



+
INNOVER
LES ÉNERGIES

L'ESSENTIEL

2021



LE MESSAGE DE PIERRE-FRANCK CHEVET PRÉSIDENT D'IFPEN



+

2021 : COLLABORATION ET DIGITALISATION

En 2021, les équipes d'IFPEN ont su faire face à la double crise économique et sanitaire – alors que la Covid-19 nous imposait son tempo pour la deuxième année consécutive – et mener de front recherche fondamentale et recherche appliquée au service de la transition écologique.

2021 a également été une année d'ouverture et de coopération au sein de l'écosystème de la recherche. Je suis fier que nous ayons été retenus comme copilotes pour trois programmes et équipements prioritaires de recherche (PEPR), liés à la décarbonation de l'industrie, aux produits biosourcés et biocarburants, et à la digitalisation des mobilités. 

+

IFP Energies nouvelles (IFPEN) est un acteur majeur de la recherche et de la formation dans les domaines de l'énergie, du transport 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, articulée autour de quatre orientations stratégiques : climat, environnement et économie circulaire - énergies renouvelables - mobilité durable - hydrocarbures responsables.

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 transition écologique. Partie intégrante d'IFPEN, IFP School, son école d'ingénieurs, prépare les générations futures à relever ces défis.

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.

IFPEN contribue ainsi à la création de valeur en soutenant l'activité économique française et européenne et la compétitivité des filières industrielles liées aux secteurs de la mobilité, de l'énergie et des éco-industries.

NOTRE MISSION

CONTEXTE

LE CHANGEMENT CLIMATIQUE
ET LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE

+ ENJEUX



**FAVORISER UNE MOBILITÉ
DURABLE**



**DIVERSIFIER LE MIX
ÉNERGÉTIQUE**



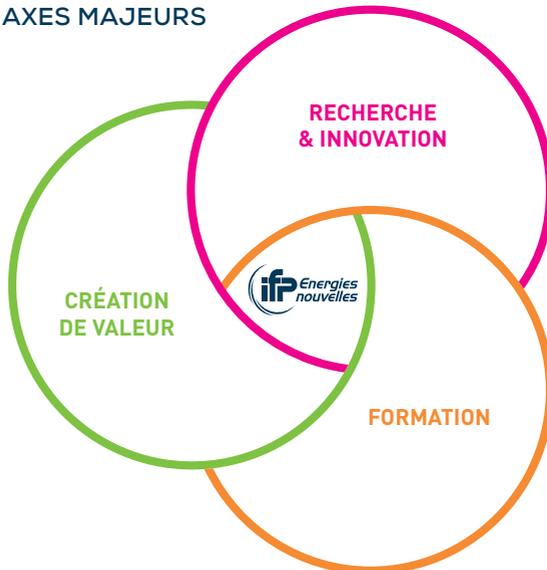
**GAGNER EN EFFICACITÉ
ÉNERGÉTIQUE**



**RÉDUIRE L'IMPACT
ENVIRONNEMENTAL
DES RESSOURCES FOSSILES**



+ 3 AXES MAJEURS



CHIFFRES CLÉS



1 549

Effectif permanent équivalent
temps plein pour l'année 2021

dont



1 095

chercheurs et techniciens
de R&I



30

alternants (ETPT)

près de

150

doctorants, post-doctorants et
stagiaires (ETPT)



262,1 M€

dont 228 M€ pour la R&I
Charges opérationnelles

68 %

du budget
consacré aux NTE

2

instituts Carnot :
le Carnot IFPEN Transports
Energie et le Carnot IFPEN
Ressources Energétiques



CERTIFIÉ

ISO 9001

pour ses activités de R&I

149



premiers dépôts
de brevets, dont

93

dans le domaine des NTE

Plus de

500



élèves diplômés
par IFP School

Nombre de contrats avec
les start-up et les PME
multiplié par

2,5

DÉVELOPPER AUJOURD'HUI LES INNOVATIONS DE DEMAIN



CLIMAT, ENVIRONNEMENT ET ÉCONOMIE CIRCULAIRE

Face à l'enjeu climatique et aux impacts négatifs des activités humaines sur l'environnement et la disponibilité des ressources, IFPEN renforce son action à travers une stratégie ambitieuse qui vise trois objectifs principaux : la décarbonation de l'industrie et la conversion du CO₂, le recyclage des plastiques et des métaux provenant de catalyseurs et de batteries, l'amélioration de la qualité de l'air et de la résilience des sols.



ÉNERGIES RENOUVELABLES

Pour répondre à la demande en énergies renouvelables, IFPEN développe des procédés pour produire des bioproduits et des biocarburants de seconde génération. IFPEN élabore aussi des outils destinés au développement des énergies marines et notamment des éoliennes flottantes. Enfin, pour accompagner l'essor des énergies non pilotables et l'électrification croissante de l'économie, IFPEN améliore les technologies de stockage et de gestion de l'énergie.

+ MOBILITÉ DURABLE

Pour répondre aux défis de l'efficacité énergétique des transports, améliorer la performance environnementale des motorisations et diversifier les sources d'énergie vers une mobilité propre et décarbonée, de plus en plus connectée, le Carnot IFPEN Transports Energie articule ses travaux en trois axes au service des entreprises, des collectivités et des citoyens : la mobilité électrifiée, la mobilité connectée et la mobilité à faible impact environnemental.



+ HYDROCARBURES RESPONSABLES

Face à la nécessité de gagner en efficacité énergétique, de réduire les émissions de CO₂ et les nuisances de l'industrie et des transports, tout en répondant à la demande mondiale en mobilité, en énergie et en produits pour la chimie, IFPEN œuvre pour produire des carburants et des intermédiaires chimiques dans le respect des normes actuelles. Dans le même temps, il met au point des technologies permettant de réduire les risques liés à l'exploration et l'exploitation des hydrocarbures.



UNE RECHERCHE FONDAMENTALE AU SERVICE DE L'INNOVATION

Afin de garantir la qualité scientifique de ses travaux de recherche et de soutenir ses ambitions d'innovation, IFPEN s'appuie sur un programme de recherche fondamentale collaboratif et structuré autour de neuf verrous scientifiques. Cette approche, vivante et dynamique, a désormais prouvé son efficacité. Pour anticiper les besoins d'innovation à long terme et pour préparer le développement de nouveaux produits et procédés, IFPEN oriente en permanence ses questionnements scientifiques de façon à acquérir de nouvelles connaissances.

ENCOURAGER ET SOUTENIR L'INNOVATION



IFPEN contribue au développement des filières industrielles vertes et de la mobilité durable en accélérant la détection d'opportunités dans les NTE. Pour ce faire, IFPEN est engagé dans une large diversification de ses partenariats industriels et du développement de ses filiales et soutient la compétitivité des PME et start-up innovantes, contribuant ainsi à favoriser la création d'emplois et de richesse dans les territoires. En appui, IFPEN encourage en interne l'expression d'une véritable culture de l'innovation.



L'INNOVATION OBJET DE CHALLENGES INTERNES

La stratégie de diversification dans les NTE au service de l'innovation se traduit dans le fonctionnement d'IFPEN. Ainsi, un challenge destiné aux salariés, aux étudiants d'IFP School et aux collaborateurs des filiales du groupe IFPEN est régulièrement organisé afin de stimuler la culture d'innovation de l'entreprise. En complément, une démarche dite de « créativité blanche » est centrée sur le développement de nouvelles compétences, méthodologies et outils expérimentaux ou numériques. Par ailleurs, à travers un dispositif d'essaiage, IFPEN accompagne ses salariés souhaitant créer des entreprises.



ACCOMPAGNEMENT DES START-UP ET DES PME : UNE ANNÉE REMARQUABLE

IFPEN conduit depuis près de 30 ans une politique active de soutien aux PME et start-up qui portent des projets d'innovation ayant un impact positif sur l'environnement.

En 2021, le développement des moyens de prospection digitale a contribué à faire connaître plus largement l'offre d'accompagnement d'IFPEN, ce qui a permis de voir le nombre de contrats de partenariat signés avec de jeunes entreprises plus que doubler par rapport aux années précédentes. Illustration de cette montée en puissance, IFPEN a signé une convention partenariale avec Bpifrance, afin de soutenir la création et le développement de start-up technologiques.



DES PARTENARIATS CIBLÉS POUR DÉTECTER LES OPPORTUNITÉS

Pour identifier les opportunités de collaborations avec des PME ou jeunes entreprises innovantes et améliorer la veille sur de nouveaux domaines, IFPEN peut compter sur un riche réseau de partenaires : incubateurs ciblés, réseaux de soutien à l'innovation ou encore réseau des Carnot.

FORMER LES TALENTS POUR LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE



Pour répondre aux défis énergétiques et écologiques du XXI^e siècle, IFP School forme des talents immédiatement opérationnels dans les domaines de l'énergie et de la mobilité durable. À travers une offre de formation basée sur un modèle pédagogique résolument innovant et un important réseau partenarial composé d'acteurs académiques et industriels en France et à l'international, l'École apporte des réponses aux attentes sociétales et aux besoins de l'industrie.



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

IFP School, école d'application, est reconnue pour son offre de formation d'excellence dans les domaines de l'énergie et de la mobilité durable, notamment via l'apprentissage depuis 1996. En septembre 2021, elle a intégré son propre centre de formation d'apprentis (CFA) et forme des talents pour accompagner la transition écologique et répondre aux besoins de l'industrie et de la société. L'offre de formation basée sur le *learning by doing* est adaptée de façon continue aux grands enjeux énergétiques et couvre quatre domaines : Motorisations et mobilité durable, Économie et management de l'énergie, Procédés pour l'énergie et la chimie, Géoressources et énergie.



UNE PÉDAGOGIE QUI SE RÉINVENTE EN CONTINU

IFP School est à la pointe de l'innovation pédagogique. Elle propose un modèle agile, adapté aux nouveaux usages du numérique, qui évolue en lien avec les attentes des nouvelles générations d'étudiants et des industriels. L'introduction des *soft skills* dans les programmes contribue en outre au savoir-être des élèves, préparés à la diversité du monde du travail. L'année 2020 avait été marquée par l'accélération de la digitalisation des programmes. L'année 2021 a confirmé cette transformation avec, par exemple, le succès réitéré des *Mooc* sur la mobilité de demain et sur la transition énergétique. Ce dernier a été décliné sous forme d'un module contenant une sélection de vidéos, jeux et webinaires, accessibles gratuitement. Cette capacité à innover s'illustre également à travers les nombreuses réalisations du LAB e-NOV™, le laboratoire des cultures digitales.



L'ACTU D'IFPEN PANORAMA



PLAN FRANCE RELANCE : IFPEN, COPILOTE DE TROIS PEPR

Lors de la présentation du plan France Relance le 29 juin 2021, le Premier ministre a annoncé le lancement de 13 stratégies d'accélération pour l'innovation s'inscrivant dans le cadre du quatrième Programme d'investissements d'avenir (PIA4). Objectif : identifier les principaux enjeux économiques et technologiques d'avenir et y investir de façon exceptionnelle. Ces stratégies sont accompagnées de programmes et équipements prioritaires de recherche (PEPR), dotés de pilotes chargés de porter ces programmes. IFPEN a été choisi pour copiloter le PEPR lié à la stratégie d'accélération sur la décarbonation de l'industrie avec le CNRS, le PEPR sur les produits biosourcés et les carburants durables avec INRAE et le PEPR sur la digitalisation et la décarbonation des mobilités avec l'université Gustave Eiffel. Par ailleurs, IFPEN a été sollicité dans le cadre de la construction du PEPR Hydrogène de la stratégie d'accélération du même nom et du PEPR Recyclabilité de la stratégie d'accélération recyclabilité, recyclage et réincorporation des matériaux.



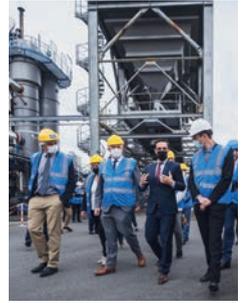
DÉPLOIEMENT DE L'HYDROGÈNE : IFPEN MONTE EN PUISSANCE

En 2021, l'engagement d'IFPEN sur la chaîne de valeur de l'hydrogène s'est intensifié. En mai, l'étude *Hydrogen for Europe (Hydrogen4EU)* a été publiée. Sur la base de modélisations réalisées par les partenaires IFPEN, SINTEF et Deloitte, le projet vise à tracer des voies explorant le rôle de l'hydrogène dans un système énergétique européen décarboné. En juin, IFPEN et l'institut de la corrosion ont créé un groupe d'étude du comportement des matériaux en présence d'hydrogène, dans l'optique de fédérer des partenaires industriels autour de cette thématique. Également en juin a été organisé le 5^e « RDV IFPEN de l'innovation énergétique », autour des conditions du déploiement de l'hydrogène décarboné dans le mix énergétique français. Enfin, l'année a été marquée par la mise en service, en octobre, d'un nouveau banc d'essai de systèmes piles à combustible (PaC) d'une puissance de 210 kW. Situé sur le site de Solaize, cet outil d'expérimentation unique, le plus puissant de France à ce jour, permettra à IFPEN d'accélérer ses recherches sur l'utilisation des piles à combustible alimentées à l'hydrogène dans les véhicules électrifiés, notamment pour le transport routier lourd (bus, camion) et ferroviaire.



EN VISITE SUR UN SITE BIOTFUEL®, JEAN-BAPTISTE DJEBBARI LANCE UN APPEL À PROJETS

Le 27 juillet, Jean-Baptiste Djebbari, ministre délégué chargé des Transports, s'est rendu à Venette (Oise), sur le site de torréfaction de la biomasse qui est l'un des démonstrateurs du projet BioTfuel®. Cette visite est intervenue alors que Bionext et ses partenaires ont terminé avec succès les programmes de tests sur les unités de démonstration BioTfuel®, franchissant une étape cruciale dans le développement de cette technologie pour la production de biokérosène à faible empreinte carbone. À l'occasion de cette visite, le ministre a annoncé le lancement d'un appel à projets qui doit permettre d'accélérer le développement d'une filière française de production de carburants durables pour l'aviation. Doté d'une enveloppe prévisionnelle pouvant aller jusqu'à 200 millions d'euros, l'appel à projets s'inscrit dans le cadre du programme d'investissement d'avenir (PIA) et sera financé par France Relance.



PIERRE-FRANCK CHEVET DEVIENT LE NOUVEAU PRÉSIDENT DE L'ANCRE

Pierre-Franck Chevet a été nommé président de l'Alliance nationale de coordination de la recherche pour l'énergie (Ancre) pour une durée de deux ans. Désigné, dans le cadre d'une présidence bisannuelle tournante, par le comité de coordination de l'alliance composé des quatre membres fondateurs (CEA, CNRS, CPU et IFPEN) et du représentant des membres associés (BRGM), il succède à Mohammed Benlahsen, président de l'université de Picardie Jules-Verne. Il poursuivra l'action de l'alliance visant à renforcer les liens et les échanges entre les organismes de recherche, les agences et les ministères de tutelle ; ces rapprochements contribueront en effet à l'atteinte des objectifs sur la transition énergétique sur les plans national et européen.



LA REVUE OGST DEVIENT STET

La revue OGST (*Oil and Gas Science and Technology*), créée par IFPEN en 1946, a changé de périmètre et est devenue STET (*Science and Technology for Energy Transition*) en janvier 2022. Ce nouveau positionnement et ce nouveau nom soulignent la stratégie d'IFPEN résolument tournée vers la transition énergétique. Pour accompagner cette évolution, IFPEN s'associe au CEA, l'autre grand organisme français de recherche dans le domaine de l'énergie.



LA SOLUTION D'AIDE AU DÉPLACEMENT DE CHARGES LOURDES À L'HÔPITAL

En juillet 2021, IFPEN, à travers le Carnot IFPEN Transports Energie, a annoncé la création de la société TechKare™, qui propose des solutions d'aide au déplacement de charges lourdes en milieu hospitalier. Dans ce cadre, un système innovant d'assistance électrique aux brancardiers a été développé. Il facilite le déplacement des patients et apporte une réponse aux enjeux de la mobilité à l'hôpital. Cette solution permet notamment de diminuer les troubles musculosquelettiques du personnel hospitalier. TechKare™ relève ainsi les défis sociétaux que sont l'amélioration des conditions de travail, le bien vieillir et l'égalité professionnelle du personnel hospitalier.

À noter : TechKare™ a été créée par essaimage (voir le rapport d'activité 2020, page 33)

CLIMAT, ENVIRONNEMENT ET ÉCONOMIE CIRCULAIRE

+ FOCUS

En 2021, IFPEN a été choisi pour copiloter avec le CNRS le programme et équipement prioritaire de recherche (PEPR) lié à la stratégie d'accélération sur la décarbonation de l'industrie (voir page 10).

+ CAPTAGE DU CO₂

PROJET 3D : LE PILOTE DU PROCÉDÉ DMX™ LIVRÉ À DUNKERQUE

Le projet européen 3D, visant à démontrer les performances du procédé DMX™ pour capter le CO₂ présent dans les gaz de haut fourneau, a franchi une étape clé en 2021. En effet, le pilote conçu par IFPEN via son Carnot Ressources Energétiques et Axens, et construit par la société ETCI à Lens a été installé sur le complexe sidérurgique d'ArcelorMittal de Dunkerque. Dès 2026, 125 tonnes de CO₂/h seront captées, soit 1 million de tonnes de CO₂/an.

À l'horizon 2030, le pôle européen de Dunkerque-Mer du Nord pourra alors capter, transporter et stocker en mer du Nord plus de 10 millions de tonnes de CO₂/an.

Le projet 3D bénéficie d'un financement de la part du programme de recherche et d'innovation de l'Union européenne Horizon 2020 au titre de la convention de subvention n° 838031.

+ ANALYSE DE LA QUALITÉ DE L'AIR

REAL-e™, L'ANALYSEUR MOBILE ET CONNECTÉ INNOVANT

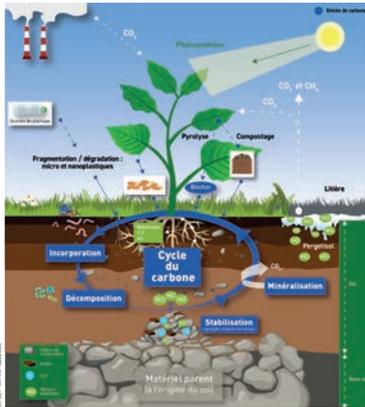
Depuis début 2021, le Carnot IFPEN Transports Energie et la PME Capelec, fournisseur d'équipements en contrôle technique automobile, proposent un analyseur mobile et connecté innovant, Real-e™ (*Real emissions*). Real-e™ mesure, en situation réelle et avec une grande fiabilité, les polluants émis à l'échappement par les véhicules en circulation et permet d'identifier rapidement les véhicules non conformes avec la réglementation.

Il se présente sous la forme d'une mallette connectée contenant un analyseur de gaz d'échappement (CO, CO₂, NO_x, PN, NH₃), qui prélève les polluants en continu, et d'un système de diagnostic embarqué qui recueille les paramètres du véhicule. Grâce à ce dispositif, la mise au point des véhicules ou la surveillance d'un parc automobile sont plus simples, plus rapides et moins coûteuses qu'avec les systèmes existants.

ANALYSE DE LA QUALITÉ DE L'AIR

FLAIR : UN ENSEMBLE D'OUTILS AU SERVICE DE LA SURVEILLANCE ENVIRONNEMENTALE ET DE LA QUALITÉ DE L'AIR

Les travaux menés en surveillance environnementale par le Carnot IFPEN Ressources Energétiques ont abouti en 2021 à la gamme d'outils Flair, une riche panoplie de capteurs et de logiciels qui permet d'explorer une zone géographique donnée pour détecter les polluants d'origine naturelle ou industrielle, les visualiser sur une carte, en connaître l'origine et la dispersion future. Les applications vont de la détection de fuite de gaz à l'évaluation de la qualité de l'air, en passant par l'étude du sol et de sa respiration, ou encore celle des rejets de gaz à effet de serre.



ÉTUDE DES SOLS

DEUX PROJETS POUR COMPRENDRE LE RÔLE DES MICROPLASTIQUES DANS LES SOLS

Les projets sélectionnés en 2021 par l'ANR et l'Ademe vont permettre d'étudier l'impact de la présence des microplastiques (MP) dans les sols. Le projet e-DIP, financé par l'ANR, évaluera la toxicité des MP dans les différents compartiments du sol et leur impact sur les cycles biogéochimiques suivant qu'ils sont apportés directement ou mélangés à des amendements organiques. Le Carnot IFPEN Ressources Energétiques étudiera l'impact direct ou indirect (en perturbant l'activité microbienne) des MP sur

la qualité de la matière organique des sols en utilisant les méthodes Rock-Eval® dédiées aux études des sols. Le projet Plastisol, financé par l'Ademe, complètera cette étude en fournissant des indicateurs de la présence de matières plastiques dans les sols.

RECYCLAGE CHIMIQUE DES PLASTIQUES

IFPEN DÉVELOPPE DES TECHNOLOGIES DE POINTE

IFPEN a pour objectif d'être présent sur les différentes boucles de recyclage chimique des plastiques. Les projets en cours portent, par exemple, sur la conversion du plastique par pyrolyse. En 2021, les travaux dans ce domaine ont abouti au développement, en partenariat avec Repsol et Axens, du procédé Rewind® Mix qui purifie les huiles de pyrolyse de plastiques permettant leur traitement direct dans les usines pétrochimiques existantes pour la production de plastiques recyclés. Par ailleurs, les travaux de démonstration du procédé de recyclage de PET par dépolymérisation Rewind® PET, menés en partenariat avec Jeplan et Axens, se poursuivent avec une commercialisation visée pour fin 2023.

ÉNERGIES RENOUVELABLES

OFFSHORE ET ÉNERGIES MARINES

IFPEN ET TOTALENERGIES RÉALISENT UNE ÉTUDE POUR ÉVALUER LA PRODUCTION DES ÉOLIENNES FLOTTANTES



IFPEN, via son Carnot Ressources Energétiques et TotalEnergies, ont mis en commun leurs efforts pour évaluer l'impact du mouvement d'une éolienne flottante sur sa production d'énergie. Deux types de flotteurs ont été pris en compte et une comparaison a été faite avec le cas d'une éolienne fixe. Les écarts ont été quantifiés et leurs causes analysées. Ces travaux ont été réalisés à l'aide des outils de modélisation développés à IFPEN, notamment *DeepLines Wind™* pour la simulation multiphysique d'une éolienne flottante.

FOCUS

En 2021, IFPEN a été choisi pour copiloter avec INRAE le programme et équipement prioritaire de recherche (PEPR) sur les produits biosourcés et les carburants durables (voir page 10).

GESTION DU SOUS-SOL



TELLUS : LES TECHNOLOGIES DU DIGITAL AU SERVICE DES GÉOSCIENCES

En mars 2021, le Carnot IFPEN Ressources Energétiques a lancé l'initiative TELLUS Share, communauté d'industriels du sous-sol animée par IFPEN autour du thème du digital. Il s'agit, au sein de cette communauté, d'évaluer ensemble l'apport des technologies numériques (science des données, intelligence artificielle, réalité virtuelle...) aux problématiques sous-sol. Pour cela, le Carnot IFPEN RE a mis en place un écosystème composé d'une équipe multidisciplinaire de géo-scientifiques et de spécialistes du numérique et de la science des données, et de partenariats privilégiés avec des acteurs du numérique (académiques, géants du numérique, start-up). Au lancement de l'initiative, quatre partenaires industriels issus du monde pétrolier et du domaine du stockage souterrain ont rejoint la communauté.

BIOCARBURANTS 2G

VERS DES CARBURANTS AÉRONAUTIQUES DURABLES

L'engagement d'IFPEN dans la transition énergétique, en phase avec les politiques publiques françaises et européennes, se traduit notamment par le développement de technologies éco-efficaces pour la production de biocarburants avancés pour le transport routier et aérien.



Interview de :

Jean-Philippe Héraud,
chef de projet BioTfuel®



Nous avons terminé avec succès le programme de tests sur les unités de démonstration BioTfuel® de Venette et de Dunkerque, avec nos partenaires du consortium. Cette phase de démonstration a permis de valider, de mettre au point et d'optimiser la chaîne de procédés à l'échelle semi-industrielle sur plusieurs types de biomasses, au terme de 1 000 heures de gazéification et plus de 1 500 heures de torréfaction. Nous avons ainsi franchi une étape cruciale dans le développement de la technologie pour la production de biokérosène à faible empreinte carbone. Les efforts, avec nos partenaires, vont à présent être orientés vers la recherche d'une 1^{re} référence industrielle du procédé qui est très bien adapté pour répondre aux objectifs réglementaires du secteur aérien, avec des cibles d'incorporation de SAF qui sont de 5 % en 2030 et plus de 50 % à l'horizon 2050**.* >>

* IFPEN, Avril, Axens, CEA, Thyssenkrupp Industrial Solutions, TotalEnergies

** Fixées par l'État français en 2020 et proposées par la Commission européenne en 2021 dans son paquet Fit for 55



CHIMIE BIOSOURCÉE

BOUTEILLES EN PET 100 % BIOSOURCÉES : UNE PREMIÈRE MONDIALE !

Fin 2021, la société japonaise Suntory a annoncé avoir produit avec succès les premiers prototypes de bouteilles en plastique PET 100 % biosourcées. Pour cela, elle a utilisé du bioparaxylène produit dans l'usine pilote TCat-8® de la société Anellotech (USA) grâce au procédé Bio-TCat® développé en partenariat avec IFPEN et Axens, qui permet de convertir la biomasse lignocellulosique en aromatiques. La technologie Bio-TCat®, prête

à être commercialisée, permettra aux industriels de la chimie et aux marques d'atteindre leurs objectifs en matière d'environnement et de durabilité des produits, grâce à sa faible empreinte carbone et à sa matière première issue de biomasse renouvelable non alimentaire.

MOBILITÉ DURABLE

MOBILITÉ ÉLECTRIFIÉE

2021 : L'ESSOR DE SOLUTIONS PERFORMANTES



En 2021, le Carnot IFPEN Transports Energie a notamment développé au sein d'un écosystème français des technologies de motorisation électrique destinées au marché naissant du retrofit. La dynamique partenariale a également permis de développer une famille de motorisations électriques performantes, intégrant une électronique compacte et une technologie de refroidissement du moteur originale. Ces innovations se déclinent sur un large spectre d'applications, du petit véhicule basse tension aux véhicules demandant de fortes puissances. Pour alimenter ces partenariats

et booster la compétitivité du tissu industriel, le Carnot IFPEN Transports Energie a conçu deux nouvelles topologies de machines qui ont fait l'objet de dépôts de brevet. Ces dernières réduisent la consommation de matières premières de 30 % pour des prestations équivalentes à l'état de l'art, grâce à l'amélioration des densités de performances.

FOCUS

En 2021, IFPEN a été choisi pour copiloter avec l'université Gustave Eiffel le programme et équipement prioritaire de recherche (PEPR) sur la digitalisation et la décarbonation des mobilités (voir page 10).

MOBILITÉ CONNECTÉE

MOBILITY DATA HUB : VERS UNE PLATEFORME NATIONALE DES DONNÉES DE MOBILITÉ

Le Carnot IFPEN Transports Energie porte depuis fin 2021 avec Inria et Cerema l'élaboration d'un Mobility Data Hub, plateforme nationale des données de mobilité qui ambitionne de doter l'ensemble des acteurs d'outils communs permettant d'une part, de mutualiser les données de mobilité et d'autre part, d'analyser et d'anticiper la mobilité des personnes et des biens. Le Mobility Data Hub fait partie des lauréats du programme Propulse de l'Agence de l'innovation pour les transports, annoncés le 17 décembre 2021.



MOBILITÉ CONNECTÉE

MODÉLISER LES DONNÉES DE MOBILITÉ EN ÎLE-DE-FRANCE

En octobre 2021, le Carnot IFPEN Transports Energie et Paris Ouest La Défense (POLD) ont lancé leur nouveau partenariat collaboratif monté dans le cadre du projet Territoires d'innovation de grande ambition (TIGA) Île-de-France « Construire au futur, habiter au futur ». Ambition : capter, analyser et modéliser les données de mobilité sur le territoire de Paris Ouest La Défense afin de mieux comprendre et anticiper les déplacements liés au travail. IFPEN construira ses analyses sur la base des données issues notamment de l'application d'écomobilité Gecoair™.

MUTATION DES MOTORISATIONS THERMIQUES



Interview de :

Cécile Cohas, responsable de la mission recherche innovation, Voies navigables de France (VNF)



Afin de répondre à notre objectif de verdissement des bateaux fluviaux, nous avons demandé à IFPEN de nous accompagner. Cela se traduit par un marché de recherche et développement qui vise à élaborer des scénarios prospectifs de verdissement du bassin Rhône-Saône d'ici à 2050. L'étude réalisée par les équipes d'IFPEN aborde le sujet d'une manière transversale très approfondie. Outre les modélisations techniques, technologiques et économiques des solutions que nous envisageons, elle offre des analyses des cycles de vie essentielles pour compléter les données sectorielles issues de la Commission européenne. À terme, l'objectif est que ces scénarios s'élargissent à l'ensemble des bassins de VNF et se traduisent par la construction de bateaux neufs ou de rétrofit de bateaux [...]. >>

MOTORISATION HYDROGÈNE

L'HYDROGÈNE POUR RÉDUIRE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DE LA MOBILITÉ

Le Carnot IFPEN Transports Energie travaille sur des solutions permettant d'utiliser l'hydrogène renouvelable ou bas carbone afin de réduire l'impact environnemental de la mobilité : hydrogène alimentant une pile à combustible générant de l'électricité embarquée pour les véhicules électriques ; hydrogène utilisé comme carburant dans un moteur à combustion interne ; intégration d'hydrogène décarboné dans la production de biocarburants avancés, sous forme d'e-biofuels utilisables par les transports lourds (terrestre ou maritime), l'*off-road* et le secteur aérien.

Depuis octobre 2021, les chercheurs du Carnot IFPEN Transports Energie participent au projet ECH2 porté par la société Vitesco Technologies. Objectif : améliorer l'électronique de contrôle des véhicules à pile à combustible hydrogène et faciliter leur déploiement à grande échelle en réduisant leur coût et en augmentant leur durée de vie. Par ailleurs, un nouveau banc d'essai de systèmes piles à combustible d'une puissance de 210 kW (le plus puissant de France) a été mis en service sur le site d'IFPEN-Lyon.



HYDROCARBURES RESPONSABLES

COMPRÉHENSION ET MODÉLISATION DU SOUS-SOL

IFPEN ORGANISE UN WORKSHOP INTERNATIONAL SUR LA MODÉLISATION DE BASSIN

La deuxième édition du *workshop* « *Basin Modeling* » organisé par le Carnot IFPEN Ressources Energétiques a réuni plus d'une centaine d'experts d'une vingtaine de pays et a permis de faire un état des lieux des différents axes de recherche de la discipline. Une attention particulière a été accordée à la mise en œuvre de nouvelles méthodologies de travail, aux thématiques de la perméabilité et des écoulements dans les failles et fractures, ainsi qu'à des problématiques multi-physiques et multi-échelles. Une session spécifique était dédiée à la transition énergétique.

RÉCUPÉRATION AMÉLIORÉE

UN IMPACT ENVIRONNEMENTAL RÉDUIT



La récupération améliorée des hydrocarbures (EOR : *Enhanced Oil Recovery*) permet de répondre à la demande en augmentant la production des réservoirs existants, en limitant les forages et en optimisant la gestion des eaux de production. Dans ce domaine, IFPEN, Beicip-Franlab et Solvay développent, au sein de l'Alliance EOR, des technologies adaptées à différents types de réservoir et de procédés EOR, depuis la recherche de formulations en laboratoire jusqu'à l'expérimentation sur champ.

Le JIP DOLPHIN 3, démarré fin 2019 avec six opérateurs pétroliers et axé sur la limitation de l'impact environnemental de l'EOR, poursuit ses activités avec la réalisation de tests de l'unité de traitement des eaux sur la plateforme IFPEN GOwSP (*Gas Oil water Separation Platform*).

DIGITALISATION

DATA ET PROCÉDÉS

IFPEN intensifie ses actions dans le domaine du traitement et de la capitalisation des données issues de l'expérimentation haut débit et de celles liées au développement de procédés technologiquement complexes. Ces actions visent d'une part à développer des outils de valorisation des données de la recherche, facilitant le travail des équipes de R&I et contribuant à améliorer l'efficacité de l'expérimentation ; d'autre part, à proposer de nouveaux services et technologies numériques pour accélérer la transition digitale de l'industrie du raffinage et de la pétrochimie.

PRODUCTION DE CARBURANTS PROPRES

NOUVEAUX CATALYSEURS D'HYDROTRAITEMENT DES ESSENCES DE FCC

Les recherches d'IFPEN ont permis de mettre au point deux nouveaux catalyseurs, d'hydrogénation sélective et d'hydrodésulfuration sélective, pour le procédé Prime-G+[®] commercialisé par Axens. Ces développements complètent ainsi une offre adaptée aux besoins des acteurs du raffinage pour la production d'essence répondant aux normes environnementales les plus strictes, comme en atteste la 300^e référence obtenue par la technologie Prime G+[®] en 2021.

PRODUCTION D'INTERMÉDIAIRES PÉTROCHIMIQUES

DIMENE-B[®] : UN NOUVEAU PROCÉDÉ DE PRODUCTION DE BUTÈNE-1

Les équipes d'IFPEN ont développé un nouveau procédé – et le catalyseur associé – de catalyse homogène pour la production de butène-1 par dimérisation de l'éthylène. Le butène-1 est un intermédiaire de base de la chimie employé notamment comme comonomère pour la fabrication de plastiques. Le procédé, commercialisé par Axens, permet également de transformer de l'éthylène issu de biomasse et, ainsi, de contribuer à la production de bioplastiques. Plus économe en énergie, il bénéficie en particulier d'un design permettant d'augmenter la capacité de production de butène-1.



UNE RECHERCHE FONDAMENTALE AU SERVICE DE L'INNOVATION

PROJET COLLABORATIF

BIFROST, UN PROJET COLLABORATIF INTERDISCIPLINAIRE

À l'interface de la chimie analytique et de la science des données pour l'analyse de mélanges complexes, le projet BIFROST (*Blind Identification, Filtering & Restoration On Spectral Techniques*), mené depuis 2018 avec les instituts marseillais de mathématiques (I2M) et des sciences moléculaires (ISM2) dans le cadre de l'initiative d'excellence d'Aix-Marseille, s'est achevé en 2021. Alliant analyse quantitative et optimisation algorithmique en démélange de signaux (séparation de sources), il a mis en évidence l'intérêt de conjuguer de nouvelles méthodes d'acquisition de données RMN (résonance magnétique nucléaire) et de mathématiques appliquées.

THERMODYNAMIQUE

IFPEN ANTICIPE LES BESOINS CROISSANTS DANS LE DOMAINE DU RECYCLAGE

Les objectifs de la loi sur l'économie circulaire et les besoins exprimés par les industriels ont fait de la thermodynamique appliquée au recyclage un domaine actif de recherche pour lequel les contributions d'IFPEN ont été significatives. Parmi les différentes actions en cours, la chaire d'enseignement et de recherche EleTher, lancée par IFP School en 2021, s'intéresse à l'utilisation des outils thermodynamiques pour améliorer l'efficacité des procédés de recyclage et vise, pour cela, à mieux comprendre les phénomènes physico-chimiques en phase aqueuse. Dans ce contexte, la tenue de la 31^e édition de la conférence ESAT sur la thermodynamique appliquée, organisée conjointement avec Mines ParisTech en juillet 2021, a permis la réunion des acteurs de la discipline.



+ FOCUS

Neuf projets ont été retenus parmi les 33 propositions impliquant IFPEN qui ont été déposées en réponse à l'appel à projets générique 2021 de l'ANR. Ce nombre en nette augmentation par rapport aux années précédentes illustre la qualité et la pertinence des propositions élaborées. Ces projets contribueront à lever des verrous scientifiques dans des domaines aussi variés que la géothermie, l'intelligence artificielle, la transformation de la biomasse ou encore les machines électriques.



Interview de :
Sophie Violette,
Maître de conférences
– HDR, Sorbonne
Université –
Laboratoire de
géologie de l'ENS-PSL
Université et membre
du Conseil scientifique
d'IFPEN

C'est un virage à 180° des hydrocarbures vers des nouvelles thématiques énergétiques et écologiques qu'a réussi à engager IFPEN ces dernières années. La démarche de structuration de la recherche fondamentale en verrous a été un atout essentiel à la réflexion menée dans le cadre de cette mutation, car elle a permis de prendre du recul sur la finalité des technologies d'IFPEN et leurs applications. Il faut ainsi saluer en particulier le profond renouveau de la direction Science de la terre et technologies de l'environnement qui a su asseoir le transfert de ses compétences vers les NTE, et les équipes de recherche d'IFPEN qui l'ont concrétisé grâce à leur grande capacité d'adaptation. La thématique « interaction climat/sol et cycle de l'eau » est exemplaire de ce point de vue : son projet phare « Enjeux de la zone critique » a non seulement exigé une remontée des compétences acquises sur les bassins profonds vers les thématiques de la surface, mais a aussi démontré l'efficacité de la transposition des outils analytiques historiques d'IFPEN. C'est le cas de Rock-Eval®, capable de caractériser de façon fiable, rapide et peu coûteuse le contenu de la matière organique dans les sols, ainsi que d'autres outils numériques qui pourront à terme quantifier l'impact anthropique sur les processus d'érosion. Le développement de ces thématiques à IFPEN a en outre été l'occasion de nouer des partenariats académiques et industriels. Une nouvelle collaboration avec INRAE, partenaire de longue date, a ainsi donné lieu à une mise en commun de compétences particulièrement fructueuses et qui pourrait ouvrir sur d'autres collaborations à l'avenir. Soulignons enfin l'apport de la visite scientifique de David Sebag, dont l'expertise complémentaire dans les sciences du sol est venue renforcer et dynamiser les compétences des équipes d'IFPEN. >>>

ENCOURAGER ET SOUTENIR L'INNOVATION

START-UP ET PME

ACCOMPAGNEMENT DE FUNCELL, QUI DÉVELOPPE DES ADDITIFS BIOSOURCÉS POUR L'INDUSTRIE PAPETIÈRE

Depuis 2021, IFPEN accompagne FunCell, jeune pousse prometteuse fondée en 2020 et située en Isère, qui développe des additifs biosourcés pour l'industrie papetière. Ces additifs améliorent les propriétés des matériaux cellulotiques (papiers, cartons, emballages et hygiène) et leur confèrent notamment une meilleure résistance à l'humidité. Une innovation qui pourrait favoriser l'usage des emballages papier comme alternative aux plastiques. Les additifs ayant été produits avec succès en laboratoire, IFPEN va aider FunCell à structurer une démarche d'extrapolation du procédé à l'échelle du pilote industriel. « *Nous sommes heureux de pouvoir nous associer à IFPEN et de bénéficier de toute son expertise pour aller plus loin et permettre l'industrialisation de notre technologie qui offre des perspectives intéressantes sur le marché des emballages écoresponsables* », précise Gilles du Sordet, président de FunCell. Grand prix au concours i-Lab 2020, la solution FunCell répond en outre aux critères de durabilité et de toxicité du marché des emballages.



+ FOCUS

En 2021, IFPEN a rencontré plus de 450 entreprises et a multiplié par 2,5 le nombre de contrats signés.

PARTENARIAT

IFPEN ET BPIFRANCE S'ALLIENT POUR SOUTENIR LES START-UP ISSUES DE LA GREENTECH

À l'occasion de l'édition 2021 du Meet'Up Greentech, le rendez-vous annuel de l'écosystème français de la Greentech organisé par le ministère de la Transition écologique, Pascale Ribon, directrice Deeptech de Bpifrance, Catherine Rivière, directrice générale adjointe d'IFPEN, et Nathalie Alazard Toux, présidente d'IFP Investissement, ont signé une convention partenariale. Via cet accord de coopération, Bpifrance et IFPEN vont mobiliser leurs moyens et leurs compétences pour favoriser le transfert des résultats de la recherche par la création de start-up dans quatre domaines clés de la transition écologique : la mobilité durable, l'économie circulaire, l'efficacité énergétique et la qualité de l'air. Bpifrance et IFPEN souhaitent faire converger leurs objectifs respectifs, en cohérence avec les axes stratégiques formalisés dans le Plan Deeptech élaboré par les pouvoirs publics : valorisation des résultats de la recherche publique et soutien aux start-up mobilisant des technologies de rupture.



Interview de :

Guillaume Lepage, responsable du développement technologique, Naturamole



Nous avons rencontré IFPEN lors d'un événement dédié à l'écosystème R&D français. Parmi les différentes offres d'accompagnement de PME existantes, le partenariat Boost & Link™ qu'offre IFPEN nous a paru très intéressant à plusieurs titres. En premier lieu sur un plan technique, du fait de son expertise avancée dans le domaine des procédés de séparation et des technologies de distillation, IFPEN a su nous aider à développer un procédé de purification haut rendement et haut degré de pureté à partir d'un principe actif issu de ressources renouvelables.

La structuration du service est également un point fort : l'offre proposée est simple, explicite, et les étapes sont clairement définies. Enfin, le modèle de revenu au succès est un atout indéniable : en tant que PME, nous n'avons pas d'avance de trésorerie à faire. Forts de cette réussite, nous envisageons de faire à nouveau appel à IFPEN pour de futurs projets de développement. >>>



FORMER LES TALENTS POUR LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

DISTINCTION

IFP SCHOOL LABELLISÉE HAPPYATSCHOOL® 2022

L'École a obtenu fin 2021 le label HappyAtSchool® qui récompense les écoles où il fait bon étudier et bon vivre, à partir de cinq critères : la qualité des installations et le respect de l'environnement, l'enseignement académique, la vie étudiante, la proximité avec les entreprises et la confiance en l'avenir. Recommandée à 91,3 % par les élèves de la promotion 2021, IFP School figure ainsi parmi les écoles d'ingénieurs françaises offrant la meilleure expérience étudiante.



ÉVÈNEMENT

DES ÉLÈVES D'IFP SCHOOL À L'ÉLYSÉE

Une délégation d'élèves a assisté à la présentation du plan d'investissement France 2030 par Emmanuel Macron, au Palais de l'Élysée en octobre 2021. IFP School, en tant qu'acteur investi dans l'accompagnement de la transition énergétique et écologique, a en effet été sollicitée pour contribuer au débat. Dans cette optique, les élèves invités ont préparé une synthèse des idées et de la vision de l'ensemble de la promotion sur les grands défis à relever et les actions à mettre en œuvre, dont, à titre d'exemple, la mise en avant de l'hydrogène comme solution « zéro émission » ; une thématique par ailleurs inscrite au programme de différents cursus de l'École et développée par le LAB e-NOV™ dans un module de formation en ligne accessible à un public plus large.



DÉVELOPPEMENT

UNE DYNAMIQUE SOUTENUE

En 2021, malgré un contexte sanitaire difficile, les opérations d'essaiage menées par IFP School, en partenariat avec IFP Training, ont pu se dérouler. La deuxième promotion des *masters Petroleum upstream techniques & economics* et *Petroleum downstream techniques & economics* en collaboration avec l'Institut national polytechnique Félix Houphouët-Boigny (INPHB) a ainsi été accueillie en Côte d'Ivoire. La dynamique de développement s'est par ailleurs traduite par un élargissement des partenariats industriels avec une vingtaine de nouvelles entreprises dont des acteurs de la transition énergétique, de la finance et du conseil.

Le développement d'IFP School repose également sur la mise en valeur des activités de recherche à travers les quatre chaires d'enseignement qu'elle porte : *Electricity and Digital Transition (EDT)* ; *Electric, Connected and Autonomous Vehicles for smart mobility (ECAV)* ; *Carbon Management and negative CO₂ emissions technologies towards a low carbon future (CarMa)* dans le cadre de laquelle des conventions ont été signées avec le CNRS et INRAE ; *Electrolyte Thermodynamics (EleTher)* démarrée en 2021.



Interview de :

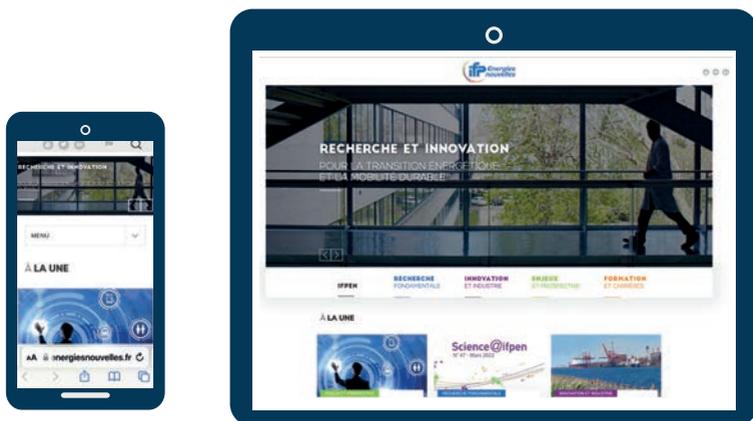
Arash Farnoosh, IFP School, titulaire de la chaire EDT, responsable du programme Executive Master of Management in Energy



C'est dans le cadre d'un secteur en pleine mutation que nous avons lancé la chaire en Électricité et transition digitale en 2018. Il devenait en effet incontournable de comprendre les évolutions de l'industrie de l'énergie en termes de transport, de distribution et de production dans un monde sous contrainte carbone ayant recours à des énergies renouvelables intermittentes et non stockables. À l'heure du bilan, ses résultats sont significatifs et les élèves en ont bénéficié dans le cadre des enseignements : la chaire a couvert les aspects technicoéconomiques, la gestion, mais aussi la numérisation de l'électricité au travers notamment de la digitalisation de ses outils, les données massives, l'information en temps réel, l'intelligence artificielle et les méthodes d'apprentissage machine de plus en plus partie intégrante des systèmes électriques à venir. En outre, les publications (12 articles scientifiques depuis sa création), les conférences et workshops, un travail de thèse sur les enjeux techniques et économiques associés à l'intégration des énergies renouvelables au réseau, et enfin l'invitation du Professeur Peter Cowling (University of York, Royaume-Uni), spécialiste de l'optimisation et de l'algorithmique, ont contribué encore davantage à préparer concrètement nos élèves aux enjeux du secteur. »



Pour suivre l'actualité d'IFPEN
au quotidien, rendez-vous sur le site
www.ifpenouvelles.fr



[Consulter l'intégralité du rapport d'activité 2021 d'IFPEN](#)



Retrouvez IFPEN et IFP School sur les réseaux sociaux





IFP Energies nouvelles

1 et 4, avenue de Bois-Préau
92852 Reuil-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



• **Rédaction** : IFPEN • **Conception graphique** : WAT • **Réalisation** :  Atelier Typao
• **Impression** : document imprimé sur papier certifié FSC® • **Crédits photo** : Adobe Stock ;
IFPEN ; Laurent Wargon - Objectif Images ; Ministère de la Transition énergétique ; Sabine Serrad
- Objectif Images.

Droits de reproduction, textes et illustrations réservés.



MIXTE

Papier | Pour une
gestion forestière
responsable
FSC® C174460

RÉPONDRE AUJOURD'HUI AUX ENJEUX DE DEMAIN

- + IFP Energies nouvelles (IFPEN) est un acteur majeur de la recherche et de la formation dans les domaines de l'énergie, du transport 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, articulée autour de quatre orientations stratégiques : climat, environnement et économie circulaire – énergies renouvelables – mobilité durable – hydrocarbures responsables.



WWW.IFPENERGIESNOUVELLES.FR

