeur des universités à l'Institut des sciences appliquées de Rouen (laboratoire CORIA)

Jean-Yves Berthou
Directeur du centre Inria-Saclay

Philippe Cassagnau
Professeur des universités à l'université Lyon 1, directeur du pôle Recherche *Lyon Polymer Science & Engineering*, président du Groupe français de rhéologie

Christophe Coperet
Professeur de chimie moléculaire et titulaire de la chaire de chimie de surface et interfaces à l'École polytechnique fédérale de Zurich (Suisse)

Marc-Olivier Coppens
Ramsay Memorial Professor et directeur du département Génie chimique à *University College* de Londres (Royaume-Uni)

Sylvie Dequin
Cheffe du département Microbiologie et Chaîne alimentaire à l'INRAE (Jouy-en-Josas)

Mohamed Gabsi
Professeur et directeur du département Électronique – Électrotechnique – Automatique conversion de l'énergie à l'École normale supérieure de Paris-Saclay

Anke Lindner
Professeure de physique à l'université Paris-Diderot et chercheuse au laboratoire de physique et mécanique des milieux hétérogènes à l'École supérieure de physique et de chimie industrielles de la ville de Paris (ESPCI)

Nicolas Moes
Professeur des universités à l'École centrale de Nantes, Institut de recherche en génie civil et mécanique (GeM) et membre de l'Académie des sciences

Yannick Perez
Professeur des universités en économie à CentraleSupélec

Nicolas Petit
Professeur à Mines ParisTech, directeur du Centre automatique et systèmes (CAS)

Catherine Pinel
Directrice de IRCELYON

Christine Roussele
Professeure en combustion et diagnostics optiques à l'université d'Orléans, déléguée au *TCP Clean and Efficient Combustion* de l'AIE

Marc Schoenauer
Directeur de recherche (DR1) à Inria (Saclay), codirecteur du groupe TEAM (Intelligence artificielle & *Machine Learning*)

Sophie Violette
Professeure d'hydrogéologie, École normale supérieure de Paris

DONNÉES

SOCIALES & FINANCIÈRES

DONNÉES SOCIALES



1 531

Effectif permanent équivalent temps plein (ETPT) pour l'année 2023

dont

1 078

chercheurs et techniciens de R&I

près de

175

doctorants, post-doctorants et stagiaires (ETPT)

et

35

alternants

DONNÉES FINANCIÈRES

Les ressources propres sont en progression en raison principalement de la croissance des redevances et des dividendes. Les charges opérationnelles sont en augmentation dans un contexte d'inflation généralisée. La contribution nette issue du domaine des hydrocarbures enregistre une croissance constante et rapide depuis 2019, résultant essentiellement de la réorientation des activités de R&I vers les domaines de la transition énergétique. Inversement, la contribution de la dotation budgétaire a faiblement augmenté.

283,1 M€

dont 241,1 M€ pour la R&I
Charges opérationnelles

124,1 M€

Dotation budgétaire

156,7 M€

Ressources propres

76%

Poids des NTE dans la R&I IFPEN en 2023

RÉPARTITION DES CHARGES OPÉRATIONNELLES



Frais de personnel
Frais de fonctionnement
Amortissements, provisions

Taxes
Autres

RÉPARTITION DES PRODUITS OPÉRATIONNELS



Dotation budgétaire nette du gel
Soutiens publics
Prestations et recherche collaborative

Redevances
Dividendes
Production immobilisée

L'ACTUALITÉ 2023 D'IFPEN : PANORAMA



TRANSITION ET PLANIFICATION ÉCOLOGIQUE : IFPEN ASSOIT SA POSITION DE TIERS DE CONFIANCE

Dans le cadre de son engagement en faveur de la triple transition écologique, énergétique et numérique, IFPEN joue un rôle crucial dans la planification et la mise en œuvre des politiques écologiques et énergétiques en France et en Europe. Son expertise reconnue dans des domaines tels que la mobilité, la décarbonation de l'aérien, l'hydrogène et la biomasse en fait un partenaire incontournable.

Acteur engagé, IFPEN a participé activement en 2023 à divers projets et initiatives aux côtés des pouvoirs publics et des industriels.

Il a été impliqué dans des actions telles que le groupe de travail interministériel sur les carburants d'aviation durables, le conseil pour la recherche aéronautique civile, la *Renawable and Low-Carbon Fuels Value Chain Industrial Alliance*, l'ETIP Bioenergy, entre autres. En ligne de mire : contribuer à l'élaboration de politiques et de réglementations favorables au déploiement des technologies écologiques en France et en Europe.

Outre sa participation aux instances décisionnelles, IFPEN s'est efforcé à sensibiliser le grand public aux enjeux de la transition écologique. Sa présence lors d'événements comme le Salon du Bourget ou le Grand Prix de Pau lui a permis de partager sa vision et son expertise auprès d'un large auditoire.



FOCUS

IFPEN a de nouveau atteint 100/100 à l'index de l'égalité professionnelle femmes-hommes, reflet de son engagement sur le sujet. Le groupe fait partie des 2 % d'entreprises françaises ayant obtenu cette note maximum, 88/100 étant la moyenne nationale*.

* Source : ministère du Travail.



PRÉSENTATION DU PILOTE 3D DE CAPTAGE DE CO₂, LORS DE LA VISITE DE ROLAND LESCURE SUR LE SITE D'ARCELORMITTAL

Lundi 16 janvier, une délégation composée de Cécile Barrère-Tricca, Florence Delprat-Jannaud, Vania Santos-Moreau, cheffe du projet 3D de captage de CO₂, et de représentants d'Axens a accompagné la visite de Roland Lescure, ministre délégué chargé de l'Industrie, sur le site d'ArcelorMittal à Dunkerque.

Cette visite s'inscrit dans le cadre de la création de zones industrielles bas carbone (ZIBaC), initiative lancée à l'issue du pacte de décarbonation de l'industrie française proposé par le président de la République, en novembre 2023, aux dirigeants des 50 sites industriels les plus émetteurs de GES. L'objectif : permettre de déployer sur les zones industrielles sélectionnées l'ensemble des infrastructures nécessaires à la mise en place des processus de production bas carbone, reposant sur des nouvelles technologies comme l'hydrogène et le captage de CO₂.

À cette occasion, Vania Santos-Moreau et Laurent Viellard, responsable d'opération, ont présenté le projet 3D et l'unité de démonstration du procédé DMX™ de captage de CO₂ industriel, dont le démarrage en septembre 2022 a marqué un premier jalon pour capter, d'ici à 2026, un million de tonnes de CO₂ par an sur le site d'ArcelorMittal. À l'horizon 2030, le pôle européen de Dunkerque-Mer du Nord devrait permettre de capter, transporter et stocker en mer du Nord plus de 10 Mt de CO₂ par an.



DÉCARBONATION DE L'INDUSTRIE, BIOPRODUITS ET MOBILITÉ : IFPEN ENGAGÉ DANS LE LANCÉMENT DE TROIS PEPR

IFPEN est partie prenante du plan d'investissement France 2030 à travers son engagement au sein des programmes et équipements prioritaires de recherche (PEPR). et est copilote, avec le CNRS, du PEPR SPLEEN, volet de recherche amont au service de la stratégie nationale d'accélération « Décarbonation de l'Industrie ». Lancé en juin 2023, SPLEEN vise à mobiliser et à fédérer la communauté scientifique française pour la conception de systèmes industriels moins émetteurs de gaz à effet de serre. Le PEPR B-BEST, volet de recherche amont au service de la stratégie nationale d'accélération « Produits biosourcés et biotechnologies industrielles – carburants durables » a quant à lui été lancé en juillet 2023. Mené par IFPEN et l'INRAE, il a pour objectif de mieux appréhender et exploiter de manière efficiente les différents procédés chimiques, thermiques et biologiques, ainsi que leurs synergies, pour transformer la biomasse. Enfin, IFPEN pilote le PEPR MOBIDEC, volet de recherche amont au service de la stratégie d'accélération pour la digitalisation et la décarbonation des mobilités lancé en décembre 2023, au côté de l'Université Gustave Eiffel, copilote du programme de recherche. Intégré dans l'objectif de France 2030, ce PEPR vise à développer une mobilité sobre, souveraine et résiliente.



+ FOCUS

Pour en savoir plus sur IFPEN et les PEPR qu'il pilote ou copilote, rendez-vous sur le site www.ifpenouvelles.fr



BREVETS : IFPEN, 2^e DU CLASSEMENT MONDIAL DES ORGANISMES PUBLICS DE RECHERCHE SUR LES TECHNOLOGIES DE L'HYDROGÈNE



L'étude *Hydrogen patents for a clean energy future*, menée conjointement par l'Office européen des brevets (OEB) et l'Agence internationale de l'énergie (AIE), est parue en janvier 2023. Cette étude présente les grandes tendances des technologies de l'hydrogène pour la période 2011-2020, mesurées en termes de familles de brevets internationales. Elle couvre une large gamme de technologies, de l'approvisionnement en hydrogène au stockage, pour la distribution et la transformation ainsi que les applications finales. IFPEN se positionne à la deuxième place au niveau mondial dans le classement des organismes publics de recherche ayant déposé le plus de demandes de brevets à l'international, dans le domaine des technologies H₂. Les brevets portent sur la production d'hydrogène décarboné par CCS, la recherche de matériaux de substitution aux catalyseurs utilisés dans les réactions électrochimiques, la tenue des matériaux lors du transport et du stockage de l'hydrogène, son utilisation pour une mobilité décarbonée (PàC, moteur à combustion interne, carburants bas carbone : *e-fuels* et notamment *e-biofuels*). À noter que les trois premiers de ce même classement sont des organismes français : le CEA, IFPEN puis le CNRS.



GREENWITS : UNE NOUVELLE SOCIÉTÉ POUR RÉPONDRE AUX AMBITIONS DE L'ÉOLIEN



En mai 2023 est née GreenWITS, une filiale d'IFPEN qui offre des services numériques avancés aux développeurs et exploitants de projets éoliens. Le savoir-faire des équipes du Carnot IFPEN Ressources Énergétiques (RE) à l'origine des technologies GreenWITS™ s'appuie sur plus de 12 années de recherche sur l'ensemble de la chaîne de valeur, de l'évaluation de la ressource en vent à la maintenance des éoliennes, au sein de plusieurs réseaux de recherche (Alliance nationale de coordination de la recherche pour l'énergie, ANCRE, en France ou le programme de coopération technologique IEA Wind TCP de l'Agence internationale de l'énergie) et avec les principaux organismes de recherche nationaux, européens ou internationaux. Ce tissu collaboratif a été renforcé par une forte dynamique partenariale avec des acteurs importants de l'éolien tels que SBM Offshore, Principia ou encore Vaisala. GreenWITS peut dès maintenant contribuer aux fortes ambitions européennes dans le domaine de l'éolien.



IMPLANTATION DE L'USINE BIOTJET™ À LACQ : BIOTFUEL® PREND SON ENVOL

IFPEN, Axens, Elyse Energy, Avril et Bionext ont annoncé l'implantation de l'usine BioTJet™ sur le bassin de Lacq (64). Cette nouvelle usine constitue une brique clé du développement de la filière française de production de carburants d'aviation durables. Elle s'inscrit pleinement dans la volonté de faire de la France un champion de « l'aviation ultra-sobre ». Ce projet sera la première unité industrielle basée sur le procédé BioTfuel®, développé et démontré par IFPEN et ses partenaires sur les sites de Venette et de Dunkerque. La société BioTJet a vocation à construire et à opérer une usine de production de carburants d'aviation durables, obtenus à partir de biomasse lignocellulosique et d'hydrogène bas carbone. À l'horizon 2028, elle devrait fournir 75 000 tonnes par an de carburants d'aviation durables pour la décarbonation du transport aérien et 35 000 tonnes par an de naphta à destination du transport routier et de la chimie verte. « *La technologie BioTfuel®, qui sera au cœur de cette unité de production de carburants d'aviation durables, est le fruit de 10 ans de recherche partenariale intense dans laquelle nous avons été, et sommes toujours, très engagés. Cet aboutissement s'inscrit pleinement dans l'ambition du Groupe IFPEN de soutenir, par ses innovations, la décarbonation de l'industrie et des transports* », a précisé Pierre-Franck Chevet, président d'IFPEN.

À souligner : Le projet BioTJet™ est lauréat de l'appel à projets pour le « Développement d'une filière de production française de carburants aéronautiques durables », opéré par l'ADEME, dans le cadre du 4^e programme d'investissement d'avenir – France 2030 avec 7,9 millions d'euros d'aides dont 3 millions d'avances remboursables.



Entre août et octobre, Yuri Hamon, géologue à IFPEN, a embarqué pour une expédition océanographique International Ocean Discovery Program (IODP),

l'expédition 389 dédiée aux thématiques des variations climatiques et environnementales à travers l'étude des récifs coralliens.

Témoins des changements climatiques passés, les coraux peuvent en effet aider à mieux prédire le climat de demain.



LA VISITE D'IFPEN-LYON ENTHOUSIASME LES SÉNATEURS



* Gilbert-Luc Devinaz, sénateur du Rhône et président de la mission d'information sur le développement d'une filière de biocarburants, carburants synthétiques durables et hydrogène vert; Vincent Capo-Canellas, sénateur de la Seine-Saint-Denis; Bernard Buis, sénateur de la Drôme; Béatrice Gosselin, sénatrice de la Manche; Étienne Blanc, sénateur du Rhône; Henri Cabanel, sénateur de l'Hérault; Pierre Cuypers, sénateur de la Seine-et-Marne; et Lucien Stanzione, sénateur du Vaucluse.

À la suite de l'audition d'IFPEN au Sénat sur « la recherche sur les carburants synthétiques durables, l'hydrogène et les biocarburants », un groupe de sénateurs* s'est rendu en mars sur le site de Solaize afin de découvrir les travaux d'IFPEN, plus particulièrement en matière de biocarburants, ainsi qu'une partie des activités sur la mobilité hydrogène. Les sujets des *e-fuels* et du captage de CO₂ ont également été abordés. Les élus ont pu apprécier le rôle d'IFPEN dans la transition écologique. Ils ont également approfondi le sujet des ressources technologiques disponibles et leur complémentarité, les possibilités d'actions réalisables dès aujourd'hui et les trajectoires visées. Enfin, ils ont souligné l'engagement d'IFPEN en matière de responsabilité sociétale sur le territoire.



ENJEUX DES MATÉRIAUX DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE : IFPEN INTERVIENT À L'OFREMI

Dans le cadre de l'Observatoire français des ressources minérales pour les filières industrielles (OFREMI) lancé à la fin 2022, IFPEN a participé à un séminaire de réflexion sur les enjeux des matériaux de la transition écologique. Cinq thèmes ont été retenus pour le lancement de travaux à venir : l'opportunité de relocaliser une chaîne de production du titane en France ou en Europe ; la faisabilité d'un équilibre offre/demande pour le cuivre au niveau français en combinant approvisionnement primaire et secondaire ; les métaux pour le secteur automobile (connaissance des chaînes de valeur et des acteurs) ; les impacts de la production de lithium sur des chaînes d'approvisionnement industrielles ; le lancement d'un système d'information de l'OFREMI. Une équipe de la direction Économie et Veille a présenté devant les parties prenantes de l'OFREMI – industriels, ministères et notamment le délégué interministériel aux approvisionnements en minerais et métaux stratégiques – les feuilles de route des projets sur le titane, le cuivre et les métaux pour le secteur automobile. Suite à ces présentations, les premiers travaux devraient concerner le sujet des métaux pour le secteur automobile en lien avec la stratégie nationale bas carbone (SNBC), feuille de route française pour atteindre la neutralité carbone d'ici à 2050.



CHIFFRES CLÉS

2 Carnot



ISO
CERTIFIÉ
9001
pour ses activités de R&I

154 
premiers dépôts de
demandes de brevets, dont
125
dans le domaine des NTE

Plus de
500 
élèves diplômés
par IFP School

LA R&I D'IFPEN, INNOVER LES TECHNOLOGIES DE LA TRANSITION

Acteur engagé de la triple transition écologique, énergétique et numérique, IFPEN participe à la mise en œuvre des politiques écologiques en France et en Europe, en contribuant à construire les filières industrielles qui permettront d'atteindre les objectifs internationaux de décarbonation. Pour cela, IFPEN propose des technologies, techniquement prouvées et économiquement rentables, et élabore en parallèle, pour le long terme, des innovations de rupture.

IFPEN a initié, il y a plus de 10 ans, des travaux prospectifs dans des domaines tels que l'éolien, la transformation de la biomasse, le CCUS ou encore l'électrification de la mobilité, qui débouchent désormais sur des technologies maîtrisées et prêtes à connaître un débouché industriel. IFPEN poursuit cette stratégie d'anticipation pour préparer les solutions technologiques de demain et ainsi contribuer à apporter des réponses face à l'accélération de l'histoire énergétique.



Afin de pouvoir déterminer les technologies sur lesquelles il doit accentuer ou à l'inverse réduire ses efforts, et se saisir de thématiques émergentes, IFPEN a élaboré une méthodologie permettant de « peser » les technologies (produits, procédés, équipements, logiciels, services, etc.). Cette approche méthodologique est effective depuis 2023. Plus de 30 technologies ont été analysées et une vingtaine a été identifiée comme d'intérêt public majeur, réparties en trois catégories selon leur degré de maturité :

- les **technologies maîtrisées** démontrent l'expertise scientifique d'IFPEN et intègrent un ou plusieurs produits commercialisables sur des marchés identifiés ;
 - les **technologies prometteuses**, dont la maîtrise technique a été éprouvée à IFPEN, doivent être consolidées ;
 - quant aux **technologies prospectives**, leur faisabilité et leurs débouchés font encore l'objet d'analyses.
- Naturellement, classer une technologie dans la catégorie « maîtrisée » ne signifie pas que l'ensemble des travaux relatifs à cette technologie le sont. Certains travaux menés en lien avec la technologie peuvent être encore au stade dit « prometteur », voire « prospectif », avec des activités de recherche et d'innovation plus amont pour préparer les générations futures de ces produits ou services. Ainsi, le captage de CO₂ en rupture avec le *Direct Air Capture* (DAC), certaines biotechnologies pour la production de biocarburants (nouvelles enzymes), le recyclage des matériaux de batteries, le cycle de l'eau (encourager l'efficacité des usages, optimiser en amont la gestion de la ressource), la gestion des flux de microplastiques dans l'environnement, etc. sont aujourd'hui aux premiers stades de travaux.

Les activités de R&I d'IFPEN s'inscrivent dans le cadre de priorités stratégiques :

- Climat, environnement et économie circulaire : réduire l'impact des activités humaines et industrielles sur le climat et l'environnement.
- Énergies renouvelables : produire, à partir de sources renouvelables, de l'énergie, des carburants et des intermédiaires chimiques.
- Mobilité durable : développer des solutions pour des transports efficaces et à faible impact environnemental.
- Hydrocarbures responsables : réduire l'empreinte environnementale des activités liées à l'utilisation des hydrocarbures.

+ CONSOLIDER LES TECHNOLOGIES MAÎTRISÉES

Climat, environnement et économie circulaire

CO₂ : captage, stockage & émissions négatives

Au regard des enjeux de décarbonation à l'échelle mondiale, les technologies de captage, stockage et utilisation du CO₂ sont identifiées par le GIEC et l'AIE comme des leviers de premier plan dans la lutte contre le réchauffement climatique. Si ces technologies sont clairement intégrées dans les feuilles de route sectorielles et nationales, à l'instar de la stratégie publiée en juin 2023 par la France, elles font maintenant l'objet de projets industriels concrets. Les travaux menés par les équipes d'IFPEN, destinés à accélérer le déploiement à grande échelle de la filière, couvrent l'ensemble de la chaîne du captage, transport et stockage du CO₂. Ils apportent la démonstration d'une chaîne CCS fiable et sécurisée sur l'ensemble des briques technologiques. En témoigne le succès des premiers tests menés sur le pilote industriel situé sur le site ArcelorMittal de Dunkerque, visant à démontrer les performances du procédé DMX™ de captage de CO₂ issu d'activités industrielles. En parallèle, les équipes d'IFPEN évaluent le bénéfice de la mise en œuvre du CCS au travers d'analyses de cycle de vie et la réalisation de scénarios de déploiement à différentes échelles.

+ FOCUS

Le 9^e RDV IFPEN de l'innovation énergétique, qui s'est tenu en décembre 2023, a été source de riches échanges et d'enseignements sur le CCS. Stratégie française de déploiement du captage et stockage du CO₂, exemple d'application sur le territoire de Dunkerque, nécessité pour décarboner l'industrie cimentière, point sur la recherche, l'innovation et les technologies en place : découvrez ou retrouvez l'événement via le *replay* disponible sur le site www.ifpennergiesnouvelles.fr

FAIT MARQUANT



Projet CHEERS : démarrage de l'unité CLC à Deyang, en Chine

En juin 2023, le projet sino-européen CHEERS, qui réunit neuf partenaires industriels, universitaires et institutionnels, est entré dans une phase importante avec le démarrage de l'unité de démonstration de grande taille (d'une capacité de 3 MWth) du procédé CLC (*Chemical Looping Combustion*), mis au point par IFPEN et TotalEnergies, permettant de valider cette technologie de captage de CO₂ sur unités de production d'énergie à partir de combustibles solides (fossiles, biomasse, déchets) à un coût compétitif et contribuer ainsi à la décarbonation de l'industrie.

Recyclage des plastiques

Sur la base des compétences mutualisées dans le cadre de partenariats, IFPEN développe des technologies de recyclage chimique des plastiques éprouvées et viables économiquement afin de pouvoir traiter, en complément du recyclage mécanique, presque tous les types de plastiques et offrir des solutions aux industriels pour répondre aux attentes croissantes de la société en matière de réduction des déchets plastiques, conformément aux politiques publiques relatives à l'économie circulaire. L'année 2023 a été marquée par des avancées majeures pour la technologie Rewind® Mix, qui purifie les huiles de pyrolyse de plastiques permettant leur traitement direct dans les usines pétrochimiques existantes pour la production de plastique recyclé. Les essais sur des huiles de pyrolyse de haute qualité et le test de nouvelles charges plus difficiles ont démontré la bonne adaptabilité du procédé. De plus, la mise en service du démonstrateur de recyclage chimique du PET (*voir ci-dessous*) a marqué le point culminant de 10 ans d'efforts en matière de R&I sur le sujet.



FAIT MARQUANT

Démarrage de l'unité de recyclage chimique du PET

Le 24 octobre 2023, la cérémonie d'inauguration de l'unité de démonstration du procédé Rewind® PET de recyclage chimique du PET (polytéréphtalate d'éthylène, utilisé pour conditionner 70 % des boissons) s'est tenue à Kitakyūshū (Japon). À cette occasion, IFPEN, Axens et Jeplan ont annoncé officiellement le démarrage des opérations de l'unité construite sur le site industriel de Jeplan.



Cette nouvelle unité offre une démonstration tangible de l'intérêt et de l'efficacité du procédé Rewind® PET pour tous les acteurs de l'économie circulaire du plastique, depuis les spécialistes de la gestion des déchets jusqu'aux utilisateurs finaux, qui sont essentiellement des marques appartenant aux domaines de l'emballage et du textile, en passant par les producteurs de PET. En témoigne la présence des représentants de Toray, en lien avec le projet d'installation d'une première unité industrielle Rewind® PET sur leur site de production de PET en région Auvergne-Rhône-Alpes à l'horizon 2027.

Énergies renouvelables

Éolien & énergies marines

Les compétences historiques d'IFPEN en conception d'équipements offshore et en contrôle avancé et ses solutions innovantes proposées aujourd'hui par les équipes du Carnot IFPEN Ressources Energétiques (RE) lui ont permis de se différencier encore davantage en 2023.

La création de sa filiale GreenWITS ainsi que la mise à l'eau des trois éoliennes du projet Provence Grand Large font notamment événement pour la filière. Autres faits notables : le démarrage des consortiums avec des partenaires industriels – le JIP Wind Avatar, qui vise à développer et qualifier une solution associant modélisation physique et sciences des données pour surveiller les actifs éoliens, et le programme Fame, qui étudie l'impact de l'éolien flottant sur la production d'électricité.



FAIT MARQUANT



Installation du premier parc éolien flottant en Méditerranée

L'année 2023 a marqué le franchissement d'une nouvelle étape dans l'éolien offshore avec l'installation complète des trois flotteurs du parc Provence Grand Large, le premier parc éolien flottant au large des côtes méditerranéennes françaises. Ces flotteurs, conçus par SBM Offshore en partenariat avec les équipes du Carnot IFPEN RE, mettent en œuvre la technologie « à lignes d'ancrage tendues » et constituent une véritable innovation technologique en raison de leur grande stabilité et de la possibilité de les déployer dans des zones à fortes profondeurs. Un nouvel exemple de valorisation du savoir-faire d'IFPEN en matière de simulation : les calculs multiphysiques ont été réalisés à l'aide du logiciel Deeplines Wind™, codéveloppé par IFPEN et Principia. Cette réalisation démontre le soutien d'IFPEN à des applications concrètes au service de la transition énergétique et aux objectifs français et européens dans le domaine de l'éolien.

FAIT MARQUANT

GreenWITS : répondre aux ambitions du secteur dès maintenant

En mai 2023 est née GreenWITS (voir aussi page 9), une filiale qui offre des services numériques avancés aux développeurs et exploitants de projets sur quatre secteurs d'activité : la conception de parcs, la conception des éoliennes flottantes, le monitoring digital des éoliennes et le contrôle des parcs éoliens. GreenWITS est le fruit d'une longue maturation technologique et peut contribuer aux fortes ambitions européennes dans le domaine de l'éolien. À noter : GreenWITS a reçu le prix de l'innovation 2023 remis par Evolen pour son offre de contrôle des éoliennes à l'échelle du parc. Elle a été sélectionnée parmi un ensemble de 18 entreprises candidates.

+ **FOCUS**

IFPEN et GreenWITS ont été les invités principaux du plateau du média éducatif L'Esprit Sorcier TV qui a consacré un épisode de « Science en questions » sur les enjeux, les défis et les ambitions françaises pour le déploiement de l'éolien. À retrouver sur YouTube!

Ressources et usages du sous-sol pour la transition énergétique

Les enjeux du sous-sol, stratégiques pour l'exploitation de ressources (chaleur, hydrogène, fluides hydrothermaux/métaux, etc.) et pour le stockage massif de fluides, ont très tôt intéressé le Carnot IFPEN RE. La récente actualité a notamment fait la part belle à l'hydrogène naturel, ressource qui intéresse les chercheuses et chercheurs d'IFPEN depuis plus de 15 ans. Ses équipes en étudient les émanations en différents endroits à la surface de la terre, en quantifient les ressources disponibles en travaillant à mieux comprendre les processus de transformation de l'eau en hydrogène dans les profondeurs.

FAIT MARQUANT



Gliter : évaluer le potentiel de coproduction géothermie et lithium du fossé rhénan

Coordonné par le BRGM – et intégrant, aux côtés du Carnot IFPEN RE, Lithium de France, CGG et l'université Paris-Sorbonne – le projet ANR Gliter vise à évaluer les ressources en lithium des eaux géothermales du fossé rhénan. GLITER permettra dans un premier temps de travailler sur l'évolution tectonique du fossé rhénan et son impact sur les propriétés d'écoulement, puis de prendre en compte cette évolution structurale et les roches sources de lithium dans la modélisation de bassin pour évaluer la distribution actuelle du lithium dans les eaux géothermales.

Enfin, une modélisation des écoulements dans ces réservoirs fracturés s'appliquera à mesurer l'évolution de la concentration en lithium dans les eaux produites et permettra d'effectuer des recommandations sur le positionnement des puits et sur les acquisitions à réaliser pour réduire les incertitudes et mieux appréhender le caractère économique de la production.

FAIT MARQUANT

Hydrogène naturel : l'origine et le comportement de l'hydrogène géologique à la loupe

Remontant à 2008, les premiers travaux d'IFPEN ont permis de révéler que l'hydrogène naturel se rencontrait de manière préférentielle dans plusieurs types d'environnements géologiques. Aujourd'hui, les équipes du Carnot IFPEN Ressources Energétiques ambitionnent de mieux comprendre les mécanismes de formation de l'hydrogène en profondeur ainsi que les mécanismes qui dégradent l'hydrogène au cours de sa migration vers la surface (transformations géochimiques ou consommation par des micro-organismes).

En rassemblant ces résultats, les travaux IFPEN visent à développer des outils d'exploration géologique permettant aux industriels de bénéficier de méthodes de quantification des ressources et des réserves potentielles en hydrogène naturel. Ces travaux s'appuient notamment sur une collaboration avec la chaire ORHYON (micro-Organismes et Réactivité de l'HYdrOgène dans le sous-sol) démarrée en 2022 qui vise, en partenariat avec l'Institut des sciences analytiques et de physico-chimie pour l'environnement et les matériaux (unité mixte de recherche CNRS/UPPA-UMR 5254), l'université de Pau et des pays de l'Adour, Engie et ses filiales Storengy et BU-Brazil, à étudier le comportement de l'hydrogène dans le sous-sol. Des connaissances pour mieux comprendre le potentiel de l'hydrogène géologique à contribuer à un système énergétique plus durable.



Production de biocarburants

IFPEN développe des procédés de production de carburants durables à partir de matières premières renouvelables telles que les biomasses lignocellulosiques ou les huiles de cuisson usagées. Ces carburants peuvent être utilisés seuls, mélangés avec d'autres carburants durables ou mélangés avec des carburants conventionnels issus du pétrole. Ces ressources permettent par ailleurs de faire évoluer les installations de raffinage vers des centres énergétiques qui traitent de multiples ressources. Cette évolution offre deux avantages majeurs : elle permet d'optimiser les investissements nécessaires pour la production de carburants biosourcés et de décarboner les outils industriels existants en introduisant du carbone renouvelable voire de l'hydrogène bas carbone. La diversification des ressources est un enjeu majeur adressé par IFPEN avec des travaux de recherche sur la transformation des déchets et des résidus de biomasse, d'huiles ou de graisses de différentes origines (huiles de cuisson usagées, graisses animales, etc.), de déchets et de résidus plastiques, papiers ou cartons.

Le marché des biocarburants est actuellement stimulé par des réglementations visant à réduire les émissions de CO₂ du transport, comme l'initiative ReFuelEU Aviation pour le secteur aéronautique.



IFPEN a développé trois filières de production de biocarburants avancés avec des technologies commercialisées par Axens :

- la voie hydrotraitement d'huiles végétales (huiles de cuisson usagées, résidus de la production d'huiles végétales alimentaires, graisses animales, etc.) avec le procédé Vegan®.

Des licences du procédé Vegan® ont déjà été concédées dans le monde dont une en France sur le site TotalEnergies de La Mède ;

- la voie BtL (*Biomass-to-Liquid*) permettant la transformation de la biomasse en un mélange de monoxyde de carbone et d'hydrogène par gazéification, puis la conversion en biocarburants avancés par la technologie Fischer-Tropsch GASEL®.

Cet enchaînement de procédés constitue la base de la technologie BioTfuel®, en cours de déploiement sur le projet industriel BioTJet™ ;

- la voie éthanol avec la technologie FuturoL®, qui permet de convertir des matières lignocellulosiques en éthanol.

Ce processus implique l'utilisation d'enzymes propriétaires d'IFPEN pour extraire les sucres des matières premières, puis la fermentation de ces sucres en éthanol grâce à l'action de levures. IFPEN a également développé la suite de procédés permettant de convertir le bioéthanol avancé issu de FuturoL® en biokérosène, la suite Jetanol™.

+ FOCUS

2023 a vu des avancées majeures sur le projet Vegan® avec la livraison de deux nouveaux catalyseurs d'hydrotraitement et d'isomérisation pour le procédé en une étape, et le déploiement de l'offre autour du procédé Vegan® en deux étapes pour maximiser la production de SAF.

+ FOCUS

En mai 2023, IFPEN a organisé une table ronde sur les enjeux et les perspectives des carburants aéronautiques durables. Solutions technologiques, impact environnemental, cadre réglementaire... retrouvez le *replay* des échanges sur www.ifpenergiesnouvelles.fr

Production de bioproduits

Les principaux intermédiaires chimiques s'inscrivent dans une perspective de complexes de bioraffineries qui intègrent les avancées des voies de production de biocarburants de seconde génération développées par IFPEN. Ces complexes intègrent également des procédés de production de molécules biosourcées. Les équipes d'IFPEN s'attachent ainsi à étudier la production de bio-alcools, de bio-oléfines, de molécules plateformes oxygénées et de bio-aromatiques. Elles travaillent aussi sur les molécules de moindre volume mais à forte valeur ajoutée. L'année 2023 a été marquée en particulier par le démarrage de l'expérimentateur préindustriel BioButterfly à Bassens, suivi de la production de lots de butadiène pour la fabrication d'élastomère par Michelin, par la finalisation du dossier de base du procédé de production de 5-HMF (5-HydroxyMethylFurfural) à partir du sucre et la réalisation des études d'ingénierie de la première unité industrielle.



Interview de Laurent Lemonnier, directeur général délégué en charge de ResiCare

Entité du groupe Michelin, ResiCare développe et commercialise des résines adhésives innovantes alliant haute performance, non-toxicité et matières renouvelables. Développée initialement pour l'industrie du pneumatique, notre technologie se déploie désormais sur un panel d'applications industrielles : bois, isolants, abrasifs, composites...

À l'issue d'une dizaine d'années de recherche en laboratoire sur la transformation du sucre en une molécule biosourcée, 5-HMF, IFPEN s'est associé à ResiCare en 2021 pour développer un procédé de production de 5-HMF à l'échelle industrielle. Des essais à l'échelle pilote ont permis la production de 1,2 tonne de 5-HMF. Nous avons pu confirmer la faisabilité d'une chimie biosourcée et non-toxique à l'échelle industrielle pour ouvrir la voie à une chimie sans pétrole. C'est une étape clé dans la montée en échelle de notre nouvelle technologie adhésive. Nous croyons en ce mouvement porteur et invitons d'autres acteurs de l'industrie à nous rejoindre. »

Stockage et gestion de l'énergie

À l'heure du déploiement toujours plus important des énergies renouvelables, le Carnot IFPEN RE continue de répondre aux besoins accrus de flexibilité et de stabilité des réseaux électriques et des réseaux de chaleur avec des technologies de stockage massif d'électricité et des solutions numériques de gestion de l'énergie (EMS). Le Carnot IFPEN RE a approché en 2023 plusieurs partenaires, dont Soalis, installateur de panneaux photovoltaïques, Urban Solar Energy, agrégateur et spécialiste de l'énergie solaire, afin de travailler à déployer l'offre de pilotage de batteries par l'EMS d'IFPEN pour différents usages et services. Il a renforcé sa collaboration avec la start-up industrielle STOLECT qui met en œuvre sa technologie de batterie Carnot.



Mobilité durable

Motorisations électriques

Les travaux du Carnot IFPEN Transports Energie (TE) ont pour but d'améliorer la performance des systèmes de propulsion électrique et notamment leur efficacité énergétique et leur impact environnemental. Des modèles numériques permettent de capitaliser les connaissances et, au travers d'outils d'optimisation multicritères, d'identifier de nouvelles solutions de moteurs, d'électronique de pilotage et de contrôle. De nombreux partenariats industriels alimentent ces recherches, notamment dans le domaine de l'électronique de puissance. Un partenariat avec la PME Erem pour le groupe GCK a notamment permis de valider la performance de nouvelles parties actives (stators et rotors) conçues par le Carnot IFPEN TE. Ces travaux ont été validés pour deux moteurs : le premier en basse tension et forte densité de puissance pour la mobilité légère ; le deuxième à forte tension et puissance continue supérieure à 300 kW pour une application *off-road*. D'autres projets ont démarré en 2023 avec comme partenaires le groupe GCK et sa filiale Solution F, ou la société Mov'NTec.



Interview de **Jean-François Le Romancer,** président de **STOLECT**

La start-up STOLECT s'est tournée vers IFPEN pour accélérer et fiabiliser le développement de notre solution de stockage d'électricité à grande échelle : une « batterie de Carnot » produisant de l'air chaud, qui peut être stocké dans un matériau réfractaire puis déstocké pour entraîner une turbine électrique. Positionnées sur différentes technologies de stockage et de gestion d'énergie, brique fondamentale pour accompagner le déploiement des énergies renouvelables chères à IFPEN, ses équipes disposent aujourd'hui de solides compétences et des moyens expérimentaux dont nous avons besoin pour répondre à la demande d'électricité via un procédé respectueux de l'environnement. Les synergies déjà mises en place entre notre offre industrielle et la R&I d'IFPEN, adossées à une volonté commune d'œuvrer à la décarbonation des mix énergétiques, ont un bel avenir devant elles avec un partenariat stratégique à la clé en 2024. »



FOCUS

Le Carnot IFPEN TE a rejoint le projet européen ARCHIMEDES, lancé en juin 2023 dans le cadre d'un partenariat public-privé européen, qui vise à augmenter l'efficacité et la durée de vie des composants électroniques de puissance et des dispositifs de stockage d'énergie dans l'automobile, l'aviation et l'industrie. Le Carnot IFPEN TE participera aux études de fiabilité des matériaux semi-conducteurs à large bande (*Wide Bandgap*) utilisés dans les chargeurs bidirectionnels (V2H) et les onduleurs de traction pour des applications exigeant des niveaux de puissance, de fréquence ou de température élevés.

FAIT MARQUANT**Fin du projet Melchior : un prototype de moteur électrique recyclable**

Le projet Melchior*, mené en commun par le Carnot IFPEN TE et le CEA-Liten au travers de son Carnot Énergies du Futur de 2022 à 2023, a permis de concevoir une machine électrique innovante à aimants recyclables. Des tensions d'approvisionnement étant attendues dans les prochaines années concernant les matériaux utilisés dans les moteurs électriques (aimant, fer, cuivre et aluminium), Melchior a ciblé des architectures qui minimisent l'utilisation de matériaux critiques et facilitent le désassemblage et le recyclage des composants sans impacter la performance. Le Carnot IFPEN TE a conçu le moteur et évalué son impact environnemental alors que le CEA-Liten a mis en œuvre une technologie innovante d'aimants recyclables. Cette activité se poursuit grâce notamment au projet Magellan, piloté par Orano et lancé début 2024, qui vise, grâce à des technologies innovantes de fabrication des aimants permanents (moulage par injection de poudre) et à des améliorations dans la conception de machines électriques, à rendre plus simple et plus propre la séparation des matériaux des moteurs en fin de vie et à optimiser ainsi la récupération des aimants.

* Machines électriques dans une chaîne de valeur orientée vers le recyclage.



**Interview de
Vincent Lallemand,
directeur de Solution F
(groupe GCK)**

Ce qui nous anime aujourd'hui avec le Carnot IFPEN TE, c'est le développement de nouvelles générations de motorisations électriques compactes et à très forte puissance spécifique pour équiper différentes catégories de véhicule, comprenant des modèles de compétition, des voitures particulières, des poids lourds et des véhicules off-road. Dès 2022, nous avons adopté les parties actives – conçues par le Carnot IFPEN TE – utilisant la technologie de moteurs synchro-réductants assistés par aimants, dans le cadre du rétrofit électrique de la voiture de collection Lancia Delta HF Intégrale.

En 2023, cette technologie a été élargie à des motorisations à très haute tension (800 V) pour des dameuses, et en basse tension (48 V) pour des véhicules de loisirs et pour l'hybridation en rétrofit de voitures légères citadines.

En particulier, la solution en basse tension s'accompagne d'une licence d'exploitation d'un onduleur développé par le Carnot IFPEN TE, qui assure le pilotage optimal du moteur électrique. Cette solution globale est différenciante et stratégique pour notre groupe. Elle nous permet d'avoir une longueur d'avance dans les technologies de traction électrique destinées soit à du rétrofit de véhicules thermiques, soit à la production en petite série de voitures électriques très performantes et haut de gamme. »

+
**DÉVELOPPER LES TECHNOLOGIES
PROMETTEUSES**



Climat, environnement et économie circulaire

Interactions climat/sol et cycle de l'eau

Le Carnot IFPEN RE développe des technologies de suivi des stocks de carbone des sols et des éco-agro-systèmes, en cohérence avec le plan national d'adaptation au changement climatique (PNACC) qui vise à renforcer la résilience des écosystèmes (sols, forêts, mer et littoral, biodiversité et ressources en eaux) pour leur permettre de s'adapter au changement climatique et aux événements extrêmes. Le carbone est un élément majeur des cycles biogéochimiques et la réalisation de suivi des stocks de carbone des sols et des éco-agro-systèmes fait partie des réponses aux enjeux écologiques.

IFPEN collabore avec des partenaires nationaux (INRAE, IRD, BRGM), notamment au travers de divers projets à soutien public, ainsi qu'avec des acteurs industriels pour valider ses technologies d'analyse du carbone et contribuer à apporter des solutions pour la transition écologique. En 2023, le Carnot IFPEN RE a ainsi participé au côté du BRGM au démarrage

du projet Gesipol (recherche pour la gestion intégrée des sites pollués), subventionné par l'ADEME, qui vise à refunctionaliser les sols, ainsi qu'à un projet de plan de relance avec Valorhiz pour étudier le potentiel des sols à faible teneur en carbone. Par ailleurs, IFPEN a développé des outils de surveillance environnementale de suivi de molécules polluantes (suite Flair) et les a testés en conditions industrielles.

Enfin, le Carnot IFPEN RE développe des outils et connaissances pour la gestion de la ressource en eau. Ainsi, un nouveau projet a été accepté au sein du PEPR exploratoire OneWater : les équipes IFPEN, en collaboration avec le BRGM et Hydrosience Montpellier, s'intéressent aux aquifères karstiques du sud de la France, et ce alors qu'a démarré, également en 2023, le projet KARST relatif au catalogue et la modélisation des aquifères karstiques en général.



**Interview de
Benoit Noetinger,
chef du projet KARST**

Le projet KARST, lancé en mai 2023 pour une durée de six ans, est financé par l'octroi d'une bourse ERC (European Research Council) Synergy attribuée par un jury international. Une reconnaissance majeure pour IFPEN et ses partenaires, à la hauteur des enjeux que représentent les aquifères karstiques à l'heure du changement climatique. KARST vise à établir un « catalogue » de systèmes de grottes pour mieux comprendre leur formation, leur structure et le comportement des fluides (eau, air, voire polluants) qui y circulent, notamment sous l'influence d'évènements climatiques extrêmes. KARST est une preuve renouvelée de la capacité du Carnot IFPEN Ressources Énergétiques à nouer des liens stratégiques avec des partenaires internationaux (IDAEA-CSIC Espagne, universités de Ljubljana et de Neuchâtel). Je suis heureux de faire partie d'un quatuor de chercheurs confirmés copilotant ce projet et d'associer mes compétences aux leurs, et à celles des équipes IFPEN concernées, constituant ainsi une force de recherche décuplée au service de la transition écologique. »

FAIT MARQUANT

La Flair Box™ prend un nouvel envol

L'année 2023 marque la consolidation du positionnement de la technologie Flair sur le segment surveillance industrielle et environnementale des gaz, avec le déploiement sur le site de stockage de gaz de Teréga dans le sud-ouest de la France de huit Flair Box™ (sept unités fixes et une unité mobile). Ces stations autonomes, installées sur site ou embarquées dans la Flair Car™ pour des mesures mobiles, permettent, grâce à leur capteur, d'analyser par spectrométrie UV une large gamme de molécules à de très faibles teneurs. En partenariat avec Tidav, start-up ayant mis au point un drone capable de résister à de fortes rafales de vent, et l'ONERA, le centre français de recherche aérospatiale, IFPEN développe, sous le nom de projet Falkor, une solution aéroportée du monitoring multi-gaz. Les sponsors de ce partenariat sont Teréga, GRTgaz et TotalEnergies.



Écoconception et recyclage des catalyseurs

En 2023, les activités sur le recyclage des métaux et de la matière constituant les catalyseurs se sont élargies à l'analyse de l'empreinte environnementale de la production des catalyseurs. Cette dernière comprend la caractérisation des émissions, et notamment les émissions d'oxyde d'azote (NO_x), la gestion et l'économie de l'eau et l'efficacité énergétique. Un projet est en cours d'instruction sur le sujet de manière à réduire l'empreinte environnementale des procédés les plus émetteurs et les plus consommateurs d'eau. Les projets autour du recyclage des catalyseurs et réinsertion de matière se poursuivent avec un élargissement aux catalyseurs usés.

Énergies renouvelables

Production d'électro-carburants

IFPEN développe la filière électro-carburants (ou *e-fuels*). Cette voie utilise du dioxyde de carbone capté sur des sites industriels ou dans l'air et de l'électricité bas carbone pour produire de l'hydrogène par électrolyse de l'eau. La combinaison de ces gaz permet par le procédé de *Reverse Water Gas Shift* (RWGS) de produire un gaz de synthèse lui-même transformé en électro-carburants par la synthèse Fischer-Tropsch. Ces carburants peuvent être utilisés seuls ou mélangés à l'essence, au kérosène et au gazole dans les moteurs actuels. En juin 2023, EDF, IFPEN et Axens ont signé un accord pour contribuer à la création de la filière française d'électro-carburants pour le transport aérien, au travers du projet Take Kair™, soutenu par Air France-KLM. IFPEN est également membre du Bureau français des *e-fuels* créé en juillet 2023. Celui-ci réunit experts, professeurs, chercheurs, universitaires, industriels, techniciens et financiers, autour du rôle des *e-fuels* dans la transition énergétique et du développement d'une filière française.



Interview de
Cédric Lewandowski,
directeur exécutif groupe
en charge de la direction
du parc nucléaire
et thermique d'EDF

Avec le projet Take Kair™, EDF, 1^{er} producteur d'électricité décarbonée au monde, notamment grâce à son parc nucléaire, confirme l'engagement pris, en particulier au travers de son plan hydrogène, d'accélérer la décarbonation profonde des secteurs les plus émetteurs de CO₂. Tout en contribuant à la décarbonation de l'industrie, il permet d'offrir un complément aux bioénergies pour la décarbonation du secteur aérien. Notre savoir-faire et notre expertise associés à ceux de nos partenaires industriels sont ainsi mis à contribution pour permettre l'émergence d'une filière française des e-carburants forte et innovante. Avec Take Kair™, nous engageons collectivement une nouvelle étape essentielle vers l'objectif de neutralité carbone. »

Accéder à l'intégralité du communiqué de presse sur www.ifpennergiesnouvelles.fr

FAIT MARQUANT

e-carburants : IFPEN, Axens et Paul Wurth s'associent pour codévelopper la technologie RWGS

La technologie RWGS est un élément essentiel de l'ensemble des technologies de transformation du CO₂ en carburants renouvelables et en intermédiaires chimiques à faible teneur en carbone. Afin d'optimiser la technologie de réaction de gaz à l'eau inverse (*Reverse Water Gas Shift*, RWGS) et son intégration dans des projets de carburants d'aviation durables, IFPEN, Axens et Paul Wurth-SMS Group ont signé en 2023 un accord de codéveloppement. « Nos recherches nous ont incités à proposer une offre intégrée, associant des technologies éprouvées, comme celles de captage de CO₂ DMX™ et de synthèse de carburant Fischer-Tropsch Gase® d'Axens, à la technologie de pointe RWGS. Cette offre profite également du codéveloppement avec l'équipement de Paul Wurth afin d'amener l'ensemble du procédé à l'échelle industrielle », souligne António Pires da Cruz, responsable de programme Décarbonation et digitalisation des procédés à IFPEN.

Mobilité durable**Métaux stratégiques**

La majorité des batteries pour véhicules électriques repose sur des matériaux actifs de cathode (CAM) composés de nickel, manganèse et cobalt (chimie dite de type NMC). Ces CAM constituent actuellement la moitié du coût des batteries automobiles de type NMC. Le recyclage des batteries automobiles constitue donc un enjeu économique et environnemental de tout premier plan.

IFPEN se positionne sur le développement des procédés de recyclage des métaux de batteries et de synthèse des CAM. Ses connaissances et savoir-faire dans le domaine des procédés de transformation de la matière, des matériaux et solvants pour les étapes de purification/séparation constituent des points forts pour proposer des solutions technologiques innovantes, économiques et respectueuses de l'environnement. 2023 a marqué le début de la feuille de route élaborée avec Axens et Eurecat ayant pour objectif le déploiement sur le sol français d'unités industrielles de recyclage des métaux de CAM des batteries lithium-ion et de la synthèse de CAM à partir de métaux recyclés.

Des outils expérimentaux et pilotes ont été mis en place. Ce projet ambitieux vise à asseoir la souveraineté française dans les secteurs des métaux critiques et de la fabrication de CAM.

Mobilité hydrogène

Les motorisations thermiques à hydrogène sont bien adaptées au transport collectif de personnes et aux poids lourds, notamment en raison de leur grande autonomie et de leur coût maîtrisé pour une solution zéro émission de CO₂ à l'utilisation.

Le Carnot IFPEN TE cherche au travers de l'optimisation du système de combustion à maximiser le rendement énergétique et à minimiser les émissions d'oxyde d'azote (NO_x).

Les systèmes de combustion avancés utilisant des carburants bas carbone liquides ou gazeux (gaz naturel, biogaz, hythane) font également l'objet de travaux pour réduire les émissions de CO₂. Enfin, dans le cadre du projet européen PHOENICE, coordonné par le Carnot IFPEN TE, qui s'est achevé en 2023, des essais concluants ont été réalisés sur un moteur thermique équipé d'une culasse Swumble™ et dédié à un véhicule hybride rechargeable hautement efficace et à très faible niveau d'émissions polluantes.

Les simulations numériques 3D des écoulements polyphasiques réactifs turbulents pour l'optimisation des systèmes de combustion sont réalisées avec le logiciel Converge™ qui a été développé depuis 2014 dans le cadre d'un partenariat avec la société Convergent Science Inc. (CSI) et renouvelé sur la période 2023-2027.

FAIT MARQUANT**Projet PLH2 : une solution économique de décarbonation pour les poids lourds**

Le projet PLH2, impulsé par l'appel à projets CORAM et coordonné par Volvo Group-Renault Trucks avec comme partenaire le Carnot IFPEN TE, a permis de démontrer en 2023, après deux ans de travaux, la possibilité d'équiper les poids lourds de moteurs thermiques à hydrogène dont le coût est comparable à celui de leurs analogues diesels. Le Carnot IFPEN TE s'est chargé de la calibration du moteur 6 cylindres de type MDE8. Les calculs 3D de combustion ont été validés par les résultats expérimentaux notamment la pression dans le cylindre, la vitesse de combustion et les transferts thermiques aux parois. De plus, l'influence sur la combustion des paramètres de réglage (phasage de l'injection, richesse...) ou géométriques (injecteur hydrogène, bougie...) a pu être précisée. Ce moteur très performant est en phase d'évaluation finale sur véhicule par les équipes de Volvo Group-Renault Trucks.



Batteries (outils de simulation, conception, matériaux)

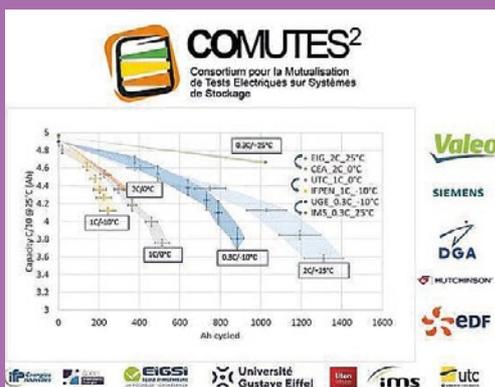
Les travaux du Carnot IFPEN TE sur les systèmes électrochimiques de stockage ou de production d'électricité (batteries et piles à combustible) se sont renforcés en 2023. Objectif : améliorer l'autonomie et le temps de recharge en énergie, ainsi que la sûreté de fonctionnement, la durabilité et l'efficacité énergétique, tout en comprimant les coûts. Dans le domaine des batteries, les enjeux concernent le vieillissement et l'emballage thermique, sur les technologies existantes à électrolyte liquide, ou futures, de type tout-solide.

De nouveaux matériaux sont à l'étude, avec une plus grande densité énergétique massique et volumique, et une sécurité et une durabilité améliorées. La simulation système est réalisée sur la plateforme Simcenter Amesim™, dont le module ESS pour les batteries est codéveloppé par le Carnot IFPEN TE et Siemens Digital Industries Software dans le cadre d'un contrat de collaboration renouvelé en 2023 pour six ans. Dans le domaine des PàC, la durée de vie est aussi un enjeu majeur. Des expérimentations et des modélisations ont permis d'affiner la compréhension des phénomènes de vieillissement. La durabilité des PàC a été améliorée grâce notamment aux progrès réalisés sur l'électronique de pilotage. Ces avancées ont été conçues dans le cadre de projets collaboratifs, comme le projet ECH2 (Électronique de Contrôle pour véhicules à Hydrogène), porté par la société Vitesco Technologies et soutenu par le CORAM, ou encore le projet HYSYSPEM du PEPR-H2, piloté par le CEA-Liten, qui vise à optimiser les systèmes de production d'électricité utilisant une pile à combustible hybridée à des stockages électrochimiques pour les applications de mobilité de forte puissance (camion, navire, train, avion).

FAIT MARQUANT

COMUTES² (COnsortium pour la Mutualisation de Tests Électriques sur Systèmes de Stockage) a démarré en mars 2023 une nouvelle campagne de tests de vieillissement de batteries pour le compte de cinq adhérents : Plastic Omnium, TotalEnergies, EDF, la DGA et ARTS Energy. Cette seconde campagne, qui concerne les batteries Li-ion LFP/C de format prismatique, poursuit l'objectif initial du consortium qui est de partager les moyens expérimentaux, les coûts et les données de test issus de six laboratoires français (IFPEN, UGE, CEA, IMS, EIGSI et UTC).

La connaissance approfondie du comportement des batteries (qui contribuent en moyenne pour 30 % au coût d'un véhicule électrique) et l'estimation de leur durée de vie permettront à la mobilité électrique de se déployer plus rapidement.



FAIT MARQUANT

En route vers les batteries du futur

Le projet européen MODALIS^{2*}, coordonné par le Carnot IFPEN TE et mené avec neuf autres partenaires, s'est achevé en 2023 par l'obtention d'excellents résultats sur la simulation des batteries Gen 3b (à base de nouveaux matériaux tels que des alliages avec du silicium pour les électrodes négatives) et Gen 4b (électrolytes solides).

Le nouveau projet HELENA^{**}, lancé en 2023 et piloté par le laboratoire espagnol CIC energiGUNE, permet de poursuivre les travaux de recherche sur cette thématique, avec le développement d'une nouvelle cellule de batterie à l'état solide à haute efficacité énergétique et densité de puissance, basée sur une cathode NMC, riche en Ni, à haute capacité, une anode Li-Metal (LiM) à haute énergie et un halogénure super-ionique Li-ion comme électrolyte solide, proposé par Saint-Gobain. Le Carnot IFPEN TE est responsable de l'activité transverse de modélisation.

Le Carnot IFPEN TE s'implique dans d'autres projets sur ces thématiques. Certains sont européens comme BATSS, qui vise à renforcer la recyclabilité des batteries grâce à une conception modulaire et à un assemblage et démontage plus facile des différents éléments ou BatCAT, dédié au développement d'un jumeau numérique pour la fabrication de batteries. Le projet SONIC, mené dans le cadre national du PEPR « Batteries » par quatre partenaires dont le Carnot IFPEN TE, a pour but de produire des matériaux d'électrodes organiques de « type p » à base de thiophènes innovants, durables et compatibles avec des électrolytes polymères à conduction anionique.

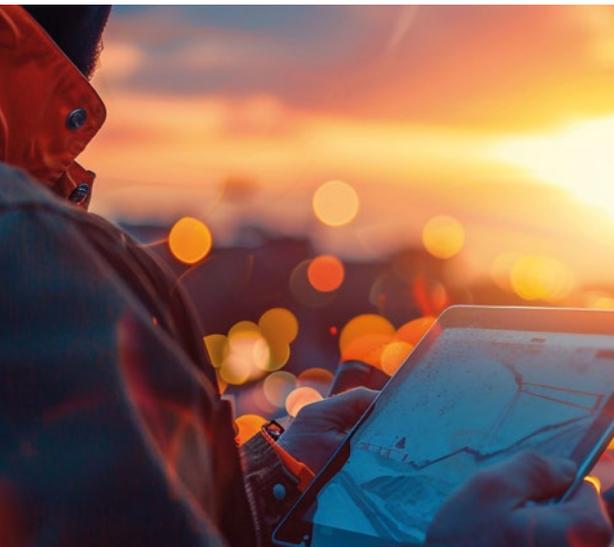
* Modelling of Advanced LI Storage Systems.
** Halide solid state batteries for Electric Vehicles and Aircrafts.

FAIT MARQUANT**INOCEL s'appuie sur le Carnot IFPEN TE pour la campagne d'essais de sa pile à combustible**

Le Carnot IFPEN TE a conclu un partenariat stratégique avec INOCEL, spécialisé dans le développement de piles à combustible de forte puissance, pour mener une campagne d'essais permettant de tester et valider son système pile à combustible INOCEL Z300. Les installations de forte puissance du Carnot IFPEN TE ont été exploitées par INOCEL pour réaliser une expertise approfondie du système dans son ensemble et optimiser les performances de sa technologie. « Cette étape est une avancée significative pour INOCEL, marquée par la première sortie du système hors de l'environnement bureau d'études. Nous sommes déterminés à relever tous les défis qui nous permettront de maximiser les performances et la fiabilité de notre pile à combustible. », témoigne Marie-Laure Michaux, directrice technique d'INOCEL.

**Digitalisation dans la mobilité**

Pour faire face aux évolutions de la réglementation environnementale dans le domaine du transport et de la mobilité, le Carnot IFPEN Transports Energie (TE) réalise des études d'impact, des analyses de cycle de vie, et développe des outils d'aide à la décision. Ainsi, une étude d'analyse de cycle de vie a été conduite en 2023 à destination de la DGEC concernant les motorisations deux-roues alimentées en bioéthanol. Par ailleurs, le comparateur interactif de l'empreinte environnementale des véhicules hybrides rechargeables (PHEV), développé de 2021 à 2022 pour le Concauwe, a été étendu en 2023 aux véhicules poids lourds. Ces études et ces outils ont été rassemblés en 2023 dans une FAQ dédiée à la décarbonation des mobilités, ergonomique et simple d'accès.

**FAIT MARQUANT****R-TAMS : un outil précis et fiable pour guider les décisions en matière de qualité de l'air et d'émissions polluantes**

L'outil R-TAMS* a été développé en 2023 par le Carnot IFPEN TE pour guider les régions en matière de qualité de l'air et d'émissions polluantes. R-TAMS peut être déployé sur n'importe quel territoire, offrant ainsi une solution adaptée au contexte local. R-TAMS fournit en temps réel et avec précision les émissions de polluants du trafic routier, à l'échappement (NOx, CO₂, PM) et hors échappement (abrasion des freins et des pneumatiques). R-TAMS mesure aussi en temps réel les niveaux sonores du trafic routier, offrant ainsi une vision globale de l'impact de la mobilité.

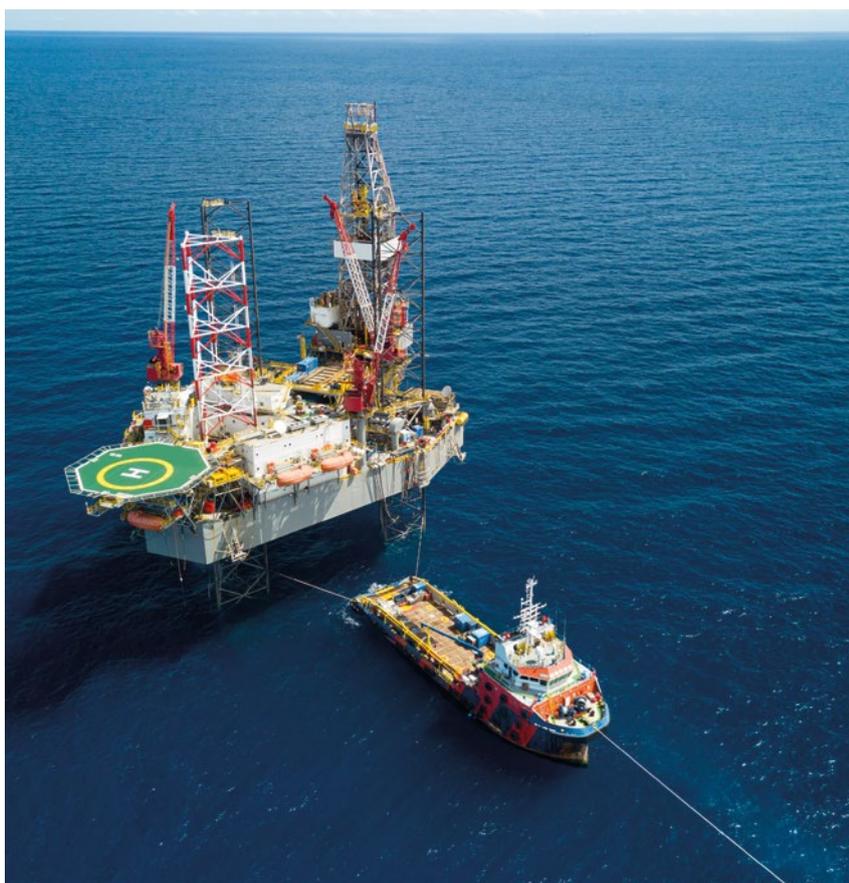
* Real Time air monitoring system.

FOCUS

ELEMENTS* est un capteur de polluants gazeux basé sur la spectrométrie UV. Cette innovation du Carnot IFPEN TE a été intégrée avec succès à l'analyseur REAL-e, qui mesure les polluants automobiles, et à la Flair Box™, outil de surveillance environnementale.

* The EmbeddabLe Emissions MEasurement System.

+ S'APPUYER SUR LES ACTIVITÉS HISTORIQUES **POUR RENFORCER LE FINANCEMENT DES NTE**



Les travaux de recherche dans le domaine des hydrocarbures responsables, héritage des activités historiques d'IFPEN, sont aujourd'hui largement minoritaires et entièrement autofinancés. En phase avec la diminution attendue de l'utilisation des énergies fossiles de 50 % en 2035 par rapport au niveau 2020, selon le scénario *Net Zero Emissions by 2050* de l'AIE, elles décroissent de manière progressive. Les activités rentables, qui concernent par exemple des procédés éco-efficaces pour la production de carburants et d'intermédiaires chimiques répondant aux normes les plus exigeantes, fonctionnent comme un mécanisme de « taxe carbone interne », contribuant ainsi à financer une partie des recherches relatives aux technologies bas carbone.

Hydrocarbures responsables

Carburants : accompagner une industrie en conversion

IFPEN accompagne la transformation et la décarbonation de l'industrie du raffinage. Les travaux visent à développer des procédés innovants et éco-efficaces de production de carburants en respectant des normes de plus en plus sévères en termes de qualité de l'air, d'émissions de CO₂, d'utilisation de l'eau, etc. IFPEN développe des procédés et des catalyseurs pour produire des carburants dédiés au transport routier, aérien ou maritime ayant une empreinte environnementale réduite, notamment via l'efficacité énergétique. Ainsi, des solutions catalytiques innovantes permettent d'augmenter la sélectivité et les rendements de manière concrète dans les domaines de l'hydrotraitement et de l'hydrocraquage de coupes lourdes comme dans le domaine de la conversion ultime. Des progrès significatifs dans la production et la purification des essences permettent également d'optimiser les cycles de consommation/production d'hydrogène.

UNE RECHERCHE FONDAMENTALE TERREAU DES FUTURES INNOVATIONS

L'expertise d'IFPEN et sa faculté d'innovation se fondent sur un programme de recherche fondamentale qui s'organise autour de neuf verrous scientifiques et qui bénéficie de fortes collaborations avec d'autres institutions. Ainsi structuré, ce programme prépare le futur en apportant les connaissances, les méthodes et les outils nécessaires au développement de nouveaux produits, procédés et services.

Organisée autour de neuf verrous scientifiques

Depuis 2016, la recherche fondamentale d'IFPEN est menée sur la base d'une structuration en neuf verrous qui englobent l'ensemble des questionnements scientifiques soumis aux chercheurs, qu'il s'agisse de comprendre des systèmes physico-chimiques ou d'évaluer l'impact sur l'environnement et sur l'économie de nouvelles technologies.

Ces verrous permettent d'organiser en grandes classes – caractérisation, modélisation, simulation, évaluation – les axes de recherche susceptibles de satisfaire les besoins de la recherche plus appliquée. Ces verrous sont eux-mêmes constitués de défis, de manière à préciser les obstacles à surmonter. Ces défis donnent enfin lieu à des projets, auxquels contribuent grandement des travaux doctoraux et postdoctoraux, tout en s'inscrivant dans une démarche générale d'ouverture, de collaboration et de partage des connaissances.



UNE RECHERCHE FONDAMENTALE VIVANTE ET DYNAMIQUE

L'environnement représente aujourd'hui une part importante des activités de recherche d'IFPEN dans le cadre de la priorité stratégique « climat, environnement et économie circulaire ». Celle-ci couvre plusieurs thématiques en fort développement comme le recyclage des plastiques, ou encore l'étude des interactions climat/sol et du cycle de l'eau.





Guidée par les stratégies nationales d'accélération de France 2030

La recherche IFPEN s'appuie largement sur les stratégies nationales d'accélération (SNA) de France 2030, qui se déclinent en programmes et équipements prioritaires de recherche (PEPR). IFPEN en pilote et copilote trois : le PEPR SPLEEN avec le CNRS, le PEPR B-BEST avec l'INRAE et le PEPR MOBIDEC avec l'Université Gustave Eiffel (voir page 8). IFPEN participe à quatre autres PEPR sur le recyclage, les batteries, l'hydrogène et les technologies avancées des systèmes énergétiques. Des PEPR exploratoires soutiennent également la recherche IFPEN, comme Sous-sol, bien commun (copilotes CNRS, BRGM), Maths-VivES (mathématiques pour le vivant, l'environnement et la société – pilote CNRS), FairCarboN (carbone et Écosystèmes continentaux – copilotes CNRS, INRAE), OneWater (eau bien commun – copilotes BRGM, CNRS, INRAE), NumPEX (numérique hautes performances pour l'Exascale – copilotes CEA, CNRS, INRIA) et DIADEME (dispositifs intégrés pour l'accélération du déploiement de matériaux émergents – copilotes CEA, CNRS). Dans ces deux catégories de PEPR (SNA et exploratoires), IFPEN participe à 36 projets : 26 sont de type SNA et 10 sont exploratoires.

S'appuyant sur des partenariats de recherche

La recherche IFPEN bénéficie de nombreuses collaborations avec des instituts de recherche et des universités en France et à l'étranger. L'esprit d'ouverture d'IFPEN se traduit notamment par des contrats de collaboration établis avec des organismes de recherche de renom comme le CEA, l'ANDRA, l'Inria, l'INRAE et le CNRS.

Un partenariat avec l'ONERA a été signé en 2023 pour répondre aux enjeux de plusieurs domaines : nouveaux carburants dont les électro-carburants, combustion du dihydrogène et risques d'altération ou corrosion des matériaux, identification et suivi des stockages de carbone à l'aide de données issues de drones ou satellites, analyse du cycle de vie dans l'aéronautique, propulsion hybride et gestion de l'énergie embarquée, éolien, calcul haute performance et données. Par ailleurs, IFPEN et l'ONERA ont rejoint la partie française du consortium franco-néerlandais Jules Verne dont le projet de supercalculateur de classe Exascale a été retenu en 2023 par EuroHPC, l'entreprise commune pour le calcul à haute performance qui coordonne en Europe les moyens de la recherche et de l'industrie. Ce consortium compte parmi ses membres français le Grand Équipement national de calcul intensif (GENCI) et le CEA, qui hébergera le supercalculateur Jules Verne fin 2025 au Très Grand Centre de calcul (TGCC).

VALORISER LES JEUNES CHERCHEURS ET LES DOCTORANTS

« Les doctorants constituent la force vive de la recherche à IFPEN » a déclaré Luc Vervisch, président du conseil scientifique d'IFPEN, en remettant le prix de thèse Yves-Chauvin 2023 à Alexandre Delarouée pour ses travaux en biotechnologie. Cette conviction explique pourquoi IFPEN accueille de jeunes chercheurs de nombreuses nationalités, en finançant ou cofinçant des thèses de doctorat, ou en proposant à des doctorants visiteurs de séjourner dans ses laboratoires. L'année 2023 a été marquée par une augmentation significative du nombre de thèses financées. Au nombre de 45 commencées en 2022, elles sont passées à 50 en 2023. Cet effort à la hausse sera poursuivi dans les années à venir, car, comme le précise Andreas Ehinger, directeur de la formation doctorale : « La formation à et par la recherche est un pilier majeur de la politique scientifique d'IFPEN. Elle prend encore plus d'importance aujourd'hui avec l'émergence de nouvelles thématiques de recherche. »

FAIT MARQUANT

Prix de thèse IFPEN-ANRT Cifre 2023 : la biologie à l'honneur

La deuxième édition du prix de thèse IFPEN-ANRT a récompensé en octobre 2023 deux candidats ex aequo, Julie Figueras pour un travail sur la biométhanation des syngas et Raphaël Billot pour ses recherches sur des enzymes bloquant l'activité de bactéries pathogènes. Ces deux thèses se sont déroulées dans le cadre de conventions Cifre, la première entre le laboratoire DEEP de l'INSA Lyon et la société Enosis, la seconde entre le laboratoire MEPHI et la société Gene&GreenTK. IFPEN et l'ANRT se sont associés pour créer ce prix dédié à la « Collaboration science industrie pour la transition écologique ». Il récompense chaque année un jeune docteur dont la thèse, effectuée dans le cadre d'une convention Cifre signée avec une PME, a contribué d'une part à diminuer l'empreinte environnementale des activités humaines et d'autre part à pérenniser la qualité des échanges entre la PME et le monde académique.

FAIT MARQUANT

MoSHy : un consortium scientifique explore une voie à moindre coût pour la production d'hydrogène

Le consortium MoSHy, financé par la région Auvergne-Rhône-Alpes, œuvre depuis cinq ans à développer un électrocatalyseur économique et performant en remplaçant le platine par le disulfure de molybdène (MoS₂). Le projet, réunissant IFPEN, le laboratoire de chimie de l'ENS Lyon et le LEPMI de Grenoble, s'est penché sur l'amélioration du MoS₂ en augmentant ses sites actifs via une technique de dopage par substitution. En 2023, le consortium a évalué 17 éléments pour le remplacement partiel du molybdène et 5 pour le soufre par modélisation moléculaire.

Bien que la plupart des dopants soient prometteurs, les calculs ont montré que beaucoup sont instables. Les résultats théoriques ont toutefois identifié des dopages efficaces, notamment avec des éléments du groupe IV (Ti, Zr, Hf) ou en remplaçant le soufre par du phosphore (P). Ces résultats ont été confirmés expérimentalement, ce qui a donné lieu à des dépôts de demandes de brevets pour les dopages les plus performants. Les travaux se poursuivent à IFPEN pour perfectionner la formulation des phases actives de MoS₂.

FOCUS

L'atelier IA et microscopie électronique, co-organisé en mai par IFPEN, Paris-Cité, le CNRS, l'ONERA et l'université de Strasbourg, a attiré 160 spécialistes qui ont pu découvrir les avancées récentes du domaine et en particulier les travaux d'IFPEN, menés dans le cadre de partenariats, sur différentes problématiques : la classification de nanoparticules, la réduction de bruit dans les images haute résolution, la segmentation de volume tomographique avec très peu de données annotées et la quantification atomique.



Interview de Marc Fleury, ingénieur de recherche IFPEN et co-organisateur des JEMP 2023

IFPEN a toujours consacré des efforts importants à la recherche sur les milieux poreux, qui jouent un rôle crucial dans divers domaines, de la chimie aux sciences de la Terre. Actuellement, un regain d'intérêt émerge en raison de leur importance pour les énergies renouvelables et la transition écologique. L'événement JEMP 2023, accueilli par IFPEN, a fait la part belle à ces nouvelles problématiques et aux avancées prometteuses pour y faire face. Parmi ces nouvelles thématiques figurent la production géothermique, le stockage en sous-sol de gaz ou d'énergie, les nouveaux polluants des sols, ou encore la production minière. En géothermie, la connaissance des propriétés de transfert des roches est cruciale, avec des problèmes d'injectivité liés aux particules nanométriques. Pour le stockage de gaz (CO₂, H₂) ou de colis nucléaires, IFPEN caractérise les propriétés barrière des roches de couverture ou de différents types de ciments et de bétons. Les études portent également sur la qualité des sols où la diffusion des polluants varie selon les pratiques agricoles. Des recherches sont aussi menées avec ORANO sur le comportement des roches sous l'action d'acides pour développer des procédés innovants d'extraction d'uranium. La résonance magnétique nucléaire est l'un des outils privilégiés pour analyser ces milieux poreux, en particulier pour les diagraphies lors de forages. Cette technique, en constante évolution depuis les années 2000, est utilisée en laboratoire et sur le terrain, offrant des avantages significatifs dans tous ces domaines d'application. »



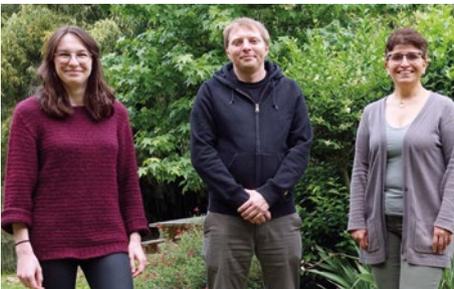
+
**UN SOCLE TRANSVERSAL
POUR LA SIMULATION
ET L'OPTIMISATION**

La recherche scientifique IFPEN réalise des simulations numériques de phénomènes physiques et recourt de plus en plus à des techniques d'optimisation et d'intelligence artificielle. Ces travaux sont facilités par la mise en commun de moyens de calcul et de plateformes logicielles, dont certaines sont développées avec d'autres acteurs de la recherche, à l'exemple des plateformes open source Arcane et Lagun, respectivement codéveloppées avec le CEA et Safran Tech.

Une collaboration avec l'université d'Erlangen a permis d'accélérer les calculs de simulation de champs d'éoliennes avec prise en compte des effets de sillages (voir *interview ci-dessous*). L'approche adoptée sur cette problématique s'applique aussi à la simulation de la dispersion de polluants dans l'atmosphère.



**Interview de
Ani Anciaux-Sedrakian,
Helen Schottenhamml
et Frédéric Blondel,
IFPEN**



De gauche à droite : Ani Anciaux-Sedrakian, Frédéric Blondel et Helen Schottenhamml.

Nous sommes fiers que le projet « Grand Challenge » CLEAN ait été retenu par le GENCI en 2023.*

Il a permis de coupler la simulation d'écoulements atmosphériques d'échelle kilométrique à la physique des sillages des éoliennes d'échelle métrique, dans le but d'optimiser la production d'énergie éolienne.

Le solveur waLBerla-wind développé en collaboration avec l'université allemande d'Erlangen (FAU) est basé sur la méthode Lattice Boltzmann et intègre les modules nécessaires de modélisation d'éoliennes.

Le cas d'étude comprenait 10 fermes éoliennes avec 670 turbines.

Leur interaction pendant une durée de 15 h 30 a été simulée avec waLBerla-wind sur le supercalculateur Adastra en maillant le domaine avec plus de deux milliards de cellules et le calcul a pris moins de neuf heures.

Ces performances ouvrent des perspectives prometteuses, comme la création de grandes bases de données pour les modèles analytiques ou data driven et la mise en place de jumeaux numériques pour le contrôle en temps réel des parcs éoliens. >>>

* Le Grand Équipement national de calcul intensif a pour mission aux niveaux national et européen, de favoriser l'usage du calcul intensif associé à l'intelligence artificielle et aux technologies quantiques au bénéfice des communautés académiques et industrielles dans le cadre de la recherche ouverte.



ILS ONT ÉTÉ RÉCOMPENSÉS EN 2023...

L'année 2023 a été particulièrement faste pour les chercheurs en catalyse, mais elle a aussi permis de distinguer des travaux remarquables en économie, en mécanique des fluides et en mobilité électrique.



Hélène Olivier-Bourbigou

a été élue à l'Académie des sciences en décembre 2023.

Ses travaux sur la valorisation des oléfines par catalyse homogène et sur le développement

de processus durables et éco-responsables ont conduit à de nombreuses applications industrielles.



Céline Pagis, ingénieure de recherche à IFPEN, a été nommée par la SCF en janvier 2023 membre distinguée junior 2022. Après des travaux originaux sur la synthèse de cristaux creux

de zéolithe Y et l'étude de l'impact de ces cristaux sur le transport et l'activité catalytique pour des réactions modèles, elle a poursuivi ses recherches sur la catalyse hétérogène et notamment sur la photoréduction du CO₂.



Antoine Fécant, ingénieur de recherche à IFPEN, est corécepteur en 2023 avec Claire Villeveille (CNRS – LEPMI de Grenoble) du prix chercheur confirmé de la division transversale

Énergie de la Société chimique de France (SCF) pour ses travaux de recherche en catalyse qui concernent aussi bien les procédés existants en chimie et raffinage que les nouveaux matériaux et procédés exploitant la biomasse et l'énergie solaire.



Céline Chizallet, ingénieure de recherche à IFPEN, a reçu le prix jeune chercheur 2023 du groupe français des zéolithes (GFZ) pour ses travaux en catalyse hétérogène, en modélisation moléculaire et en chimie quantique (calculs *ab initio*).



Teddy Roy, doctorant IFPEN (2018-2021), a reçu le prix DivCat-SCF de thèse, pour ses travaux concernant le rôle du support dans les processus physico-chimiques d'imprégnation des catalyseurs d'hydrotraitement additivés.



Kim Larmier, ingénieur de recherche à IFPEN, a reçu le prix de la jeune recherche 2023 de la ville et de la Métropole de Lyon catégorie « coup de cœur », pour ses travaux en catalyse et son engagement au service des territoires et de la nécessaire transition vers une société économe en carbone.



Emma Jagu Schippers, doctorante à IFP School de 2019 à 2022, a reçu en mars 2023 le premier prix dans la catégorie « Impact Société » des prix de thèse de la fondation CentraleSupélec IMPACT 2022, pour ses travaux sur les modèles économiques de captation du CO₂, menés au sein d'IFP School dans le cadre de la chaire *Carbon Management* (CarMa) sur les technologies à émissions négatives.



Martin Gainville, ingénieur de recherche en mécanique des fluides à IFPEN, a reçu le prix Cape-Open 2023 lors de la conférence annuelle de l'association professionnelle CO-LaN (*Cape-Open Laboratories Network*), pour ses importantes contributions au standard Cape-Open et à sa mise en œuvre.

Plusieurs jeunes chercheuses et chercheurs se sont distingués lors de conférences. Ainsi, **Candice Cottrez**, doctorante IFPEN depuis 2020, a reçu le second prix de la meilleure communication orale lors du 13^e *international symposium « Scientific bases for the preparation of heterogeneous catalysts »* pour ses travaux sur les catalyseurs d'hydrotraitement. De même, **Jérémy Creux**, doctorant en génie électrique à IFPEN, a reçu le prix du meilleur article de conférence lors du 49^e congrès international de l'*IEEE Industrial Electronics Society* (IECON 2023), pour ses travaux sur les défauts de machines électriques de traction. Par ailleurs, **Mathilde Auxois**, doctorante IFPEN en chimie depuis 2021, a reçu le prix de la meilleure communication à la journée scientifique annuelle du comité de développement du génie des procédés en Auvergne-Rhône-Alpes, pour sa présentation sur les supports catalytiques aluminiques obtenus par malaxage des pâtes de boehmite. De son côté, **Marine Dupoirion**, ingénieure de recherche IFPEN, a reçu en juin 2023 le prix du meilleur poster au salon Seanergy, dédié aux énergies renouvelables en mer, pour un travail sur la production et l'usure des parcs éoliens flottants en fonction de la position des flotteurs. Enfin, **Sébastien Montalvo**, doctorant IFPEN (2019-2023), a reçu en mai 2023 le prix du meilleur poster aux 39^{es} journées de printemps de la Société française de métallurgie et des matériaux (SF2M), pour ses travaux sur le fretting fatigue des fils de câbles acier d'ancrage d'éoliennes flottantes, en environnement corrosif.

ENCOURAGER ET SOUTENIR L'INNOVATION

Les enjeux liés à l'énergie et l'environnement deviennent de plus en plus incontournables pour les acteurs économiques. Du fait d'une culture de valorisation industrielle fortement ancrée dans son ADN, IFPEN est pleinement aligné avec les exigences d'un marché en mutation.



INDUSTRIALISER DÈS MAINTENANT LES INNOVATIONS REQUISES PAR LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

Via sa structure IFP Investissements, IFPEN prend le risque capitalistique nécessaire à la commercialisation des technologies innovantes qu'il développe seul ou en partenariat. Il a ainsi pris part, aux côtés d'autres partenaires industriels et financiers, à la création de deux sociétés de projets pour la construction et l'opération de premières unités industrielles de production

de biocarburants de 2^e génération en France, à partir de biomasse durable et sur la base des technologies BioTfueL[®] et FuturoL[®] : BioTJet, société opérée par Elyse Energy, vise à entreprendre la plus grande unité industrielle française de production de biokérosène avancé ; Nacre, société opérée par Axens, a pour objectif de fournir de l'éthanol de 2^e génération. En 2023, IFPEN a également créé GreenWITS. Cette nouvelle société porte les innovations de la recherche IFPEN dans le domaine des outils numériques pour l'éolien.

Des filiales en cours de diversification

En 2023, les filiales historiques d'IFPEN ont poursuivi la diversification de leurs activités avec le développement d'offres en phase avec la transition énergétique et écologique. Axens continue ses efforts de commercialisation de technologies dans le secteur des biocarburants avancés, notamment pour le transport aérien, en participant à la création de la société BioTJet et en participant à la création et opérant la société Nacre. Axens est également actif dans le domaine des e-carburants avec le projet Take Kair[™] mené en partenariat avec EDF, Holcim et IFPEN et soutenu par Air France-KLM. La filiale s'est par ailleurs fermement positionnée sur le marché du recyclage des plastiques aux côtés d'IFPEN et JEPLAN, avec la construction et la mise en service d'une unité industrielle de démonstration du procédé innovant de recyclage chimique Rewind[®] PET à Kitakyūshū au Japon. IFP Training a pour sa part poursuivi les actions engagées pour élargir son offre dans les nouveaux domaines. Résultat de ce travail, la mise au point de plusieurs nouvelles offres dont une formation certifiante longue sur les batteries lancée en octobre 2023. Beicip-Franlab, enfin, a appliqué ses compétences en géosciences au domaine du stockage souterrain du CO₂ et à la géothermie profonde.



**Interview de
Pauline Bozonnet,
responsable technique
conception de ferme
à GreenWITS**

J'ai occupé plusieurs postes au sein d'IFPEN dont celui de cheffe de projet en éolien. Je suis heureuse d'être à la fois actrice et témoin de l'histoire qui, des recherches en laboratoire à la réalité des besoins du monde industriel, a mené à la création de GreenWITS en mai 2023. La filiale, fruit de 15 ans de R&I et de solutions imaginées et développées avec mes coéquipiers et coéquipières du Carnot IFPEN Ressources Energétiques, constitue non seulement une voie pour valoriser notre savoir-faire, mais aussi l'opportunité pour toute l'équipe de découvrir un autre type de structure, une petite entreprise d'une dizaine de personnes. Une évolution très motivante, qui porte avec elle le sentiment de faire partie d'une nouvelle aventure ! Cette expérience sera très enrichissante pour nous, nos partenaires et nos futurs clients, et ouvre la voie à des solutions encore plus en phase avec la demande et les nouveaux défis de la transition énergétique. >>>



SOUTENIR LES JEUNES ENTREPRISES INNOVANTES

IFPEN conduit depuis plus de trente-cinq ans une politique active de soutien aux PME et start-up qui portent des projets d'innovation en phase avec la triple transition écologique, énergétique et numérique. Pour identifier les opportunités de collaboration, IFPEN s'appuie sur un réseau étendu de partenaires – accélérateurs, pôles de compétitivité, réseaux de soutien à l'innovation. Via son équipe de chargés d'*Open Innovation* qui intervient sur tout le territoire national, IFPEN propose – dans le cadre de partenariats dits *Boost&Link* ou *Proof of Concept* (POC) – aux PME portant des projets d'innovation précis, de mettre à disposition les compétences scientifiques, marketing et en matière de propriété intellectuelle des experts IFPEN ainsi que des moyens techniques.

Un coup de pouce très apprécié des entreprises accompagnées qui peuvent ainsi avancer ou finaliser le développement d'une offre ou encore améliorer leur outil de production. La politique de soutien à l'innovation d'IFPEN se traduit également par sa politique d'essaimage, qui vise à soutenir les chercheurs qui souhaitent se lancer dans l'aventure entrepreneuriale. IFPEN leur permet de travailler sur leur projet, voire contribue à la constitution du capital de la société. Enfin, cette politique passe par une participation à des fonds d'investissement spécialisés dans les éco-industries, les éco-énergies ou encore la mobilité ou la ville durable qui investissent dans de jeunes entreprises.



DES PARTENARIATS MULTIFORMES AU PLUS PRÈS DES BESOINS DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET ÉNERGÉTIQUE

L'année 2023 a été rythmée par l'aide au développement de l'innovation de nombreuses entreprises. Elle a pris plusieurs formes, du support technique à l'élaboration d'une preuve de concept (POC) à des dépôts de demande de brevets. Certaines collaborations ont même ouvert la voie à des partenariats stratégiques de plus long terme.

Pour Lubsens, qui porte une technologie de surveillance connectée des lubrifiants en temps réel, IFPEN a testé, dans le cadre d'un POC financé intégralement, la capacité de son capteur de fluorescence X μ MoFF à suivre l'oxydation des huiles industrielles de la start-up.

IFPEN a également accompagné Dracula Technologies et Funcell dans le cadre d'un partenariat *Boost&Link* : la première sur son processus de traitement des données pour la fabrication de cellules photovoltaïques organiques (OPV), alternative bas carbone aux piles boutons ne nécessitant pas de métaux rares ; la seconde pour le développement d'un procédé continu de fabrication de nouveaux additifs verts à destination de l'industrie papetière, le choix des équipements, le suivi de l'installation d'une unité pilote de démonstration, et finalement le dépôt d'une demande de brevet commun.

Les partenariats *Boost&Link* engagés avec d'autres sociétés – Save Innovations, YpHen, Ylec – ont été particulièrement fructueux, et pourraient se poursuivre à travers de nouvelles collaborations. YpHen a sollicité IFPEN pour l'aider à caractériser et valider les performances de biodégradation des micro-organismes et additifs utilisés dans ses solutions de dépollution et de valorisation des matériaux terreux souillés. YLEC Consultants avait besoin de certifier TURBYLEC, un dispositif de déshuilage compact et à hautes performances, pour commercialiser sa solution. Save Innovations, enfin, a bénéficié de solutions techniques permettant d'espacer les opérations de maintenance de sa solution autonome en énergie Smart Picogen qui permet d'identifier les fuites dans les réseaux d'eau et de réaliser un diagnostic en temps réel de la qualité physico-chimique de l'eau dans les canalisations.



**Interview de
Isabelle Harter,
responsable Open
Innovation à IFPEN**

À l'origine de tous nos partenariats : un échange avec le ou la responsable Open Innovation régional(e) pour identifier correctement le besoin spécifique de R&I de l'entreprise et s'assurer qu'IFPEN dispose bien, parmi ses 50 métiers, 1 550 collaborateurs et 40 laboratoires, des compétences internes pour répondre à ce besoin. Une fois le besoin clarifié, le partenariat entre dans une phase d'instruction : nous étudions l'entreprise, son produit, sa vision marché, son modèle d'affaires et échangeons avec les équipes techniques pour définir le programme de R&I, les livrables et l'enveloppe budgétaire. Au cours du comité d'engagement qui conclut l'instruction, nous analysons les risques du projet et proposons une convention de collaboration directement lisible et compréhensible par le partenaire. La rémunération d'IFPEN, fixée sur la base de l'analyse de risque, est conditionnée à un certain pourcentage du chiffre d'affaires et plafonnée à la hauteur d'un multiple des dépenses R&I engagées. Une clause très avantageuse, dans la mesure où le risque est partagé, et où la start-up peut préserver sa trésorerie tout en restant libre d'exploiter ses résultats. Quand les travaux de R&I donnent lieu à une opportunité de dépôt de brevet, IFPEN propose de diriger l'opération. Son savoir-faire dans le domaine – nous déposons 150 brevets par an – est généralement très apprécié. Cela étant dit, le cadre de ce partenariat est flexible, son but étant avant tout de s'adapter au mieux aux besoins de l'entreprise. >>>

FAIT MARQUANT

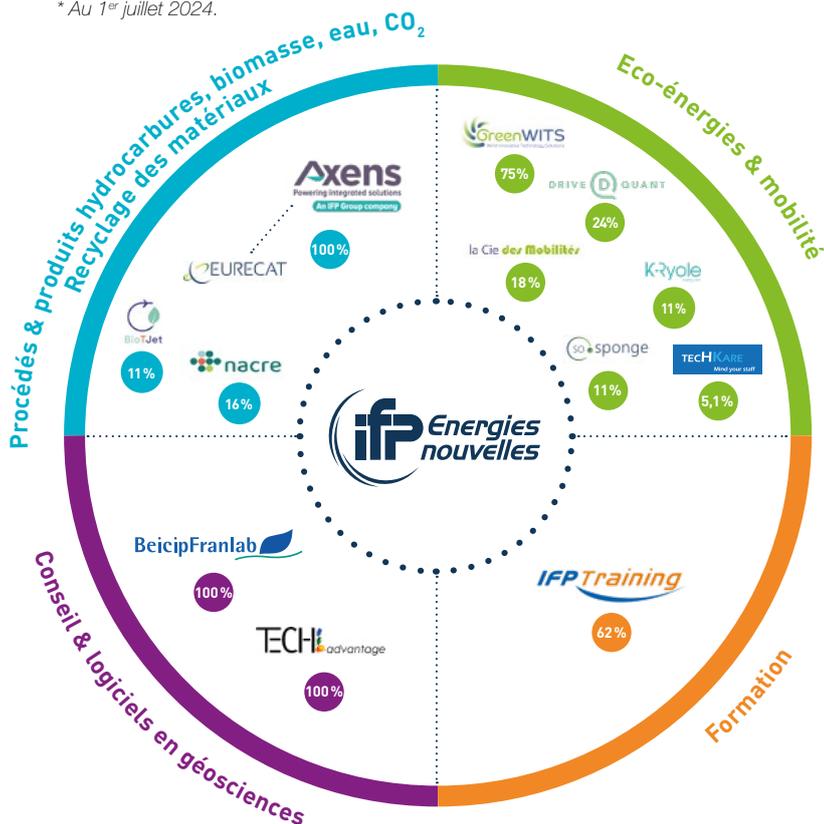
**So Sponge : de l'essai-
mage à la prise de participation**



IFPEN, via IFP Investissements, est entré au capital de So Sponge : cofondée en janvier 2023, la jeune entreprise développe des alternatives sobres aux solutions énergivores et carbonées de régulation de l'humidité basées sur l'utilisation de solides mésoporeux. Lancée par une ingénieure de recherche IFPEN et cheffe de projet détachée au sein de l'incubateur Pulsalys ainsi que par une enseignante-chercheuse rattachée au Laboratoire d'automatique, de génie des procédés et de génie pharmaceutique (université Lyon 1-CNRS), So Sponge bénéficie de la politique d'essai-
mage IFPEN et pourrait faire l'objet d'un partenariat Boost&Link.

**PORTEFEUILLE DES PARTICIPATIONS
INDUSTRIELLES***

* Au 1^{er} juillet 2024.



**COMPTES
CONSOLIDÉS
DU GROUPE IFPEN**

AU 31 DÉCEMBRE 2023

1 173,7 M€
Chiffre d'affaires

31,6 M€
Résultat d'exploitation

14,9 M€
Résultat net part du groupe

LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE AU CŒUR DE LA FORMATION ET DE LA RECHERCHE D'IFP SCHOOL

IFP School, école de spécialisation et organisme de formation par apprentissage, prépare de nouvelles générations d'ingénieurs à devenir pilotes des évolutions des secteurs de l'énergie et de la mobilité pour construire un monde décarboné. Son offre de formation, basée sur une pédagogie innovante, conjuguée à des activités de recherche, à un solide réseau de partenaires académiques et industriels, et à une démarche RSE engagée, permet à l'École de répondre aux attentes sociétales et aux besoins de l'industrie.



UNE OFFRE ADAPTÉE À L'ÉVOLUTION DE L'INDUSTRIE ET DE LA SOCIÉTÉ

À l'interface des mondes académique et industriel, la mission d'IFP School est d'apporter à de jeunes ingénieurs les compétences et savoir-faire nécessaires à la transformation des systèmes de production, de distribution et de consommation d'énergie dans une démarche responsable et durable. L'offre de formation comprend aujourd'hui 18 programmes de niveau master à Bac +6, dont 10 anglophones. Plus d'un tiers des diplômés des dernières promotions issus des cursus dans les quatre domaines couverts – Motorisations et mobilité durable, Économie et management de l'énergie, Procédés pour l'énergie et la chimie, Géoressources et énergie – exercent aujourd'hui leur activité au sein de sociétés entièrement tournées vers les NTE. Cette évolution reflète le choix de l'École d'intégrer, depuis plusieurs années, des enseignements dédiés à ces nouvelles technologies. À titre d'exemple : l'ouverture en septembre 2023, dans le cadre d'un partenariat avec l'université de Strasbourg, du master « *Geosciences for the Energy System Transition* » formant à l'exploitation des géoressources pour un avenir décarboné ; ou encore la labellisation, en fin d'année dernière, d'un programme de Mastère Spécialisé® sur l'hydrogène qui ouvrira en septembre 2024. D'autres programmes dédiés aux NTE sont également en cours d'élaboration afin d'accompagner l'évolution de l'industrie et de la société. ●●●



Interview de
Pascal Longuemare,
directeur d'IFP School

Depuis sa création en 1954, l'École n'a cessé de se réinventer. Au cours de ces dernières années, une évolution profonde de nos programmes a été menée pour nous positionner sur la transition énergétique et la mobilité durable en nous appuyant sur l'environnement scientifique d'IFPEN et notre lien solide avec l'industrie. Cette évolution se poursuit pour intégrer les enjeux de la transition environnementale.

Les équipes sont déjà très investies sur la création de nouveaux programmes portant sur l'hydrogène, l'éolien offshore, l'électricité et le digital ainsi que sur le management du carbone. Un autre défi concerne l'intégration de la science des données et de l'IA dans nos programmes puisque leur développement va impacter fortement les métiers de demain! »



Laëtitia Salessy



Marie-Hélène Klopffer



Interview de

Laëtitia Salessy,
directrice du centre
**Procédés pour l'énergie
et la chimie et
coordinatrice hydrogène
à IFP School, et
Marie-Hélène Klopffer,**
chef de projet R&I
à IFPEN et responsable
du déploiement du
programme de Mastère
Spécialisé® Hydrogen
Project and Engineering

La première promotion fera sa rentrée en septembre. Pourquoi un Mastère Spécialisé® entièrement dédié à l'hydrogène décarboné ?

L. S. : En France comme en Europe, l'hydrogène est un marché en plein développement et génère de fortes attentes sociétales et de l'industrie. En tant qu'école de l'innovation énergétique et de la mobilité durable, l'un de nos objectifs est de contribuer à la construction de cette filière stratégique en formant la prochaine génération de spécialistes dans le domaine de l'hydrogène bas carbone. Ce programme est donc une étape importante de notre feuille de route.

M.-H. K. : Aujourd'hui, l'hydrogène est, en effet, une des clés pour répondre aux défis de la transition énergétique. De nombreux pays affichent des ambitions fortes pour développer une filière de production et d'utilisation d'hydrogène décarboné, dont la France. Plus de 100 000 emplois directs sont attendus d'ici 2030 et des besoins métiers émergent. Du côté de la R&I, les projets de recherche se multiplient. À IFPEN, nous menons depuis longtemps des travaux pour développer des technologies économiquement soutenables pour insérer l'hydrogène dans le mix énergétique.

Quelles sont les spécificités de cette formation ?

L. S. : Jusqu'à présent nos programmes avaient une coloration hydrogène avec un module dédié. Cette nouvelle formation, dispensée en anglais, est 100 % hydrogène et couvre l'ensemble de la chaîne de valeur. Notre objectif est en effet de former des chefs de projets qui auront une connaissance à la fois des aspects techniques, économiques, financiers et environnementaux spécifiques à l'hydrogène. Nos échanges avec les acteurs de l'écosystème, notamment au sein de France Hydrogène, ont permis d'identifier les compétences clés nécessaires aux entreprises.

M.-H. K. : Nous sommes parmi les pionniers. Ce diplôme, d'un niveau Bac +6, labellisé par la Conférence des grandes écoles (CGE), sera l'une des premières formations de ce type en France. Les élèves bénéficieront de l'expertise du Groupe IFPEN, avec les enseignants de l'École et des intervenants d'IFPEN, d'IFP Training, d'Axens et de celle de notre large réseau d'entreprises partenaires. À l'issue de la formation, les futurs diplômés maîtriseront toutes les briques de la chaîne de valeur hydrogène; un profil très recherché tant par les start-up que par les grands groupes ou les centres de R&I. >>>

●●● Si le positionnement d'IFP School favorise son attractivité, les labels qui lui ont été décernés en 2023 concourent également à renforcer celle-ci. Outre le label Qualiopi qui certifie la qualité des prestations de formation, l'École figure dans le top 5 du palmarès HappyIndex®AtSchool des écoles d'ingénieurs ayant le mieux accompagné les élèves dans leur scolarité en termes de pédagogie, de qualité de vie sur le campus, d'insertion professionnelle mais aussi de prise en compte des préoccupations sociétales et environnementales.

La RSE est en effet au cœur de la stratégie de développement d'IFP School, avec la mise en place des initiatives pour un campus durable parmi lesquelles une démarche de réduction de l'empreinte carbone, avec une attention particulière sur les déplacements en avion des intervenants, et des élèves lors des stages terrains. En outre, un dossier visant à l'obtention du label DD&RS (Développement durable et responsabilité sociétale) des établissements d'enseignement supérieur sera déposé en 2024.

Par ailleurs, élèves et doctorants se sont à nouveau illustrés en 2023 : deuxième et troisième prix du meilleur poster étudiant organisé par la Société des ingénieurs de l'automobile (SIA) lors du congrès *Powertrain* ; troisième lors de la finale du *Laurie Dake Challenge* de l'*European Association of Geoscientists and Engineers* et deuxième du concours *Minus CO₂ Challenge*, également organisé par l'EAGE ; une doctorante de la chaire CarMa (2019-2022) a reçu le premier prix dans la catégorie « Impact Société » des prix de thèse de la fondation CentraleSupélec IMPACT 2022 pour ses travaux sur la décarbonation.

Le corps professoral d'IFP School a également été distingué. Six lauréats ont reçu les insignes de chevalier des Palmes académiques.



UNE PÉDAGOGIE INNOVANTE ET AGILE

Innovation et agilité sont au cœur de la pédagogie d'IFP School. Les enseignements sont adaptés en continu afin que les élèves soient immédiatement opérationnels. L'accent est mis sur la résolution de problématiques concrètes avec des méthodes favorisant l'apprentissage par l'expérimentation : *serious games*, *design thinking*, réalités immersives – qui permettent l'acquisition des gestes métier et l'appropriation du futur environnement de travail – vont de pair avec travaux pratiques sur des données réelles de l'industrie et stages terrain. L'école s'appuie notamment sur le Lab e.nov™, son laboratoire des cultures digitales qui accompagne les initiatives en matière de pédagogie et d'innovation.

Parmi les réalisations 2023 : des modules de réalité virtuelle sur le pack batterie et sur le moteur thermique ; organisation d'un hackathon « Prototypage et impression 3D » ; les Mooc *Energy transition* et *Hydrogen for mobility*. Fruit de la conjugaison des expertises pédagogiques, techniques et scientifiques des enseignants et du Lab e.nov™, adossées à celles d'IFP Training et d'IFPEN, ces deux modules ont proposé une plongée au cœur de la transition énergétique et des technologies hydrogène : le premier visant à comprendre les enjeux de la transition énergétique et explorer les innovations du secteur pour un mix énergétique décarboné, le second à découvrir les technologies hydrogène appliquées à la mobilité lourde. Début 2024, la troisième édition de cette formation en ligne a été lancée avec succès et un nouveau Mooc intitulé *Hydrogen production*, portant sur le basculement de la production d'hydrogène haut carbone vers celle d'hydrogène bas carbone, a démarré. Le Lab e.nov™ a également mis son expertise au service de projets du Groupe IFPEN et de partenaires extérieurs avec des visites virtuelles de laboratoires. De plus, une antenne a été ouverte sur le site d'IFPEN-Lyon pour accompagner les projets de créativité, de production digitale ou de réalité virtuelle des équipes.



+ **ACTIVITÉS DE RECHERCHE
ET PARTENARIATS :
LEVIERS DE DÉVELOPPEMENT
ET DE RAYONNEMENT**

La participation d'IFP School à des réseaux scientifiques et techniques, ainsi que ses activités de recherche contribuent fortement à son attractivité. Une grande partie de ces activités sont effectuées dans le cadre des quatre chaires portées par l'École : *Electricity and digital transition* (EDT), *Electric, connected and autonomous vehicles for smart mobility* (ECAV), *Electrolyte thermodynamics* (EleTher) et *Carbon management and negative CO₂ Emissions Technologies Towards a Low Carbon Future* (CarMa).

L'autre partie relève de contrats de recherche partenariale avec des acteurs industriels et des acteurs de recherche ou de soutiens publics en France et à l'étranger.

Les résultats des travaux, qui concourent à anticiper les mutations profondes des secteurs de l'énergie et de la mobilité, contribuent en outre à l'évolution des cursus en alimentant les enseignements.

Par ailleurs, les nombreuses opérations d'essaiage et la pérennisation de coopérations académiques ont renforcé le rayonnement d'IFP School à l'international. Parmi celles-ci : la 20^e édition du master *Petroleum Engineering and Project Development*, au Nigeria

+ **FOCUS**

Une première évaluation scientifique des activités d'IFP School a été réalisée en 2023 par le conseil scientifique d'IFPEN. Portant sur la période 2018-2022, elle a mis en avant la pertinence des thématiques liées à la transition bas carbone, la qualité des travaux de recherche, ainsi que leur articulation avec la politique scientifique d'IFPEN. Le Conseil a souligné le nombre élevé de HDR (8 sur 32 enseignants) ainsi que l'important taux de publication des enseignants de l'École.

ou la signature – avec IFP Training et la faculté d'ingénierie de l'université Agostinho Neto (Angola) – d'une convention académique visant à lancer un programme de 3^e cycle en ingénierie pétrolière. Ce partenariat va ouvrir la voie à une collaboration plus large autour des énergies renouvelables et de la transition énergétique en Angola. L'École peut également s'appuyer sur un réseau dynamique de 16 000 alumni qui participent, par exemple, aux webinaires IFP School Voices qui traitent de sujets d'actualité des secteurs de l'énergie et des motorisations à l'instar de la chimie biosourcée, des SAF, de la mobilité électrique, des stratégies de décarbonation, du stockage du CO₂, etc.



CONSEIL DE PERFECTIONNEMENT

au 1^{er} décembre 2023

PERSONNALITÉS DE L'INDUSTRIE

Hélène Beuchot

Perenco, directrice des Ressources humaines

Emmanuelle Brechet

TotalEnergies, Data Technologies
Vice President

Magali Castano

Technip Energies, Senior Vice President
People & Culture

Bruno Covin

Renault, directeur de la Stratégie
et de l'ingénierie avancée GMP & EV
de l'alliance Renault Nissan

Philippe Franza

ExxonMobil, Directeur des Ressources
humaines

Stéphane Martinot

Valeo Powertrain Systems,
directeur Marketing Produit

Olivier Peyret

Schlumberger France,
Président directeur général

Sandra Roche-Vu Quang

Elengy, Directrice générale

Éric Zielinski

Saipem SA, Plant Engineering Manager

ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR OU RECHERCHE

Anthony Briant

ENPC, directeur

Elisabeth Crépon

ENSTA Paris, directrice

Mohamed Gabsi

ENS Paris-Saclay, professeur
des universités de classe exceptionnelle

Christian Lermaniaux

ENSCP, directeur

ANCIENS ÉLÈVES

Alain Delage

Stellantis, ingénieur en chef avant-projet
Chaînes de tractions électrifiées 2026+

Christian Dupraz

Consultant pour Axens

Marie Godard-Pithon

Vicat, directrice Performances
et Investissements

Gloria Vendrell Barbera

TotalEnergies, Business Unit Hydrogen
Deputy VP & Asset Director

Assistent en outre au Conseil de perfectionnement des représentants élus du personnel d'IFP School et des élèves.



POUR SUIVRE L'ACTUALITÉ D'IFPEN AU QUOTIDIEN

Rendez-vous sur le site
www.ifpenouvelles.fr



Et abonnez-vous
à sa page **LinkedIn**



IFP Energies nouvelles

1 et 4, avenue de Bois-Préau
92852 Rueil-Malmaison Cedex
Tél. : +33 1 47 52 60 00

IFP Energies nouvelles Lyon

Rond-point de l'échangeur de Solaize
BP 3 – 69360 Solaize
Tél. : +33 4 37 70 20 00

www.ifpenergiesnouvelles.fr



• **Rédaction** : IFPEN • **Conception-réalisation** : **WAT** - wearetogether.fr – 2405_05555
• **Impression** : papier issu de forêts gérées durablement • **Crédits photo et illustrations** : Adobe Stock; Adrien Fouliard; Getty images/grThirteen; IFPEN; IFP School; Laurent Wargon - Objectif Images; Patrick Messina; Sabine Serrad - Objectif Images; Alys Thomas.
Droits de reproduction, textes et illustrations réservés. ISSN 2426-2390.



RÉPONDRE AUJOURD'HUI AUX ENJEUX DE DEMAIN

+ Chercher, innover et transmettre constituent les fondements d'un monde qui progresse et s'améliore. Des piliers grâce auxquels IFPEN est devenu expert de l'énergie, de la mobilité et de l'environnement et ouvre désormais la route vers une ère décarbonée et durable. Visionnaire et agile, IFPEN est à l'œuvre pour demain avec l'ambition de fournir des solutions technologiques démontrées à l'échelle industrielle, répondant aux besoins de la société et économiquement viables. Technologies, logiciels, équipements ou services, nos innovations bas-carbone posent les jalons de la transition et facilitent l'émergence de filières industrielles d'avenir. IFPEN imagine avec audace et conçoit avec rigueur les solutions pour la société de demain.

WWW.IFPENERGIESNOUVELLES.FR

+