



IMAGINE
TON MÉTIER...
AVEC LE
CEA

LES MÉTIERS DU CEA

Rejoindre le CEA, c'est contribuer aux grandes priorités nationales de la recherche ; c'est aussi avoir la possibilité de développer un parcours professionnel motivant dans une communauté scientifique pluridisciplinaire, ouverte à l'international et au monde industriel. Du Bac+2 pour les techniciens, BAC+5 pour les ingénieurs ou Bac+8 pour les chercheurs, vous pouvez trouver votre place dans l'organisme. Plus de 60 familles de métiers existent, dans les domaines scientifiques et techniques ou ceux dits de « soutien » : juridique, administratif, commercial... Les fiches présentées dans cet ouvrage ne sont que quelques exemples de cette multiplicité de professions.

06 LA SANTÉ

BIOLOGIE

- 08 ▶ **Technicien expérimentateur**

GÉNOMIQUE

- 09 ▶ **Ingénieur biomédical**
- 10 ▶ **Bio-informaticien**

IMAGERIE MÉDICALE

- 11 ▶ **Radiopharmacien**
- 12 ▶ **Physicien médical**
- 13 ▶ **Technicien instrumentaliste**



14 L'ÉNERGIE

COMBUSTIBLES NUCLÉAIRES

- 16 ▶ **Ingénieur procédés**
Combustibles avancés

- 17 ▶ **Technicien expérimentateur**
Combustible irradié

DÉCHETS NUCLÉAIRES

- 18 ▶ **Ingénieur procédés**
Traitement des effluents et déchets

- 19 ▶ **Technicien chimiste**
Recyclage des combustibles

ASSAINISSEMENT – DÉMANTÈLEMENT NUCLÉAIRE

- 20 ▶ **Gestionnaire de projet**
- 21 ▶ **Technicien manipulateur**
Robotique

BATTERIES & PILES

- 22 ▶ **Ingénieur concepteur**
Batteries

- 23 ▶ **Technicien expérimentateur**
Piles à combustible

SOLAIRE

- 24 ▶ **Ingénieur concepteur**
Systèmes photovoltaïques

- 25 ▶ **Technicien expérimentateur**
Solaire photovoltaïque à concentration

BÂTIMENTS

- 26 ▶ **Technicien expérimentateur**
Suivi de mesures énergétiques

- 27 ▶ **Ingénieur Spécialiste**
des smart grids

HYDROGÈNE

- 28 ▶ **Ingénieur chimiste**
Développement des matériaux
- 29 ▶ **Technicien**
Procédés des matériaux



30 LA SÛRETÉ & LA SÉCURITÉ

SÛRETÉ

- 32 ▶ **Ingénieur**
Sûreté nucléaire
- 33 ▶ **Technicien**
Radioprotectionniste

SÉCURITÉ

- 34 ▶ **Technicien**
Nanosécurité
- 35 ▶ **Ingénieur**
Cybersécurité

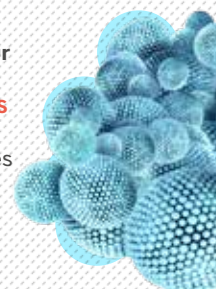
36 LES MATÉRIAUX

NUCLÉAIRE

- 38 ▶ **Ingénieur-chercheur**
Science des matériaux
- 39 ▶ **Technicien**
Caractérisation
- 40 ▶ **Ingénieur-chercheur**
Génie chimique

MATÉRIAUX INNOVANTS

- 41 ▶ **Technicien**
Chimie des polymères
- 42 ▶ **Ingénieur**
Nanomatériaux pour batteries
- 43 ▶ **Technicien**
Couches minces



44 LES NOUVELLES TECHNOLOGIES

MICROÉLECTRONIQUE

- 46 ▶ **Ingénieur-chercheur**
Physique des composants
- 47 ▶ **Ingénieur-chercheur**
Procédés et matériaux
- 48 ▶ **Technicien**
Fabrication des composants

NANOSCIENCES

- 49 ▶ **Chercheur microscopiste**

ROBOTIQUE

- 50 ▶ **Ingénieur mécatronicien**
- 51 ▶ **Ingénieur**
Traitement du signal
- 52 ▶ **Technicien**
Contrôle non-destructif
- 53 ▶ **Ingénieur-chercheur**
Réalité virtuelle

54 LA DÉFENSE

SURVEILLANCE

- 56 ▶ **Ingénieur R&D**
Instrumentation géophysique
- 57 ▶ **Technicien analyste**
Événements sismiques

ARMEMENT

- 58 ▶ **Technicien**
Métrologie optique
- 59 ▶ **Ingénieur**
Électromagnétisme

60 LA SIMULATION NUMÉRIQUE

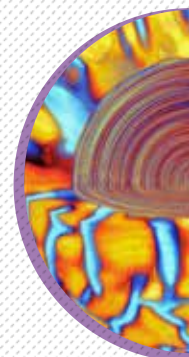
SUPERCALCULATEURS

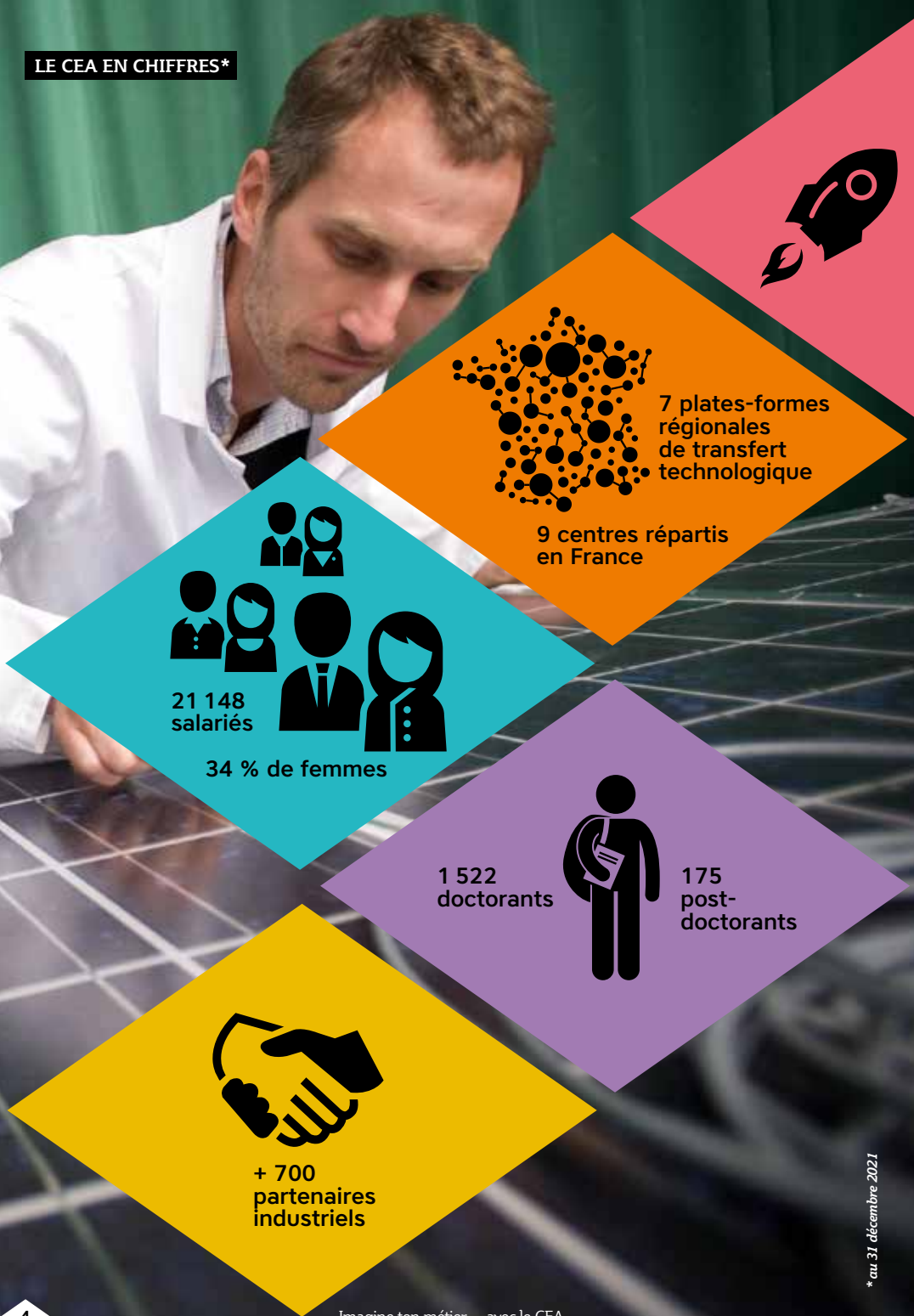
- 62 ▶ **Responsable opérationnel**
Administration des systèmes informatiques
- 63 ▶ **Ingénieur-chercheur**
Développement de codes de calcul

SIMULATION

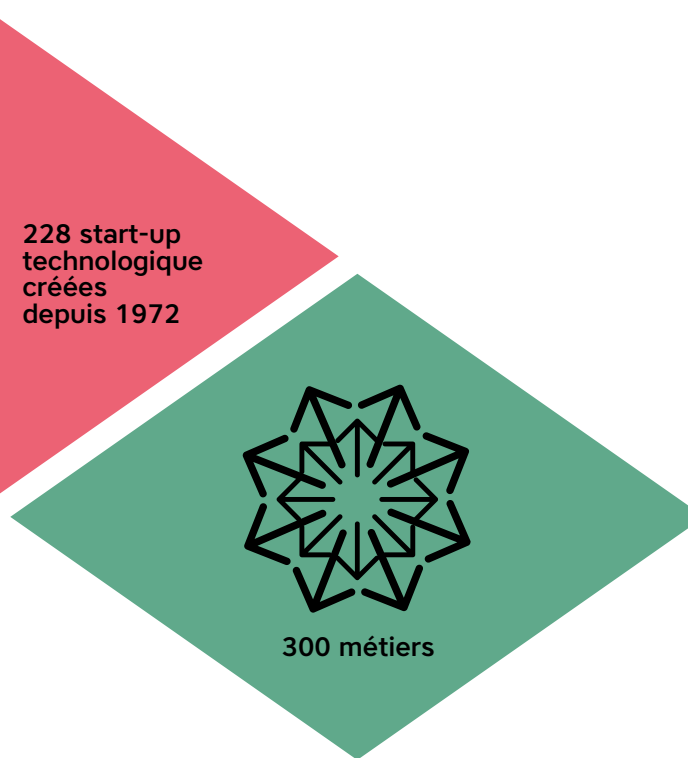
- 64 ▶ **Chercheur théoricien**
- 65 ▶ **Ingénieur-chercheur**
Astrophysique

66 INSTN





* au 31 décembre 2021



Acteur majeur de la recherche scientifique française et européenne, au service de l'État, de l'économie et des citoyens, le CEA conduit des recherches et apporte des solutions technologiques aux grands défis sociétaux d'aujourd'hui et de demain : les énergies bas-carbone (nucléaire et renouvelables), l'évolution du climat, la transition numérique, la santé et la médecine du futur, la recherche fondamentale, la défense et la sécurité.

Reconnu comme un expert dans ses domaines de compétences, le CEA est le seul organisme de recherche français à figurer dans le classement Clarivate Analytics 2020 et est le 1^{er} organisme de recherche français déposant de brevets en Europe, d'après le classement de l'Office européen des brevets 2021.

Depuis plus de 75 ans, grâce à l'excellence de ses recherches et à ses nombreux partenariats en France, en Europe et à l'international, le CEA est à l'origine de multiples applications utilisées dans la vie quotidienne.



LES MÉTIERS DE...

LA SANTÉ

Dès la création du CEA, les chercheurs ont utilisé la radioactivité dans le domaine de la santé. Actuellement, leurs recherches portent principalement sur l'étude du cerveau, les maladies neurodégénératives, les maladies infectieuses et la cancérologie. Du diagnostic à la thérapie en passant par la prévention, les équipes se mobilisent pour apporter des solutions.

VERS LA MÉDECINE DU FUTUR

CONNAÎTRE POUR MIEUX TRAITER

Pour comprendre, les chercheurs mobilisent la biologie structurale, la biologie à grande échelle, la radiobiologie... Pour mieux soigner, ils identifient de nouvelles cibles thérapeutiques à l'échelle du gène ou de la cellule. Ils développent en parallèle un ensemble de technologies de pointe et des plates-formes en génomique, criblage haut débit et imagerie.

Afin de prévenir les maladies, ils ont mis au point des outils de diagnostic et développé de nouvelles stratégies vaccinales. D'autres recherches portent sur la toxicité des composés qui nous entourent.

DES TRAITEMENTS PERSONNALISÉS

Demain, la médecine sera

personnalisée, ambulatoire et moins invasive. L'enjeu ? Donner à chaque patient le bon médicament, à la bonne dose, au bon moment, en fonction de sa pathologie précise. Pour cela, les équipes combinent recherches fondamentales et techniques innovantes de biomarqueur et de diagnostic. Elles reconstituent aussi certains organes (cerveau, pancréas, peau...) sur puce ; pratique pour tester plus rapidement et efficacement les candidats médicaments !

NUMÉRIQUE ET SANTÉ

La santé devient aussi numérique. Ainsi, via des logiciels d'apprentissage par reconnaissance d'images, l'intelligence artificielle secondera les médecins lors de leurs prises de décision.

BIOLOGIE

► Technicien expérimentateur

GÉNOMIQUE

► Ingénieur biomédical

► Bio-informaticien

IMAGERIE MÉDICALE

► Radiopharmacien

► Physicien médical

► Technicien instrumentaliste

BRAVO !

Le CEA a participé au traitement par thérapie génique de la maladie de Parkinson et de maladies du sang comme la bêta-thalassémie et la drépanocytose. Ses équipes ont aussi développé des tests de détection de la maladie de la vache folle, du virus Ebola ou de résistance aux antibiotiques. Elles ont aussi travaillé sur des inhibiteurs de la ricine, un agent biologique toxique.





Spécifique au CEA, la **radiochimie** permet, lors du développement de médicaments, de procéder à une étude de bilan en suivant le parcours dans l'organisme de molécules préalablement marquées avec un traceur radioactif. Les chercheurs vérifient qu'elles sont éliminées à 100 %, comment et en combien de temps.



C'est toujours plaisant, de voir évoluer ses questionnements, même si ça n'aboutit pas à ce que l'on espérait.



Compétences

- Biochimie
- Biophysique
- Biotechnologies
- Histologie et physiologie

Technicien expérimentateur



Le technicien en biologie effectue des analyses sur des organismes vivants ou sur du matériel biologique.

VOS MISSIONS

- Réaliser, à partir de protocoles préalablement définis, des expériences qui utilisent un ensemble de techniques spécifiques.
- Rassembler les résultats et les mettre en forme.
- Appliquer, en situation de travail, des règles d'hygiène et de sécurité globales et d'autres plus spécifiques.

AU QUOTIDIEN

Le technicien réalise les expériences conçues avec son chef de laboratoire, traite les résultats, les lui transmet puis propose des modifications à apporter aux protocoles. Il est aussi en charge des commandes et de l'entretien du matériel qui lui est nécessaire.

« Il faut d'abord préparer les cultures de cellules, à 37 °C, dans des enceintes spécifiques appelées "incubateurs", en renouvelant quotidiennement leur apport en nutriments et en vérifiant que tout va bien. Ensuite, je réalise les expériences. Par exemple, je teste des molécules d'intérêt en pharmacologie pour voir comment elles réagissent (tests de mortalité, de prolifération, d'incorporation par les cellules...). Cela peut prendre 1 ou 2 heures ou se faire sur plusieurs jours d'affilée. »

Anne-Cécile Licence pro Développement du médicament

Ingénieur biomédical

L'ingénieur-chercheur biomédical acquiert des équipements médicaux, en définissant la stratégie de maintenance par rapport aux normes en cours et à un budget.

VOS MISSIONS

- Recueillir l'expression des besoins des équipes.
- Rédiger le cahier des charges dans le respect des normes et selon les codes de marché.
- Assurer la bonne installation des équipements, leur mise en fonction et leur maintenance.
- Former les utilisateurs.

AU QUOTIDIEN

Au Centre national de recherche en génomique humaine (CNRGH), Cécile est responsable de la plate-forme de production en génotypage haut débit, un métier multifacettes en interface avec plusieurs services, et dénué de monotonie !

« Tout d'abord, je dois récupérer les échantillons et mettre en place de nouveaux protocoles. Puis je répartie la charge de travail sur l'équipe et, enfin, rends compte de l'état d'avancement des projets. Je dois aussi veiller au bon état de fonctionnement des instruments, négocier les tarifs fournisseurs et établir les commandes, calculer les coûts de revient... » **Cécile** Master 2 Génie biologique et informatique

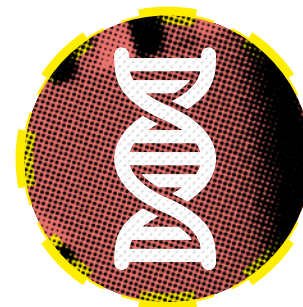


L'Institut de biologie François Jacob comporte de nombreux laboratoires, notamment le **Centre national de recherche en génomique humaine** et le **Genoscope**, qui met aujourd'hui le cap vers la génomique environnementale.



Compétences

- Biotechnologies
- Recherche clinique
- Instrumentation médicale et biologique



2 MILLIARDS
DE LETTRES COMPOSENT
LE GÉNOME HUMAIN

Les multiples combinaisons des 4 bases de l'ADN - A, T, G et C - représentent autant que 2 000 livres de 500 pages. Seul contributeur français, le CNRGH a déchiffré le chromosome 14 (sur 21 chromosomes au total).



Les biothérapies cellulaires

Analyser les variants génétiques de plusieurs milliers d'individus afin de localiser les gènes qui jouent un rôle dans certaines maladies fait avancer le traitement de maladies génétiques.

66

Le champ des recherches est très varié, je peux passer de sujets très biologiques à des problématiques très techniques.



Compétences

- Algorithmes de traitement et de données
- Programmation

Bio-informaticien

Ces ingénieurs-chercheurs analysent les données des expériences ou des simulations. Ils extraient les grandeurs recherchées à partir des mesures issues de l'imagerie, la spectroscopie, la fusion de données, l'analyse génomique... Ce sont des spécialistes du « data mining » au service de notre santé !

VOS MISSIONS

- Développer des outils informatiques et logiciels.
- Gérer le format, l'archivage, le traitement et la mise à disposition des données (bases de données, visualisation...).
- Participer à l'interprétation des données.

AU QUOTIDIEN

L'appellation bio-informaticien regroupe plusieurs profils de formations différentes. Chacun possède une double compétence et fait le lien entre les biologistes, qui ont des besoins qu'ils ne savent pas toujours exprimer, et les informaticiens, qui doivent assurer les développements. Un bio-informaticien doit parfois automatiser la gestion de séquences en haut débit, mettre au point des analyses pour gérer la qualité des données, créer des interfaces pour les utilisateurs...

« J'ai beaucoup de contacts avec l'équipe de production, qui génère les séquences, traite les données, et les leur présente via une interface graphique pour qu'ils les valident, ou non. »

Carole DESS Ressources génomiques et traitement informatique



Après plus de deux ans de mission dans le Pacifique, la goélette est rentrée au port. 37 000 échantillons ont été recueillis, qui permettront d'établir l'état des coraux et de la biodiversité des récifs à l'échelle d'un océan entier. 9 000 seront analysés au CEA : un énorme vivier de molécules pour guérir ou utiles à la chimie verte !

TARA PACIFIC

Radiopharmacien

Le radiopharmacien utilise des sources radioactives pour la préparation de médicaments radiopharmaceutiques ou de radiotraceurs utiles en imagerie, notamment la tomographie par émission de positons.

VOS MISSIONS

- Gérer les produits radiopharmaceutiques et contribuer à la sécurisation de leur circuit.
- Être en charge de la préparation, du contrôle qualité, de la dispensation, de la traçabilité des médicaments radiopharmaceutiques.
- Établir des recommandations de manipulation, d'entretien et de nettoyage des équipements et du petit matériel.
- Gérer, en collaboration avec la personne compétente en radioprotection, les déchets radioactifs.

AU QUOTIDIEN

Sur une plate-forme d'imagerie médicale se côtoient physiciens, chimistes, pharmaciens, biologistes et médecins. Radiochimistes et radiopharmaciens ne décident pas seuls quelle cible étudier ; ils répondent aux demandes des biologistes et des médecins à qui il manque un outil diagnostique, en développant des méthodes d'incorporation.

« Cela demande parfois des années pour mettre au point un nouveau produit radiopharmaceutique, le valider en préclinique sur des modèles animaux, établir sa toxicologie et évaluer sa dosimétrie, avant le premier essai sur quelques patients. » **Louisa** Ecole supérieure d'ingénieurs - Post-doc au SHFI



Le centre Cycéron de Caen est dédié à l'imagerie moléculaire pour les recherches biomédicales, principalement dans les domaines des neurosciences et de l'oncologie.

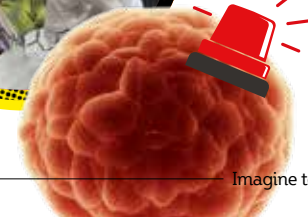


Compétences

- Marquage moléculaire
- Thérapies innovantes

**À CHAQUE PATHOLOGIE
SA MOLÉCULE MARQUÉE !**

Les tumeurs cancéreuses, pour se développer, sont de grosses consommatrices de sucre. Du fluor 18, intégré dans des molécules de glucose pour former du fluorodésoxyglucose (¹⁸F-FDG), est injecté au patient et permet de les localiser.



Physicien médical



La plate-forme internationale de simulation GATE donne accès à des outils spécifiques en imagerie et radiothérapie. Elle rassemble 19 laboratoires et 1 500 utilisateurs dans le monde !

** Alors que la radiothérapie conventionnelle utilise essentiellement des rayons X, l'hadronthérapie s'appuie sur des hadrons, notamment des protons et des ions carbone. Cette technique innovante améliore l'irradiation des cellules tumorales tout en épargnant les tissus sains et les organes.*



Compétences

- Radiobiologie
- Instrumentation médicale et biologique
- Métrologie des rayonnements

Le physicien médical intervient dans les champs de la radiothérapie, de l'imagerie médicale, de la médecine nucléaire et de la radioprotection.

VOS MISSIONS

- Concevoir, préparer et mettre en œuvre des études dosimétriques, des procédures de suivi technique des appareils utilisant les radiations ionisantes, en imagerie médicale, radiothérapie, curiethérapie et des procédures de suivi qualitatif des appareillages.
- Garantir, en radiothérapie, que la dose de rayonnements reçue par les tissus faisant l'objet de l'exposition correspond à celle prescrite par le médecin.

AU QUOTIDIEN

Au Service hospitalier Frédéric Joliot (SHFJ), unité de diagnostic et de recherche implantée au cœur de l'hôpital d'Orsay, Sébastien essaie de simuler la façon dont se dépose la dose de protons ou d'ions carbone chez les patients traités par hadronthérapie*, par des codes de calcul et à l'aide de l'imagerie TEP.

« L'idée est de contrôler l'administration de la dose grâce à la simulation et de pouvoir ainsi adapter le traitement. Même si je me sens plus proche de la recherche fondamentale, les perspectives qu'offrent les outils de modélisation me motivent particulièrement. Contribuer à répondre à des questions de biologie dans un environnement multidisciplinaire avec des chimistes, des informaticiens, des cliniciens et des physiciens est stimulant. » **Sébastien** Doctorat Physique nucléaire



VOIR LE CERVEAU PENSER ?

C'est possible grâce à la magnétoencéphalographie (MEG). Posés sur le cuir chevelu, pas moins de 300 capteurs, sensibles à d'infimes champs magnétiques (10^{-15} teslas), enregistrent en continu l'activité électromagnétique du cerveau. Par reconstruction inverse, les phénomènes subliminaux et ceux liés à la conscience sont repérés dans l'espace (2 mm^2) et le temps (milliseconde).

Technicien instrumentaliste

Le technicien instrumentaliste travaille à améliorer la qualité des images produites par les appareils d'imagerie, par résonance magnétique ou tomographie par émission de positons, pour en faciliter l'interprétation par les médecins.



Les outils d'imagerie médicale, IRM ou TEP, montrent les organes en fonctionnement. Ils font aussi avancer les recherches sur le cancer, les maladies cardiaques, hépatiques et du cerveau : Alzheimer, épilepsie, schizophrénie... Ainsi, grâce à l'IRM, on peut voir les formes du cerveau, ses circonvolutions, ses sillons... propres à chacun, et étudier les « autoroutes de l'information » entre les régions neuronales. Au travers d'exercices proposés au patient dans la machine, les médecins tentent de comprendre la motricité, l'apprentissage des langues et de la lecture...

VOS MISSIONS

- Travailler au réglage des instruments d'imagerie.
- Surveiller le fonctionnement des appareils.
- Contrôler la qualité des composants.

AU QUOTIDIEN

Pour détecter de plus petites anomalies, le technicien et le physicien travaillent en étroite collaboration avec les médecins, dès la définition des protocoles de diagnostic ou de recherche clinique. Puis ils doivent assurer le fonctionnement optimal de l'instrument.

« Je vérifie que l'ensemble des capteurs du tomographe fonctionne correctement. Par exemple, si un bloc cristal tombe en panne, j'interviens sur la caméra pour pallier ce défaut et retrouver une machine 100 % fonctionnelle. » **Vincent** DUT Électronique Applications médicales



L'aimant supraconducteur de 11,7 teslas, **Isseult**, équipe la nouvelle machine d'IRM présente dans l'installation NeuroSpin. Ses proportions sont impressionnantes : 150 tonnes, 9 mètres de long pour 5 de large et de haut ! Il servira à étudier le fonctionnement du cerveau avec une définition de quelques milliers de neurones (et non plus de millions).



Compétences

- Instrumentation médicale et biologique
- Métrologie des rayonnements

LES MÉTIERS DE...

L'ÉNERGIE

Internet, téléphone, chauffage, transport... Pour concilier ce fort besoin en énergie et les enjeux environnementaux, il faut décarboner l'énergie - remplacer les énergies fossiles par des énergies bas-carbone - et réduire la consommation en améliorant l'efficacité des technologies. Le CEA mène des recherches sur toutes ces briques du mix énergétique.

UNE TRANSITION INDISPENSABLE POUR LA PLANÈTE

L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE

Expert dans ce domaine, le CEA travaille en soutien à l'industrie nucléaire actuelle. Durée de fonctionnement, performances et sécurité des réacteurs, cycle du combustible... sont autant de sujets d'étude. Les équipes mènent aussi des projets à plus long terme, pour préparer les futures générations de systèmes nucléaires. Pour répondre à la relance de la filière nucléaire, des besoins croissants d'embauches se profilent, de belles perspectives d'emploi pour les ingénieur(e)s diplômé(e)s, de nouvelles carrières enthousiasmantes pour les jeunes. Une opportunité de participer à la lutte contre le dérèglement climatique et à la réindustrialisation de la France.

75%
de l'électricité utilisée
en France est d'origine
nucléaire, produite
dans 58 réacteurs.

Techniciens, ingénieurs et chercheurs travaillent, en toute sécurité, dans de nombreuses installations expérimentales gérées, maintenues et contrôlées par le CEA. Arrivées en fin d'exploitation, elles sont assainies et démantelées.

LES ÉNERGIES RENOUVELABLES

Pour réduire l'impact des énergies fossiles, il faut aussi développer l'utilisation du solaire, de la biomasse, de l'éolien, de la géothermie et de l'hydraulique. Vecteur énergétique, l'hydrogène est utilisé en complément de ces énergies intermittentes dans les transports et les batteries. En parallèle, il faut optimiser l'efficacité énergétique dans l'habitat à l'échelle d'une maison, d'un bâtiment, voire d'un quartier. En parallèle, il faut optimiser l'efficacité énergétique dans l'habitat à l'échelle d'une maison, d'un bâtiment, voire d'un quartier.

COMBUSTIBLES NUCLÉAIRES

- **Ingénieur procédés**
Combustibles avancés
- **Technicien expérimentateur**
Combustible irradié

DÉCHETS NUCLÉAIRES

- **Ingénieur procédés**
Traitement des effluents et déchets
- **Technicien chimiste**
Recyclage des combustibles

ASSAINISSEMENT – DÉMANTÈLEMENT NUCLÉAIRE

- **Gestionnaire de projet**
- **Technicien manipulateur**
Robotique

BATTERIES & PILES

- **Ingénieur concepteur**
Batteries
- **Technicien expérimentateur**
Piles à combustible

SOLAIRE

- **Ingénieur concepteur**
Systèmes photovoltaïques
- **Technicien expérimentateur**
Solaire photovoltaïque à concentration

BÂTIMENTS

- **Technicien expérimentateur**
Suivi de mesures énergétiques

- **Ingénieur**
Spécialiste des smart grids

HYDROGÈNE

- **Ingénieur chimiste**
Développement des matériaux
- **Technicien**
Procédés des matériaux

BRAVO !

En complément des expérimentations, des codes de calcul sont développés dans tous les grands domaines du nucléaire : neutronique, thermohydraulique, mécanique, thermique, combustible, chimie du cycle et matériaux... Ils modélisent l'ensemble des phénomènes qui entrent en jeu dans un réacteur. CAST3M, logiciel de simulation dédié à la mécanique des structures et des fluides, est mis à disposition pour l'enseignement, la recherche et l'industrie.



Le réacteur de recherche **Jules Horowitz** (RJH) est conçu pour tester le comportement de matériaux et combustibles sous irradiation. Il assurera également la production de radioéléments pour la médecine nucléaire et l'industrie. Actuellement en construction, sa mise en exploitation est prévue d'ici la fin de la décennie.

“

C'est un domaine qui m'a toujours attirée, je travaille dans cette installation depuis ma thèse. ”

Anne-Charlotte Thèse en radiochimie – Matériaux de confinement



Compétences

- Physico-chimie
- Élaboration et conception de matériaux
- Métallurgie des poudres
- Traitements thermiques

Ingénieur procédés Combustibles avancés

Cet ingénieur-chercheur interagit avec le partenaire industriel pour définir ses besoins et ses spécifications pour le combustible des réacteurs nucléaires. Ensuite, il conçoit et fabrique les matériaux, puis les procédés d'assemblage destinés à atteindre ces objectifs.

🎯 VOS MISSIONS

- Tester et caractériser les matériaux et les assemblages.
- Sélectionner les matériaux en fonction de leurs propriétés, développer des assemblages.
- Utiliser des outils de simulation et de modélisation et exploiter les résultats.
- Mettre au point le développement physico-chimique de la méthode d'assemblage ainsi que le cycle thermomécanique à réaliser.
- Définir un plan d'essais et de caractérisation puis analyser et interpréter les résultats.

👤 AU QUOTIDIEN

Les recherches visent à améliorer les performances des combustibles actuels ou à préparer ceux pour les systèmes nucléaires du futur. Les études portent par exemple sur le comportement d'une poudre particulière, la façon dont elle interagit avec d'autres... Les ingénieurs-chercheurs travaillent aussi sur les procédés de fabrication, en faisant varier les paramètres de frittage, de pressage, de broyage... jusqu'à obtenir les microstructures désirées.

Les combustibles destinés aux réacteurs nucléaires sont constitués d'uranium et de plutonium. Les matières premières sont des poudres, transformées dans des cellules blindées, puis assemblées en pastilles. Ces pastilles sont enfilées dans des gaines pour constituer des crayons, regroupés en assemblages. Un réacteur de 900 mégawatts nécessite 11 millions de pastilles !



Technicien expérimentateur Combustible irradié



Les matériaux et combustibles irradiés sont, en général, encore actifs et doivent être manipulés avec précaution ; c'est pourquoi les réacteurs expérimentaux sont accompagnés de laboratoires « chauds ». C'est à ce poste qu'intervient le technicien procédés du combustible. Il prépare les expériences d'irradiation – fabrication du combustible et du crayon ou refabrication de crayons courts, à partir de combustible irradié – puis réalise des examens, destructifs ou non, après irradiation.

🎯 VOS MISSIONS

- Réaliser les fabrications et les contrôles de combustible.
- Caractériser les matériaux et les assemblages de combustible.
- Mener les essais et mesures après irradiation.
- Assurer la gestion, la maintenance et les évolutions des procédés et du parc de machines.

👤 AU QUOTIDIEN

Travailler avec des télémanipulateurs demande de la concentration, de la dextérité et de la patience. Le technicien peut aussi être responsable du suivi des matières nucléaires et de la criticité d'une chaîne blindée, c'est-à-dire l'évaluation et la prévention des risques de réaction en chaîne de fission nucléaire.



Pour réaliser ses programmes de développement, le CEA dispose de plusieurs laboratoires « chauds » : au Leca-Star pour les combustibles irradiés, au Leci pour les matériaux irradiés et ceux d'Atalante pour toutes les recherches portant sur le traitement des déchets.

“

La maîtrise du télémanipulateur s'acquiert par compagnonnage ; le travail d'équipe est primordial. ”

Gautier BTS Maintenance industrielle – Spécialisation en alternance Maintenance et environnement nucléaire



Compétences

- Caractérisation des matériaux
- Mesures physiques
- Traitements thermiques
- Contrôle dimensionnel



Le prototype évolutif de vitrification, constitué d'un calcinateur et d'un creuset (froid ou pot chaud), est une installation à l'échelle industrielle qui vient en support des programmes de R&D pour l'usine de la Hague.

“ Nous sommes l'interface entre les spécialistes des matériaux, ceux des procédés et les industriels. ”



Compétences

- Chimie des procédés d'extraction
- Génie des procédés chimiques
- Expérimentation sur maquettes

Ingénieur procédés Traitement des effluents et déchets

Après l'analyse du cahier des charges, l'ingénieur-chercheur conçoit et valide les procédés de décontamination les plus adaptés au type de matrice (composition chimique et état – solide/liquide/gaz), à la nature et concentration des polluants et radiocontaminants, au volume de déchets à traiter. Il prend en compte les contraintes liées au lieu de traitement (taille du procédé, autorisations de rejets...) afin de déterminer les objectifs, notamment de réduction de volume des déchets ultimes.

🎯 VOS MISSIONS

- Analyser le cahier des charges.
- Choisir et dimensionner le procédé de traitement (thermique, fluide supercritique...).
- Concevoir les expériences de validation.
- Rédiger le livre de procédé le décrivant en fonctionnement nominal et dans des situations incidentelles et accidentelles.

🧑 AU QUOTIDIEN

Le procédé de vitrification est actuellement utilisé par Orano. Pour l'étendre à d'autres types de déchets radioactifs, les chercheurs retravaillent sur la formulation du verre. Ils disposent pour cela de nombreux équipements : fours, appareils de caractérisation des propriétés physiques (viscosité, conductibilité thermique, résistivité, densité...) et microstructurales (microscope électronique à balayage chauffant, à effet de champ...). Ils mettent aussi au point de nouveaux procédés, comme cela a été le cas en 2010, avec celui en « creuset froid ».

« Nous sommes au carrefour de plusieurs exigences, et devons tenir compte de paramètres incontournables : la capacité du verre à immobiliser les déchets, sa durabilité et son élaboration à l'échelle industrielle. » **Olivier Ingénieur en Physico-chimie industrielle – Spécialisation en Génie atomique**

Le verre est la matrice de confinement de 98 % de la radioactivité issue des combustibles usés.



Technicien chimiste Recyclage des combustibles

Pour mener à bien ses recherches et développements pour le parc nucléaire français, le CEA s'appuie sur de nombreuses installations nucléaires de base. Celles-ci accueillent des matières radioactives et/ou irradiantes et sont dotées de plusieurs barrières de confinement et de dispositifs pour limiter les risques. **Techniciens comme chercheurs manipulent les éléments radioactifs en boîtes à gants ou cellules blindées.**

🎯 VOS MISSIONS

- Gérer les matières nucléaires.
- Réaliser des mesures radiologiques.
- Mener à bien des expérimentations et exploiter ces données.
- Adapter, valider et qualifier de nouvelles méthodes.
- Maintenir l'installation et ses moyens de mesure en conditions opérationnelles et sûres.



🧑 AU QUOTIDIEN

Le traitement des combustibles irradiés, et des déchets radioactifs générés, demande de nombreuses opérations, toutes menées par téléopération dans des cellules blindées. Il faut une très bonne dextérité pour faire de la chimie grâce à deux bras armés chacun d'une pince, derrière une vitre d'un mètre d'épaisseur dopée au plomb ! Chaque essai peut prendre plus de huit heures, les équipes travaillent donc souvent en 3x8.

« Préparer un essai peut prendre des mois : il est d'abord répété en inactif à l'extérieur du caisson, pour vérifier qu'il peut être conduit jusqu'au bout en téléopération. Puis il faut le mener à bien. Dernière étape : nettoyer la cellule, ce qui peut prendre autant de temps que l'essai lui-même ! »

Patrick Bac scientifique



Atalante est la plus importante installation nucléaire au monde pour la R&D en chimie des actinides (éléments radioactifs issus des réactions de fission au cœur des réacteurs). Elle comporte 17 laboratoires équipés de 250 boîtes à gants et 9 chaînes de caissons blindés.

“ Dans cet environnement, un essai ne s'improvise pas ! ”



Compétences

- Mesure physique nucléaire
- Téléopération et robotique



Le projet Passage, achevé en 2012, a consisté à démanteler six installations nucléaires du centre de Grenoble (trois réacteurs de recherche nucléaires, le laboratoire d'analyse des matériaux actifs et deux installations de traitement des effluents et des déchets nucléaires).



Compétences

- Exploitation d'installations nucléaires
- Sécurité nucléaire, réglementation et techniques
- Élaboration de cahiers des charges, sous-traitance

Gestionnaire de projet

Le démantèlement d'une installation peut s'étendre sur une période de 15 à 20 ans ; il comprend des opérations de décontamination, d'assainissement, de démontage et de destruction des équipements et de génie civil.

L'ingénieur établit un cahier des charges spécifique des attendus des opérations d'assainissement-démantèlement, puis suit pas à pas chaque chantier.

VOS MISSIONS

- Élaborer le séquentiel des opérations d'assainissement-démantèlement.
- Coordonner toutes les équipes et les sous-traitants (cahier des charges, suivi, réception...).
- Gérer les chantiers en cohérence avec les activités de l'installation (planning et disponibilité des procédés).
- Rédiger les dossiers de sûreté des opérations.

AU QUOTIDIEN

Chaque projet de démantèlement mené au CEA est unique. Des solutions originales peuvent ainsi être mises en œuvre, lesquelles seront valorisées pour des installations industrielles : réacteurs ou usines du cycle du combustible nucléaire.

« Je travaille avec une équipe "rapprochée" de 3 à 4 personnes, chacune étant responsable d'un périmètre bien défini de l'installation. Nous faisons appel à des services connexes – commercial, juridique... –, des compétences internes – robotique, sécurité... – et des prestataires extérieurs. »

Laurence Doctorat Modélisation des procédés



Technicien manipulateur Robotique

Un chantier de démantèlement est un milieu « hostile », divisé en zones « froides », là où les personnes peuvent se trouver sans craindre pour leur santé, ou « chaudes » où le taux de radiation ou de contamination est trop élevé pour qu'elles puissent y travailler. La partie caractérisation est assurée par des personnes compétentes en mesure nucléaire, puis **des spécialistes en robotique et télémanipulation interviennent. Lors d'essais préalables, le technicien spécialiste de ce domaine assure la qualification des scénarios.**

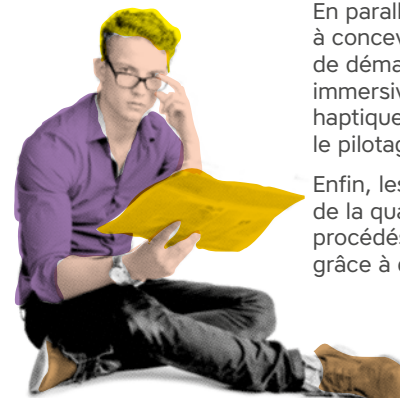
VOS MISSIONS

- Participer à la conception, à la spécification, au suivi de la réalisation et à l'intégration sur site des ensembles de pilotage informatique.
- Assister l'ingénieur dans le maintien en conditions opérationnelles du système de contrôle-commande de l'installation.
- Participer à la gestion de la sous-traitance (cahier des charges, suivi, réception, maintenance...) et des services coopérants, réaliser le suivi d'un éventuel prestataire.

AU QUOTIDIEN

« L'homme reste toujours dans la boucle. L'opérateur prend le bras maître en main, regarde sur les écrans la position à atteindre par le bras esclave et va directement faire la trajectoire. Il existe différents types de télémanipulateurs. Il faut faire des exercices, des travaux pratiques pour s'entraîner, pendant 1 à 3 jours. »

Christian CAP Mécanique



En parallèle, la réalité virtuelle sert à concevoir et tester les scénarios de démantèlement, dans des salles immersives 3D équipées de bras haptiques qui simulent le pilotage des bras robotisés.

Enfin, les équipes sont chargées de la qualification de nouveaux procédés de découpe, par exemple grâce à des lasers.



Le robot téléopéré Maestro fait figure de prouesse technologique. Depuis le poste de commande, il aide à réaliser, au moyen de différents outils, les multiples missions nécessaires dans le cadre d'un chantier de démantèlement : mesure, découpe, décontamination...



Compétences

- Automatismes contrôle-commande
- Logistique et maintenance



Le projet européen **Everlasting** (2016-2020) implique 11 partenaires. Objectif : accélérer le déploiement des véhicules électriques à batterie, en augmentant leur durabilité et leur niveau de sécurité.

Comme ces prototypes sont destinés à des applications grand public, nous les testons pour voir « ce qu'ils ont dans le ventre » avant de les assembler en packs.



Compétences

- Électrochimie
- Physico-chimie
- Caractérisation des matériaux
- Nanomatériaux

Ingénieur concepteur Batteries

L'ingénieur-chercheur dimensionne, développe, assemble et teste des systèmes électrochimiques de batterie.

VOS MISSIONS

- Choisir et dimensionner les différents composants du système.
- Participer au suivi, à la planification et à la réalisation des différents composants.
- Veiller au bon assemblage des composants selon le cahier des charges défini.
- Définir les tests à réaliser et mettre en place les protocoles.
- Analyser, interpréter et synthétiser les résultats obtenus lors des différents tests ou caractérisations postérieures.
- Assurer une veille technologique.

AU QUOTIDIEN

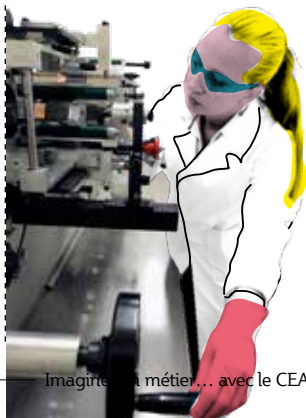
Les batteries lithium-ion trouvent leur place comme source d'énergie pour diverses applications nomades (téléphones, ordinateurs portables), mais aussi stationnaires avec la domotique. Couplées à des piles à combustible, elles servent également dans les voitures et les bateaux. Les équipes travaillent à l'échelle du laboratoire, puis d'une chaîne pilote, afin de montrer aux industriels la maturité de ces technologies.

« Pour répondre à une demande précise d'un industriel, il faut prendre en compte l'intégration des matériaux qui constituent les électrodes et les membranes, et proposer le meilleur design. Pas seulement la forme de la cellule et des connecteurs, mais aussi celle de l'intérieur des cellules. »

Marianne Doctorat Chimie des polymères

RÉCUP OBLIGATOIRE

La réglementation impose un taux de récupération de plus de 50 % des matériaux des batteries lithium-ion destinées au secteur des transports. Plusieurs projets s'appuyant sur des procédés hydrométallurgiques ont été conduits afin de la respecter.



Imagine ton métier... avec le CEA

Technicien expérimentateur Piles à combustible

Le principe d'une pile à combustible est simple : produire de l'électricité et de la chaleur en combinant, par voie électrochimique, de l'oxygène et de l'hydrogène. Il en existe de deux sortes : les piles à membrane échangeuses de protons sont plutôt destinées aux transports tandis que celles à oxydes solides trouvent des applications dans l'habitat. **Le technicien fait partie intégrante des équipes projet, en assurant la mise au point et les essais de ces piles.**

VOS MISSIONS

- Préparer les essais et participer à la mise en place des moyens techniques nécessaires à la réalisation de l'expérimentation.
- Faire fonctionner des bancs de mesure en réalisant le montage et démontage des expériences.
- Réaliser les mesures, les essais et vous assurer de la cohérence des résultats.
- Assurer le maintien en conditions opérationnelles des instruments d'expérimentation.
- Gérer la sous-traitance.

AU QUOTIDIEN

Les essais sont menés sur des bancs de test. Ils sont de plusieurs types – caractérisations électrochimiques, mesures de tension, courant, puissance et résistance... – pour connaître les performances des futures piles, mais aussi pour observer leur dégradation.

« J'ai travaillé sur le montage de la pile à hydrogène du projet Energy Observer. À partir d'un schéma explicatif qui décrit les différents circuits, il a fallu concevoir la pile pour l'espace contraint où elle devait s'implanter ! Seconde étape : le montage complet, en vérifiant que tout se connecte bien. »

François DUT Mesures physiques

50% DE COMBUSTIBLES FOSSILES

Pour ses besoins dans les transports et l'habitat, la France importe 50 % de sa consommation totale d'énergie sous forme de combustibles fossiles !



Pendant 6 ans, faire le tour du monde sur un catamaran uniquement propulsé par les énergies renouvelables, c'est le défi d'**Energy Observer** ! Solaire, éolien, hydrogène, piles à combustible et batteries seront testés en conditions réelles, mais aussi extrêmes, de l'environnement marin. Un gage de fiabilité pour de futures applications à terre !



Compétences

- Traitement du signal
- Mesures physiques



La majorité des travaux menés à l'**Institut national de l'énergie solaire (Ines)** est consacrée au photovoltaïque, pour produire de l'électricité à partir de la lumière du Soleil, tandis que d'autres concernent le solaire thermique. Les quatre maisons de la plateforme Incas sont bardées de capteurs pour tester en grandeur réelle les performances énergétiques de divers matériaux, parois, isolants, vitres et solutions de stockage. Objectif : optimiser leur consommation d'énergie !



Compétences

- Génie des procédés énergétiques
- Thermodynamique
- Instrumentation de bancs de test

Ingénieur concepteur Systèmes photovoltaïques

Les ingénieurs-chercheurs énergéticiens réalisent des travaux de recherche et développement appliqués aux systèmes énergétiques (piles à combustible, batteries, systèmes photovoltaïques ou biomasse), pour proposer des solutions dans l'industrie, l'habitat, les transports et la production d'énergie...

VOS MISSIONS

- Analyser et comprendre les phénomènes physiques et chimiques en jeu dans les procédés de production d'énergie.
- Imaginer, concevoir, spécifier, modéliser et optimiser des équipements et des procédés.
- Concevoir des bancs d'essai, établir des protocoles de mesures, gérer des campagnes expérimentales et interpréter les résultats.
- Monter des projets et coordonner leur bon déroulement, gérer les relations avec les partenaires et clients.

AU QUOTIDIEN

Dans le domaine photovoltaïque, des physiciens, électriciens, chimistes, métallurgistes travaillent de concert pour élaborer et optimiser des procédés de fabrication de cellules, modules et batteries associées. Certains travaillent aussi sur l'architecture électrique et l'interconnexion des systèmes, avec des véhicules notamment.

« L'équipe de l'Ines a conçu, réalisé et caractérisé, par des tests climatiques et mécaniques, les 130 m² de panneaux solaires qui recouvrent les flotteurs, le pont et la verrière du catamaran Energy Observer. Il a fallu suivre un cahier des charges strict, qui demandait des panneaux légers, fins et, pour certains, galbés ou encore bifaciaux. » **Rémi Ingénieur Supélec**



Technicien expérimentateur Solaire photovoltaïque à concentration

En collaboration avec les ingénieurs, le technicien participe à la conception et à la réalisation des centrales solaires, puis mène les campagnes d'essais.

L'énergie solaire fournit de l'électricité photovoltaïque, générée par des cellules silicium, mais aussi grâce à des systèmes thermiques à concentration. Ces réflecteurs sont composés de miroirs orientables qui réfléchissent le rayonnement solaire sur un récepteur en hauteur contenant un fluide caloporteur (le plus souvent de l'huile). Ce fluide est stocké, puis, *in fine*, turbiné pour fournir de l'électricité.

VOS MISSIONS

- Préparer les essais et participer à la mise en place des moyens techniques nécessaires à la réalisation de l'expérimentation.
- Faire fonctionner des bancs de mesure en réalisant le montage et démontage des expériences.
- Réaliser les mesures, essais et vous assurer de la cohérence des résultats.
- Assurer le maintien en conditions opérationnelles des instruments d'expérimentation.
- Gérer la sous-traitance.

AU QUOTIDIEN

Lors de la mise en place des installations, le technicien assure le suivi de chantier avec les différents sous-traitants. Une fois que tout est en place, il fait fonctionner les manipulations, récupère les résultats puis réalise un premier dépouillement avant de les envoyer à l'ingénieur.



Dans le laboratoire, des bancs d'essai reconstituent l'ensoleillement naturel par des lampes spécifiques qui reproduisent le même spectre que celui émis par le Soleil.

“

Ce qui me plaît, c'est travailler à l'extérieur. Faire partie d'une équipe est très dynamisant et rend tout le monde plus efficace. ”

Nans Licence pro Science des énergies renouvelables



Compétences

- Traitement du signal
- Mesures physiques



La Cité des énergies est une plate-forme expérimentale qui comprend de grands démonstrateurs solaires et les smart grids associés, des installations de production de biocarburants à partir de microalgues, et des maquettes de bâtiments dont il faut améliorer l'efficacité énergétique.

“ Les études en conditions réelles révèlent l'impact du comportement des habitants sur la consommation énergétique. ”

Romain DUT Mesures physiques



Compétences

- Performance énergétique des bâtiments
- Automatisation contrôle-commande
- Génie thermique
- Métrologie

Technicien expérimentateur

Suivi de mesures énergétiques

Ce technicien prépare, exécute et analyse des expériences relatives à la performance énergétique du bâtiment. Le protocole expérimental est défini par un ingénieur qui doit pour cela comprendre et prédire le comportement des composants, systèmes et bâtiments à l'aide de modèles théoriques et d'outils de modélisation.

VOS MISSIONS

- Participer à la préparation des protocoles d'essai.
- Exécuter les essais.
- Gérer un ou plusieurs équipements expérimentaux (maintenance, mise à jour, entretien...).
- Réaliser un premier niveau de traitement des données et les consolider, pour que l'ingénieur soit à même d'analyser, synthétiser et rendre compte des résultats de simulations ou d'expérimentations.

AU QUOTIDIEN

Les efforts de R&D portent notamment sur les bâtiments dits « à énergie positive » qui, en plus de consommer moins, produisent en moyenne autant, si ce n'est plus, d'énergie qu'ils n'en consomment. Après l'étape de simulation des performances dynamiques et de consommation, en fonction des systèmes de chauffage, ventilation et eau chaude sanitaire, viennent les essais grandeur nature sur des maisons modèles, bardées de capteurs. Puis, enfin, l'étude en conditions réelles pour valider définitivement, ou pas, la solution.



Ingénieur

Spécialiste des smart grids

Les smart grids, ou réseaux électriques intelligents, servent à gérer l'ensemble de la chaîne énergétique, de la production à la consommation. Ce spécialiste est chargé du développement d'algorithmes de gestion d'énergie, pour mieux intégrer celle générée par les énergies renouvelables dans les réseaux électriques.

Il lui faut aussi penser aux usages dans l'habitat et les transports. Le système doit être piloté de manière très flexible pour gérer les contraintes liées à l'intermittence de ces énergies et le développement de nouveaux usages tels que le véhicule électrique.

VOS MISSIONS

- Monter des expérimentations pour élaborer des modèles.
- Dimensionner les infrastructures électriques.
- Développer des lois de gestion d'énergies.

AU QUOTIDIEN

Le photovoltaïque est décentralisable et peut se répartir au plus proche des consommateurs ; cette énergie de proximité est très compétitive dans des territoires isolés ou pour remplacer tous les « petits » réseaux électriques à base de générateurs diesel.

« Il nous faut gérer les smart grids pour faire coïncider au mieux la production avec les heures de consommation. On prend de plus en plus conscience que les énergies renouvelables doivent être au maximum autoconsommées ; par ricochet, cela sensibilise les utilisateurs aux productions locales. » **Nicolas Ingénieur - Formation Insertion de la production décentralisée dans les réseaux électriques**

Expérimentations et simulations sont complétées par des essais « hardware in the loop » dans lesquels environnements réel et simulé sont mixés. On y a recours pour tester le comportement d'un appareil, un onduleur photovoltaïque par exemple, connecté à un réseau virtuel.



La plate-forme Smart grid de l'Ines intéresse les acteurs industriels phares dans le domaine de l'énergie, mais aussi des start-up qui souhaitent contribuer aux nouveaux modèles énergétiques.

“ L'énergie comme les légumes : l'idéal est de consommer local ! ”



Compétences

- Électrotechnique
- Technologies de l'information
- Réglementation et économie



“ Une matière plastique, c’est un peu comme les pièces d’un Lego® : il faut trouver la meilleure combinaison, de forme et de couleur, pour que le matériau réponde au cahier des charges. ”



Compétences

- Caractérisation des matériaux
- Élaboration et conception de matériaux
- Matériaux fonctionnalisés

Ingénieur chimiste Développement des matériaux

Afin de limiter l’émission des gaz à effet de serre, les énergies renouvelables doivent être développées. Mais leur production est intermittente ; il faut trouver un moyen de stocker l’énergie puis de la restituer à la demande. C’est là qu’intervient la filière hydrogène.

L’hydrogène peut être stocké sous 3 formes : solide, liquide ou gazeuse. Dans ce cas, il est comprimé sous haute pression dans des réservoirs pour lesquels **l’ingénieur-chercheur travaille à développer les matériaux les plus adaptés**. Ainsi, ces réservoirs peuvent équiper des véhicules fonctionnant grâce à des piles à combustible.

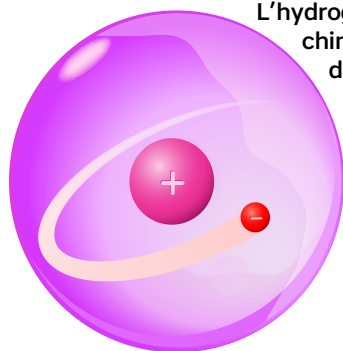
🎯 VOS MISSIONS

- Mettre au point des formulations de matériaux répondant à un cahier des charges.
- Mettre en œuvre les moyens de synthèse et/ou de mise en forme des matériaux.
- Caractériser les matériaux obtenus (nature, composition, forme, dimensions...).

🧑 AU QUOTIDIEN

« C’est un métier pluridisciplinaire. Pour mener à bien ces projets, il faut avoir des compétences en chimie, physico-chimie, caractérisation, thermique, mécanique ; c’est ce qui rend le travail intéressant ! »

Amélie Doctorat Chimie des polymères



L’hydrogène est l’élément chimique le plus abondant de l’Univers. Constitué seulement d’un proton et d’un électron, c’est aussi le plus simple et le plus léger.



Technicien Procédés des matériaux



Une fois définies la composition du matériau composite et l’architecture des pièces, le **technicien spécialiste réalise celles-ci selon différentes méthodes**.

🎯 VOS MISSIONS

- Mettre en œuvre des procédés matériaux prédéfinis en vue de l’étude des mécanismes à observer selon un cahier des charges.
- Assurer la conception, la réalisation et l’interprétation des essais.
- Caractériser les matériaux obtenus.
- Effectuer des analyses statistiques.
- Mettre en forme, synthétiser les résultats et rédiger des comptes-rendus d’essais ou des rapports de caractérisation.
- Gérer un ou plusieurs équipements d’élaboration et de caractérisation (maintenance, mise à jour, entretien, etc.).

🧑 AU QUOTIDIEN

Par exemple, pour renforcer la tenue à des pressions importantes de réservoirs polymère, le technicien met en œuvre la technique de l’enroulement filamenteuse, en suivant différentes étapes. Mise en œuvre de la machine et mise en place du programme de calcul réalisé par un ingénieur-concepteur sont complétées par différents tests de trajectoire afin de vérifier que la fibre sera déposée correctement sur le réservoir, assurant ainsi une étanchéité optimale. Cette partie bobinage est suivie de la cuisson dans une étuve.



Les **liners en polyuréthane** sont élaborés par rotomoulage à 40 °C, en une quinzaine de minutes.

“ Spécialiste en matériaux composites, je suis chargé de réaliser des pièces selon les différentes méthodes présentes dans le laboratoire. ”

Christophe BTS Plasturgie



Compétences

- Techniques d’élaboration de matériaux
- Acquisition de données
- Caractérisation des matériaux

LES MÉTIERS DE...



BRAVO !



Le CEA et l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire ont réalisé avec succès un premier essai simulant une situation accidentelle au sein du réacteur nucléaire expérimental Cabri. Cette expérience constitue la première étape d'un programme de recherche international dédié à l'amélioration de la sûreté des réacteurs.



LA SÛRETÉ & LA SÉCURITÉ

Le CEA, en tant qu'exploitant d'installations nucléaires de base, place la sécurité et la sûreté au cœur de ses priorités. Il se doit de protéger tant son personnel que le public et l'environnement. Il en est de même pour tous les autres risques (incendie, informatique, biologique...).

LA SÛRETÉ, PAS N'IMPORTE COMMENT

Travailler en milieu nucléaire impose un certain nombre de précautions : se protéger, protéger l'environnement, garder ses distances par rapport aux sources radioactives. Ainsi, il est important de suivre les dispositions et les mesures d'organisation ; et ce à chaque étape de fonctionnement d'une installation nucléaire de base, de la construction à l'arrêt et au démantèlement, ainsi qu'au transport des substances radioactives.

biologique, chimique et explosif (NRBC-E) et la cybersécurité, grâce à leur connaissance du nucléaire et leurs savoir-faire dans le domaine des technologies de détection et d'identification. D'autres équipes travaillent sur les aspects de protection et de sécurité lors de l'utilisation de nanomatériaux.

SÛRETÉ

- **Ingénieur**
Sûreté nucléaire
- **Technicien**
Radioprotectionniste

SÉCURITÉ

- **Technicien**
Nanosécurité
- **Ingénieur**
Cybersécurité

LA SÉCURITÉ AVANT TOUT

Les équipes du CEA sont impliquées dans la lutte contre la prolifération nucléaire et contre le terrorisme nucléaire, radiologique,





Des contrôles réguliers
Chaque année, plus de 100 inspections sont réalisées dans les installations nucléaires du CEA, par l'Autorité de sûreté nucléaire ou l'Autorité de sûreté nucléaire de défense, afin de vérifier que toutes les mesures ont bien été prises.

“

La sûreté est un élément omniprésent dans nos expériences, ce qui nous vaut de travailler en toute sérénité.”

Jean-Christophe Mastère
spécialisé en Sûreté nucléaire



Compétences

- Exploitation d'installations nucléaires
- Maintenance
- Réglementation des installations nucléaires et de la sécurité du travail

Ingénieur Sûreté nucléaire



L'ingénieur en sûreté nucléaire est à même de définir et faire respecter les consignes de sûreté dans les installations et d'accompagner leur déploiement. Il est en mesure de prévenir et de maîtriser en toutes circonstances l'ensemble des risques inhérents aux activités de recherche des équipes.

🎯 VOS MISSIONS

- Piloter l'accompagnement et la mise en œuvre de la politique du CEA dans le domaine de la sûreté.
- Réaliser des études et rédiger les dossiers de sûreté pour la réalisation d'installations ou d'équipements ou leur modification.
- Assurer la sûreté de l'exploitation.
- Former le personnel.
- Maintenir à jour les référentiels d'exploitation.
- Vérifier l'application des prescriptions.

👤 AU QUOTIDIEN

Le responsable du laboratoire est chargé de la conception des programmes et veille au bon déroulement des expériences jusqu'aux mesures, dans le respect des règles de sûreté. Dans les réacteurs expérimentaux du CEA, les équipes réalisent des expériences qui simulent la physique des réacteurs nucléaires de puissance et effectuent diverses mesures pour étudier tous les phénomènes physiques normaux ou accidentels. Les résultats sont ensuite exploités par les industriels pour améliorer les performances de leurs réacteurs et leur sûreté.

Technicien Radioprotectionniste

Le technicien en radioprotection assure la prévention des risques pour la santé et la sécurité des travailleurs susceptibles d'être exposés aux rayonnements ionisants, à tous les stades du cycle de vie des installations (conception, exploitation, déconstruction...), et il les maîtrise.

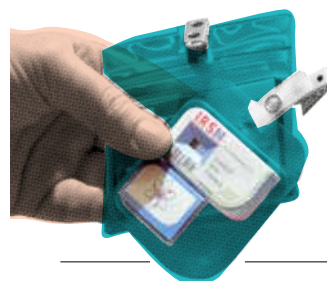
🎯 VOS MISSIONS

- Analyser des situations présentant des risques d'exposition radiologique compte tenu de la réglementation en vigueur.
- Utiliser et assurer le bon fonctionnement des appareils de mesure des rayonnements ionisants.
- Former les intervenants.
- Mettre en œuvre des mesures de prévention radiologique.
- Effectuer des mesures de contrôle radiologique.
- Interpréter les résultats de mesure (identifier, quantifier et caractériser toutes les sources de rayonnements ionisants).

👤 AU QUOTIDIEN

Dans une installation nucléaire, le technicien en radioprotection est le garant de la réglementation et s'assure qu'elle est bien comprise et appliquée. Dans un laboratoire, il prépare les échantillons, effectue des mesures radiologiques, exploite et diffuse les résultats de ces mesures, surveille les rejets liquides et gazeux des installations. Dans le domaine de la métrologie, il organise la mise en œuvre des moyens de mesure des installations, conseille dans le choix du matériel. Dans chaque contexte, il procède à la distribution et à l'exploitation des dosimètres et diffuse les résultats.

SOUS SURVEILLANCE



Les techniciens qui travaillent dans des installations nucléaires sont équipés de bagues, cartes ou ceintures, appelées « dosimètres » qui mesurent leur exposition aux rayonnements. Le suivi est quotidien, mensuel ou annuel et répond aux normes de radioprotection.



“
Dans le cadre de mon travail, je conseille et informe les travailleurs sur les aspects réglementaires.”

Ingrid Licence Techniques
nucléaires et radioprotection



Compétences

- Réglementation des installations nucléaires
- Ingénierie de radioprotection
- Dosimétrie des rayonnements ionisants
- Intervention en milieu radiologique



La plate-forme Nano-sécurité a pour mission de faciliter le déploiement responsable et compétitif de produits contenant des nanomatériaux et de développer des technologies industrielles innovantes. Ses équipes travaillent sur l'ensemble des questions de protection et de sécurité liées à la mise en œuvre des nanomatériaux.

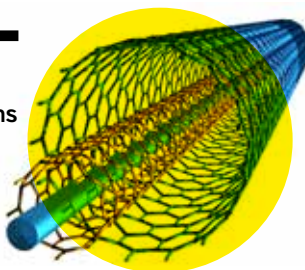


Compétences

- Traitement du signal
- Mesures physiques
- Expérimentation sur maquettes

À L'ÉCHELLE DU NANOMÈTRE

Le carbone peut se présenter sous forme cristalline, comme dans le graphite et le diamant. Lorsque ses atomes sont organisés en tapis monocouche, on obtient du graphène. Des feuillets enroulés sur eux-mêmes forment des nanotubes aux propriétés inouïes : 100 fois plus résistants et 6 fois plus légers que l'acier, excellents conducteurs électriques ou semi-conducteurs...



Technicien Nanosécurité

Au sein d'un laboratoire, le technicien conçoit et réalise des installations et plates-formes sur lesquelles il mène des expériences et acquiert l'ensemble des mesures recherchées. Dans le secteur des nanosciences et des nanotechnologies, il prend également en compte l'ensemble des questions de protection et de sécurité liées à la mise en œuvre des nanomatériaux.



VOS MISSIONS

- Appliquer le protocole de l'expérience.
- Mettre en configuration des installations (contrôle-commande, instrumentation, équipements expérimentaux...), veiller à l'approvisionnement en matières premières.
- Réaliser les expériences : conduite de procédés, acquisition de données, prélèvement d'échantillons.
- Mettre en forme les données acquises.
- Maintenir les installations en conditions de fonctionnement et les améliorer.



AU QUOTIDIEN

La réglementation l'exige : les industriels doivent déclarer chaque année leurs substances à l'état nanoparticulaire. Pour caractériser celles-ci avec précision, le technicien utilise des équipements de pointe en métrologie des nanoparticules. Comme ces nanomatériaux sont de dimension comprise entre 1 et 100 nanomètres environ, cette taille leur confère des propriétés physiques, chimiques ou biologiques particulières. Avec les chercheurs et ingénieurs, ils ont établi des intercomparaisons multitechniques sur des substances allant des plus simples aux plus complexes (nano-objets isolés, agrégats...). Ce travail a abouti à des protocoles de mesure fiables et reproductibles, qui sont mis à la disposition des entreprises pour leurs contrôles.

Lucas BTS en Chimie analytique, Physico-chimie, Chimie des matériaux

Ingénieur Cybersécurité

L'ingénieur conçoit et intègre des codes et des logiciels de simulation numérique. Sa préoccupation est la protection des données et des logiciels, via l'analyse et la vérification formelle, le codage, le chiffrement et la cryptographie. Paralysie d'un système ou d'une installation, prise en main d'objets à distance, piratage de comptes bancaires ou de données sensibles, espionnage, terrorisme... peuvent avoir des répercussions lourdes. Les ingénieurs en cybersécurité doivent contrer toutes ces failles en matière de sécurité informatique.



VOS MISSIONS

- Repérer les menaces, identifier les vulnérabilités et évaluer le risque encouru en termes d'impact.
- Concevoir et développer des méthodes et outils pour aider à assurer la sécurité des logiciels.
- Concevoir des solutions originales adaptées au besoin client, les implémenter (preuve de concept) et les évaluer (études de cas, benchmark).
- Élaborer et rédiger les propositions techniques.
- Former le personnel.



AU QUOTIDIEN

Si les systèmes numériques connectés deviennent défaillants, cela peut mettre en jeu la sécurité et les données privées. Avec son équipe, Étienne cherche à renforcer l'inviolabilité des systèmes et à rendre les technologies informatiques plus sûres. Ils développent des solutions pratiques pour mieux sécuriser les logiciels qui intégreront les objets connectés de demain. Ils mettent au point une méthode de création d'applications « confidentielles par construction » en exploitant la cryptographie homomorphe : une façon de chiffrer les données en les gardant sous forme cryptée pendant leur traitement algorithmique, donc inviolable pour celui qui n'a pas la clé. Autre stratégie de sécurisation : ériger des « barrières de confinement » entre plusieurs applications logicielles.



“

Je participe au développement d'algorithmes capables de repérer les écarts les plus infimes par rapport au fonctionnement normal, mais une partie de mon travail est un travail de terrain, de pédagogie. ”

Étienne Ingénieur – Spécialités Mathématiques appliquées et Informatique



Compétences

- Génie logiciel
- Sémantique de langages de programmation
- Ingénierie système logiciel
- Développement d'applications informatiques

LES MÉTIERS DES...

MATÉRIAUX

Que ce soit dans le domaine du nucléaire, des nouvelles technologies pour l'énergie ou des technologies pour l'information et la santé, la plupart des programmes de R&D du CEA comportent une partie dédiée au développement de matériaux innovants.

AU CŒUR DES PROCESSUS D'INNOVATION

La nature chimique, la forme physique (granulométrie et forme des particules, par exemple), l'état de surface et les différentes matières premières qui sont à la base des matériaux leur confèrent des propriétés particulières. Les chercheurs doivent les caractériser avant de les mettre en œuvre et de les adapter à chaque usage spécifique.

NANOMATÉRIAUX

La palette de leurs propriétés va s'enrichir avec l'arrivée des nanotechnologies, qui vont aussi faire économiser les matières premières, souvent rares et coûteuses. Dans ce domaine, il faut prendre en compte l'ensemble du cycle de vie des nanoparticules (calixarènes, nanofils, nanotubes...) et maîtriser les risques associés.

POUR L'ÉNERGIE

Le domaine des énergies nucléaire et renouvelables bénéficie en première ligne de ces recherches. Elles portent sur la synthèse, la durabilité, le contrôle de leurs propriétés, mais aussi la prédictibilité du comportement sous contrainte des matériaux.

NUCLÉAIRE

- **Ingénieur-chercheur**
Science des matériaux
- **Technicien**
Caractérisation
- **Ingénieur-chercheur**
Génie chimique

MATÉRIAUX INNOVANTS

- **Technicien**
Chimie des polymères
- **Ingénieur**
Nanomatériaux pour batteries
- **Technicien**
Couches minces

BRAVO !

En moins de 20 ans, le CEA a noué des partenariats avec la plupart des industriels et équipementiers automobiles, en France et à l'étranger.

Ingénieur-chercheur Science des matériaux



Venus, Poco, XPS, Arcorr... autant de boucles d'essais pour tester la tenue de divers échantillons soumis à des contraintes représentatives de celles subies au sein d'un réacteur nucléaire.

“ Le travail se fait en équipe : la partie expérimentale est assurée par des techniciens qui nous fournissent leurs résultats. ”

Catherine Doctorat
Science des matériaux



Compétences

- Caractérisation des matériaux
- Essais mécaniques
- Simulation numérique du comportement mécanique
- Comportement mécanique des matériaux

Les études, tant appliquées que fondamentales, en science des matériaux liées au nucléaire répondent à des demandes d'industriels gérant le parc français de réacteurs. En effet, leurs composants sont exposés à des phénomènes chimiques agressifs, auxquels s'ajoutent des contraintes liées à leur fonctionnement : frottements, usures... Il faut tester la dégradation des matériaux, puis extrapoler par modélisation leur tenue dans le temps, sur des dizaines, voire des milliers d'années. **Dans ce cadre, l'ingénieur-chercheur en science des matériaux mène différents projets, de l'analyse du cahier des charges à l'analyse croisée des résultats et des calculs.**

VOS MISSIONS

- Concevoir, développer et exploiter des dispositifs expérimentaux.
- Concevoir, développer, réaliser et exploiter des codes de calcul.
- Analyser des résultats expérimentaux ou de simulation.

AU QUOTIDIEN

L'un des problèmes récurrents des installations du parc nucléaire est la corrosion sous contrainte, qui entraîne l'oxydation et la fissuration des éléments comme les tubes des générateurs de vapeur. Les résultats des expérimentations sont analysés et interprétés, puis consignés dans des rapports et notes de synthèse.

AU CŒUR DE LA MATIÈRE

Appareil de diffraction des rayons X et des neutrons, microsonde électronique et nucléaire, microscope électronique en transmission et sonde atomique tomographique... autant de techniques de caractérisation de la microstructure des matériaux qui pourront être utilisées pour leur modélisation physique.



Technicien Caractérisation

Le technicien spécialisé dans la caractérisation physique et chimique des matériaux suit un projet depuis le dimensionnement des essais, la formulation des échantillons jusqu'à l'analyse des images obtenues.

VOS MISSIONS

- Réaliser la préparation des échantillons, les manipulations de prélèvement ou de mesure de certains éléments de caractérisation des matériaux.
- Mettre en œuvre les essais.
- Réaliser les analyses physiques et chimiques sur les matériaux.
- Participer à la rédaction du rapport de résultats.



AU QUOTIDIEN

Dans le milieu nucléaire, les études portent sur plusieurs types de matériaux, principalement le béton, l'argile et l'argilite (une roche argileuse). Les échantillons, créés en laboratoire, subissent toute une série de tests, destructifs ou non, dans le but de comprendre leur comportement mécanique. Ce sont des tests thermohydromécaniques : température, hydratation, pression... pour la couche argileuse dans laquelle seront entreposés les déchets nucléaires. Pour le béton, place aux essais mécaniques : tenue à la rupture, fluage... Ces matériaux peuvent être vieilliss artificiellement, mais aussi irradiés dans des casemates adéquates.

« J'ai eu la chance de participer à des projets de grande envergure, de l'échelle du labo à l'échelle industrielle. Un en particulier, qui nous a demandé deux ans de travail, pour réaliser des anneaux de bentonite de 2 m de diamètre, 60 cm d'épaisseur, 4 t, en une seule pièce ! »

Gaëtan DUT Chimie analytique



L'Institut de chimie séparative de Marcoule s'est donné pour objectif de développer la recherche pour un nucléaire durable et des énergies alternatives. Ses équipes innovent pour séparer, trier et recycler, conçoivent les matériaux pour les réacteurs du futur, en s'appuyant sur des recherches fondamentales en chimie et physico-chimie.



Compétences

- Techniques de mise en condition de matériaux
- Caractérisation de matériaux
- Microscopie
- Spectroscopie

Ingénieur-chercheur Génie chimique



Plusieurs pistes sont suivies pour réduire l'empreinte carbone de l'industrie du ciment : remplacer une partie des ingrédients par des additions minérales, puis évaluer les propriétés chimiques et mécaniques de ces matériaux.



Compétences

- Génie des procédés chimiques
- Physico-chimie des solutions
- Mécanique des fluides

Les méthodes utilisées dans un laboratoire ne sont souvent pas adaptées à la production industrielle d'un point de vue économique et technique. Le génie chimique étudie le passage d'une synthèse de laboratoire à un procédé industriel.

Spécialistes en génie chimique, des ingénieurs-chercheurs travaillent sur la thématique du béton afin de maintenir en bon état les bâtiments du parc nucléaire et d'être capables de prévoir comment ils vont vieillir. Ils étudient aussi le comportement de l'argile, dans le cadre des projets d'installations de stockage des déchets radioactifs.

VOS MISSIONS

- Modéliser des réactions de chimie, mécanique des fluides et thermique.
- Élaborer des schémas de procédés.
- Piloter les expérimentations à l'échelle du laboratoire.
- Assurer l'interprétation des résultats et leur diffusion.

AU QUOTIDIEN

La formulation du béton est simple : de l'eau, du sable, des cailloux et du ciment (roche calcaire et argile concassées). Les chercheurs peuvent ajouter des adjuvants organiques s'ils recherchent des propriétés particulières (fluidité, temps de prise écourté ou allongé...). Des armatures métalliques sont utilisées pour améliorer le comportement du béton en traction. Mais celles-ci, à plus ou moins long terme, entraînent des problèmes de corrosion : lorsque l'eau et l'oxygène pénètrent dans les pores du béton, des réactions électrochimiques se produisent au contact du fer.

« Je vis l'étude de la corrosion du béton comme une enquête policière ; je me sens l'âme d'une détective ! J'ai aussi collaboré avec des spécialistes en archéomatériaux pour étudier la corrosion de pièces en acier vieilles de 600 ans. De quoi satisfaire ma curiosité ! »

Valérie Thèse sur la corrosion

Technicien Chimie des polymères



Le technicien génie chimique met en œuvre les protocoles et les procédés chimiques.

VOS MISSIONS

- Réaliser des synthèses et explorer des variations de conditions expérimentales.
- Assurer la réalisation des montages expérimentaux, des manipulations et des observations associées, prélever les échantillons pour les analyses.
- Mener le premier niveau de résolution de problème (résultats hors spécification, par exemple).
- Apporter un support au développement de nouveaux procédés demandés par les projets.
- Participer à la rédaction des modes opératoires.
- Tenir à jour la documentation et dérouler le plan de contrôle des équipements dont vous avez la charge.

AU QUOTIDIEN

Chercheurs, ingénieurs et techniciens spécialistes des polymères (matières plastiques, caoutchoucs...) travaillent autant sur des matériaux utiles pour la Défense qu'au développement de solutions pour le stockage de l'énergie électrique (électrochimique et filière hydrogène). Par exemple sur les différents composants d'une pile à combustible : plaque bipolaire composite (un thermoplastique et un graphite) fabriquée par thermocompression ou membrane échangeuse de protons de très faible épaisseur, fonctionnalisées en laboratoire puis assemblées et testées.



Le laboratoire Lavoisier constitue un moteur d'initiative et d'échange pour les différents acteurs de la recherche en région Centre, tant pour la recherche que l'industrie dans le domaine des matériaux.



Je travaille sur des sujets sensibles, mais aussi sur des projets industriels, comme un câble sous-marin, que j'ai suivi de la synthèse de quelques grammes de polymère à l'objet final.

Benoît

DUT Chimie - Spécialisation Élastomères et polymères



Compétences

- Chimie analytique
- Mesures chimiques
- Génie des procédés chimiques

Ingénieur Nanomatériaux pour batteries



Utiliser des nanopoudres fait économiser des métaux précieux (platine, lithium...).



Compétences

- Chimie des nanomatériaux
- Nanofabrication
- Fonctionnalisation et intégration des nanomatériaux
- Caractérisation des nanoparticules

L'apport des nanomatériaux et des matériaux nanostructurés est stratégique dans le domaine de l'énergie. L'ingénieur-chercheur en synthèse et mise en œuvre de nano-objets participe à ces recherches. Les performances des alliages métalliques créés pour les réacteurs nucléaires du futur sont optimisées – résistance, conductivité... – par leur nanostructuration. En utilisant des nanopoudres, des éléments comme les membranes de piles à combustible ou les électrodes de batteries deviennent plus résistants mécaniquement, chimiquement et thermiquement.

VOS MISSIONS

- Synthétiser les nano-objets (nanopoudres, nanofils, nanotubes...).
- Les fonctionnaliser et les intégrer dans des dispositifs (capteurs, piles à combustible, composants pour énergie solaire...).
- Réaliser la caractérisation microstructurale et de valeur d'usage.

AU QUOTIDIEN

Le protocole de fabrication est toujours le même : les ingrédients solides sont mixés et portés à haute température pour interagir. La poudre obtenue est mélangée à un polymère pour former une sorte d'encre qui, étalée sur le collecteur, devient une électrode de batterie.

« Les batteries lithium-ion ont de multiples applications. Les études de recherche et développement de matériaux innovants pour ces composants sont orientées en fonction du cahier des charges du client. » **Lise Ingénieur INPG**

VOUS AVEZ-DIT NANO?

Le comportement des objets dépend de leur taille. À l'échelle nanométrique, leur surface est immense par rapport à leur volume ; il faut tirer parti de ce phénomène pour améliorer les échanges, l'adhérence ou certaines réactions chimiques.

Technicien Couches minces

Machines de dépôt sous vide, en phase vapeur ou chimique, enceintes à vide, générateurs plasma, systèmes de dopage... sont utilisés au quotidien par ces techniciens pour créer des couches minces. Les substrats – silicium, verre, titane... – varient selon l'application sur laquelle ils travaillent.

VOS MISSIONS

- Mettre en œuvre des procédés matériaux prédéfinis en vue de l'étude des mécanismes à observer selon un cahier des charges.
- Assurer la conception, la réalisation et l'interprétation des essais.
- Caractériser les matériaux obtenus.
- Effectuer des analyses statistiques.
- Mettre en forme, synthétiser les résultats et rédiger des comptes-rendus.
- Gérer un ou plusieurs équipements d'élaboration et de caractérisation (maintenance, mise à jour, entretien...).

AU QUOTIDIEN

Fabrice étudie le carbone sous différentes formes. Pour remplacer le matériau conducteur de cellules solaires, il caractérise de nouveaux matériaux puis teste les cellules sous une lampe spéciale qui simule l'ensoleillement réel. L'équipe élabore aussi des nanotubes de carbone, qui serviront en nanoélectronique ou qui, une fois torsadés sur une grande longueur, deviendront de véritables « câbles ». Fabrication et essais se déroulent en salle blanche, afin de limiter les poussières qui pourraient impacter les performances des matériaux créés.



“ Nous utilisons les microscopes électroniques à balayage, et demandons l'aide des spécialistes de la plate-forme nanocaractérisation pour des analyses plus poussées. ”

Fabrice Maîtrise Science des matériaux



Compétences

- Chimie des nanomatériaux
- Chimie des colloïdes
- Fonctionnalisation et intégration des nanomatériaux
- Caractérisation des nanoparticules

LES MÉTIERS DES...

NOUVELLES TECHNOLOGIES

Acteur clé de l'innovation industrielle, le CEA mène depuis des décennies des recherches de haut niveau en micro et nanoélectronique, dans les nanosciences et nanotechnologies. Ses équipes travaillent aussi sur des interfaces homme/machine, qui trouvent leur place dans les secteurs nucléaire, médical, automobile...

DES TECHNOLOGIES POUR L'INDUSTRIE... ET NOTRE QUOTIDIEN !

MICRO ET NANOÉLECTRONIQUE

Minatéc est le premier pôle européen, et l'un des premiers mondiaux, dédié aux micro et nanotechnologies. Le site regroupe 45 000 m² de laboratoires, bureaux et salles blanches, une plate-forme de nanocaractérisation, un centre dédié aux composants opto-électroniques, des chambres anéchoïques, une plate-forme de cybersécurité... 4 000 personnes, environ, y développent des microsystèmes qui viendront enrichir les objets du quotidien de nouvelles fonctions.

NANOSCIENCES

Les recherches dans ce domaine visent à comprendre et reproduire les phénomènes,

lois et propriétés des objets de dimensions nanométriques. À cette échelle, les chercheurs doivent prendre en compte le comportement quantique des atomes et molécules, très différent de l'environnement macroscopique.

ROBOTIQUE ET RÉALITÉ VIRTUELLE

Les interfaces homme/machine seront largement utilisées dans la vie quotidienne – transport, santé, jeux vidéo... – et l'industrie en faisant naître de nouvelles méthodes de conception et de production. Afin d'améliorer leur convivialité et leur intelligence, les recherches portent sur l'ingénierie, la robotique interactive, la réalité virtuelle...

MICROÉLECTRONIQUE

- **Ingénieur-chercheur**
Physique des composants
- **Ingénieur-chercheur**
Procédés et matériaux
- **Technicien**
Fabrication des composants

NANOSCIENCES

- **Chercheur microscopiste**

ROBOTIQUE

- **Ingénieur mécatronicien**
- **Ingénieur**
Traitement du signal
- **Technicien**
Contrôle non-destructif
- **Ingénieur-chercheur**
Réalité virtuelle

BRAVO !

Hercule Slim est le tout premier prototype d'exosquelette d'assistance à la marche, au port de charges et à l'utilisation d'outils. Il trouvera sa place dans le BTP, l'industrie, l'agriculture et le domaine militaire.



Dans les années 70, la « loi de Moore » (du nom de son inventeur) a prédit le doublement de la densité des puces électroniques tous les deux ans, et donc leur miniaturisation continue. Depuis, chercheurs et industriels de la microélectronique suivent scrupuleusement cette feuille de route, qui touche néanmoins à sa fin.



Compétences

- Physique des composants électroniques
- Matériaux semi-conducteurs
- Physique du solide
- Technologies microélectroniques

Ingénieur-chercheur Physique des composants

Cet ingénieur-chercheur conçoit et/ou développe de nouveaux composants (électroniques, optiques, électromécaniques...) pour apporter des solutions, à court et long termes, en vue de leur intégration dans un système.

VOS MISSIONS

- Analyser et préciser avec le client les spécifications nécessaires.
- À partir d'outils informatiques et des caractéristiques des matériaux, simuler le composant à réaliser.
- Étudier les matériaux.
- Sélectionner les variantes fonctionnelles vis-à-vis des tolérances de fabrication et des stratégies de test.
- Suivre la fabrication du composant par la plate-forme.
- Mesurer les performances du composant fabriqué, le comparer aux résultats attendus par simulation et, si nécessaire, l'optimiser pour atteindre les spécifications définies en amont.
- Tester les limites de robustesse du composant.

AU QUOTIDIEN

De par ses propriétés de semi-conducteur, le matériau de base des circuits intégrés est aujourd'hui encore le silicium. Extrait du sable par réduction chimique, il est cristallisé sous forme de barreaux de 20 ou 30 cm de diamètre, sciés en tranches de moins de 1 mm d'épaisseur qui sont polies jusqu'à obtenir des surfaces lisses à 0,5 nm près. C'est sur cette tranche, appelée « wafer », que des centaines de puces sont fabriquées simultanément.

En cherchant à réduire au maximum les dimensions des puces, de nouveaux problèmes physiques apparaissent. Par exemple, les matériaux, jusqu'alors bien isolés, deviennent perméables à l'échelle atomique, ce qui induit une perte d'énergie.

« Pour trouver des solutions, la simulation m'aide à mieux comprendre le fonctionnement du composant ; les expérimentations, à voir si la réalité correspond à ce que j'avais imaginé. » **Thomas Doctorat**



Ingénieur-chercheur Procédés et matériaux

Cet ingénieur-chercheur en microélectronique établit le cahier des charges de la filière technologique (microélectronique, nanotechnologie...) et des dispositifs de test.

VOS MISSIONS

- Établir le descriptif des masques destinés à réaliser un démonstrateur validant la technologie.
- Définir l'enchaînement des étapes technologiques et les mettre en œuvre.
- Rédiger et contribuer au processus de validation.
- Participer aux caractérisations physiques et assurer les contrôles spécifiques.
- Suivre en salle blanche la réalisation d'un lot et centraliser les informations techniques.
- Rédiger le rapport d'analyse.
- Analyser la conformité d'un lot, rédiger les fiches d'amélioration et participer au traitement des non-conformités.

AU QUOTIDIEN

Fabriquer des circuits commence par le développement de procédés, pour intégrer de nouveaux matériaux et, *in fine*, faire des puces plus performantes. Il faut avoir des connaissances en programmation et aussi en science des matériaux : savoir pourquoi ils sont bons ou mauvais, s'il sera possible de les fabriquer sur tel ou tel support... Pour cela, il faut étudier les articles existants sur le sujet puis concevoir des expériences. Pour réaliser un procédé de dépôt, il faut être capable d'estimer quelles vont être les matières premières et quelles seront les gammes de température et de pression.

« Aujourd'hui, les circuits sont devenus tellement complexes, ils intègrent des milliards de transistors, que cela dépasse presque l'esprit humain. Du coup, on les découpe en plein de petits problèmes simples, répartis sur plusieurs personnes. » **Yvan Thèse**



Impossible de concevoir un circuit de plusieurs millions d'éléments sans l'aide de l'informatique : tout créateur de puces recourt à la **conception assistée par ordinateur (CAO)**.



Chaque personne appréhende un problème simple et apporte ainsi sa contribution à la conception d'un circuit.



Compétences

- Technique de mise en condition des matériaux
- Caractérisation des matériaux
- Métallographie
- Microscopie

Technicien Fabrication des composants



Les opérations de **photolithographie** nécessitent une ambiance appelée « inactinique » : les lampes utilisées, le plus souvent jaunes (la plage de longueur d'onde ultraviolette est retirée), n'ont pas ou peu d'effets photochimiques sur les résines photosensibles recouvrant les wafers.

Le technicien de la filière technologique en microélectronique définit et met au point les nouvelles filières en s'appuyant au maximum sur les process et modules existants.

VOS MISSIONS

- Définir l'enchaînement des étapes technologiques de la filière.
- Rédiger les carnets de lots et contribuer à leur processus de validation.
- Répondre aux sollicitations de la plate-forme technologique et participer au planning.
- Réaliser les caractérisations physiques et assurer les contrôles spécifiques à la filière.
- Suivre en salle blanche la réalisation du lot et centraliser les informations techniques.

AU QUOTIDIEN

La fabrication de composants électroniques se déroule dans un laboratoire ultra-propre appelé « salle blanche » dans lequel les personnes sont gantées, bottées, masquées et vêtues d'une combinaison. Un spécialiste dessine les plans des circuits intégrés, l'ingénieur procédés définit les caractéristiques de chaque étape de fabrication avant de les indiquer au technicien qui, aux manettes, réalise les essais. Certains composants ont été développés pour répondre à de nouveaux problèmes physiques induits par la miniaturisation des puces, d'autres pour répondre à des besoins grand public.

« Les circuits électroniques sont partout : de la carte de paiement en passant par la voiture ou l'électroménager. Notre but est de développer des procédés pour améliorer leurs performances. » **Antonio DUT Mesures physiques**



Compétences

- Nanotechnologies
- Techniques de caractérisation
- Technologies microélectroniques
- Intégration de procédés

Chercheur microscopiste

Un nanomètre, c'est un milliardième de mètre (10^{-9} m), soit 50 000 fois plus petit que l'épaisseur d'un cheveu. **En descendant à cette échelle, les chercheurs microscopistes manipulent la matière atome par atome, l'élaborent, améliorent ses propriétés chimiques, physiques ou électroniques.**

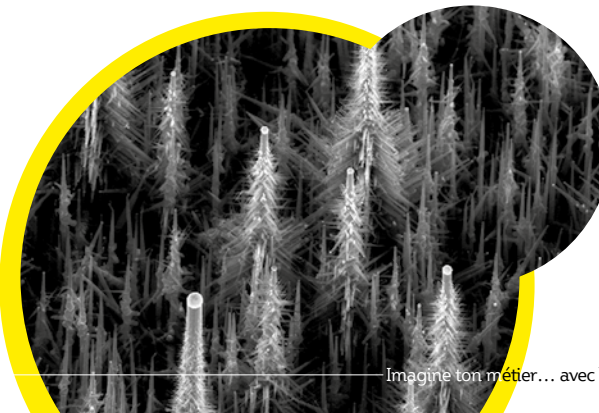
VOS MISSIONS

- Synthétiser les nano-objets (nanopoudres, nanofils, nanotubes...) et les fonctionnaliser.
- Intégrer les nano-objets dans des dispositifs (capteurs, piles à combustible, composants pour énergie solaire...).
- Réaliser la caractérisation microstructurale et de valeur d'usage.

AU QUOTIDIEN

Pour mener à bien leurs missions, les chercheurs développent des microscopes de plus en plus puissants. La résolution du microscope optique est limitée par la longueur d'onde des photons (0,1 micromètre). Dans un microscope électronique à balayage, les photons sont remplacés par des électrons ; cela procure des images de résolution nanométrique. Le microscope électronique en transmission, le plus puissant, fournit des images directes des structures atomiques des cristaux. Les microscopes à sonde locale – à effet tunnel ou à force atomique – peuvent arracher un atome d'une surface, le déplacer, le repositionner... Ce sont des outils d'observation et aussi d'élaboration de nano-objets.

« Côté applications, j'étudie des catalyseurs pour piles à combustible. Pour réduire la part de platine et le remplacer par un alliage platine-nickel, il faut savoir où et comment déposer tous ces éléments. » **Laure Thèse Science des matériaux**



Les microscopes électroniques servent aussi en biologie, afin d'étudier des virus et des cellules comme les synapses du cerveau. Il faut alors doser le faisceau d'électrons pour qu'il n'endommage pas l'échantillon.



Compétences

- Nanofabrication
- Fonctionnalisation et intégration des nanomatériaux
- Caractérisation des nanoparticules



L'expertise des chercheurs trouve de nombreuses applications pour l'aide aux personnes handicapées : bras articulés, systèmes d'assistance pour récupérer des fonctions motrices, interfaces tactiles pour malvoyants.

* Tokamak : enceinte d'étude des plasmas, en vue de la production d'énergie par fusion nucléaire.



Compétences

- CAO et méthodologie
- Automatisation contrôle-commande
- Génie mécanique et ingénierie
- Instrumentation embarquée

Ingénieur mécatronicien

Un système mécatronique, c'est un système intelligent au carrefour de la mécanique, de l'électronique et de l'informatique.

L'ingénieur-chercheur en mécatronique travaille en collaboration avec des partenaires internes ou externes pour concevoir et développer des robots. Il peut aussi être amené à proposer des solutions suite à l'expression d'un nouveau besoin autour d'un matériel existant.

🎯 VOS MISSIONS

- Mettre en place et utiliser des modèles mathématiques pour réaliser et optimiser les dispositifs à développer.
- Réaliser la conception d'ensemble et détaillée des dispositifs à l'aide d'outils logiciels adaptés (CAO).
- Coordonner la réalisation et l'intégration des éléments que vous avez conçus.
- Superviser les essais de validation des performances des systèmes que vous avez développés et synthétiser les résultats.

👤 AU QUOTIDIEN

Le CEA est souvent sollicité pour développer des systèmes de téléopération en milieux « hostiles », spécifiques au nucléaire, comme le cœur des réacteurs, les tokamaks* ou les cellules « chaudes » où sont étudiées combustibles, déchets et matériaux irradiés. Ces systèmes sont aussi utilisés dans l'industrie, pour optimiser les process automobiles, par exemple.

« Je travaille sur de nouvelles manières de commander une machine. L'interface haptique, qui exploite le sens du toucher, m'intéresse particulièrement. En voiture, par exemple, la vision et l'audition sont saturées, alors que les autres sens ne sont pas sollicités. Je suis en train de concevoir un bouton pour une future commande centralisée pour la climatisation, le GPS, la musique... que l'on pourrait utiliser sans regarder, en ressentant des sensations différentes – ça freine, ça vibre, c'est plus ou moins résistant... – pour reconnaître au toucher la fonction sélectionnée. » **José Doctorat en mécanique**

Ingénieur Traitement du signal

L'ingénieur-chercheur en traitement du signal analyse la problématique initiale d'un client pour en déduire le besoin technologique associé. Il interagit avec lui pour optimiser la preuve de concept à ses besoins et prendre en compte des contraintes techniques précises. Il peut s'agir, par exemple, de réaliser un système à base de capteurs.

🎯 VOS MISSIONS

- Modéliser le problème, simuler les solutions potentielles pour valider et définir la solution la plus adaptée en fonction des contraintes principales (système de capteurs inertiels, physiologiques, micro...).
- Comprendre le comportement des différents composants ou briques du système, mettre en œuvre leur caractérisation.
- Développer et optimiser des algorithmes de traitement du signal.
- Les valider grâce à des simulations, puis des expérimentations en laboratoire (tables tactiles, systèmes externes de référence, maquettes réduites des applications clients...) et en conditions réelles.

👤 AU QUOTIDIEN

Les systèmes embarqués confèrent des fonctions intelligentes à de nombreux produits quotidiens : mobiles, appareils ménagers et domotique, automobiles, stimulateurs cardiaques, caméras intelligentes... Ils joueront leur rôle dans l'Internet des objets, qui communiqueront entre eux, sans fil, via Internet. Côté industrie, les domaines d'application sont multiples : de la chaîne automatisée d'une usine... à la traçabilité des œufs bio !

Parce que les intelligences artificielles sont aujourd'hui partout, les chercheurs développent des connaissances en langages et modèles ainsi que des tests pour imaginer et développer des outils innovants.



“ Nous devons construire l'ingénierie de ces IA par la modélisation et l'analyse, sans jamais perdre de vue leur sûreté et cybersécurité. ”

Sara Master en Ingénierie électronique



Compétences

- Algorithme de traitement
- Informatique embarquée
- Mathématiques appliquées
- Traitement du signal



CIVA est une plate-forme logicielle multitechniques (ultrasons, courants de Foucault, radiographie). En prenant en compte la plupart des paramètres mis en jeu – le capteur, la géométrie ou le matériau de la pièce inspectée, les défauts recherchés... –, il est possible de sélectionner la méthode la plus appropriée, ou encore d'évaluer la performance et la pertinence d'une procédure existante.



Compétences

- Mesures physiques
- Mesures chimiques
- Métrologie

Technicien Contrôle non-destructif

Le contrôle non-destructif est un élément majeur du contrôle de la qualité et de l'intégrité des produits. Le technicien spécialiste est chargé de ces tests, afin de traquer les défauts invisibles à l'œil nu.

🎯 VOS MISSIONS

- Assurer les contrôles non-destructifs de produits et pièces, séparément et ensemble.
- Participer à l'élaboration des gammes de contrôle et les appliquer.
- Contrôler la conformité de fabrication de produits, pièces et ensembles.
- Contrôler la conformité d'application des règles, procédures, et consignes qualité.
- Garantir la qualité des mesures et diffuser les résultats.

👤 AU QUOTIDIEN

Les pièces peuvent être contrôlées grâce à des sondes ultrasons, mais aussi par analyse de courants de Foucault, induits dans la pièce en appliquant des ondes électromagnétiques. Associés à une caméra, des microcapteurs serviront, par exemple, au contrôle de pièces aéronautiques. Autre exemple, l'analyse du flux électromagnétique de dispersion est utile lors du contrôle de conduites flexibles pour l'exploitation pétrolière offshore.

Couramment mises en œuvre dans l'industrie, les procédures de classification de défauts doivent être toujours plus fiables et performantes. Des outils génériques d'apprentissage supervisé et des métadonnées rendent possibles des diagnostics automatiques ; ces méthodes servent à identifier et caractériser de façon fiable les anomalies détectées lors des contrôles.

« Nous testons aussi de nouveaux modèles de TCI (pour Traducteur Contact Intelligent) sur des surfaces non planes. Chaque détecteur a été découpé en plusieurs, formant une « gourmette » couplée à un laser qui adapte la loi de retard des ultrasons. » **Sébastien DUT Mesures physiques**

Ingénieur-chercheur Réalité virtuelle

Ces ingénieurs-chercheurs comprennent la problématique initiale d'un client pour la traduire en termes de problématique de vision par ordinateur.

🎯 VOS MISSIONS

- Modéliser le problème, simuler les solutions potentielles pour valider et définir la solution la plus adaptée en fonction des contraintes principales.
- Comprendre le comportement des différents composants/briques du système (capteurs visuels, logiciels de traitement, interface homme/machine...).
- Développer et optimiser des algorithmes de vision (reconnaissance d'objets ou d'activité, segmentation visuelle...) répondant à la problématique, puis en évaluer les performances en conditions de laboratoire et en conditions réelles.
- Interagir avec le client pour optimiser la preuve de concept à leurs besoins, et prendre en compte des contraintes techniques et de coût.

👤 AU QUOTIDIEN

Les simulations de réalité virtuelle sont expérimentées dans un « cave » (pour *Cave Automatic Virtual Environment*), une salle immersive en 3D. L'opérateur est plongé dans l'environnement virtuel grâce à des lunettes stéréoscopiques ; comme celles-ci sont « trackées », la projection d'images est synchronisée à son point de vue. Il interagit avec les objets grâce à un bras haptique, qui lui transmet le poids, la résistance, le frottement, les chocs...

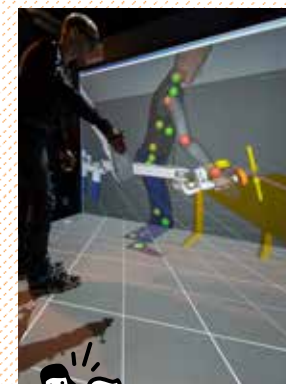
Grâce à ces dispositifs, les chercheurs vérifient et valident des concepts et process avant la réalisation de prototypes. Ils peuvent aussi établir la cotation ergonomique de postes de travail : évaluer la pénibilité des tâches, repérer les postures pouvant entraîner des troubles musculosquelettiques... Enfin, les interfaces haptiques entrent dans la formation d'opérateurs, dans les domaines de la peinture, du pilotage, mais aussi de la chirurgie !

« Il faut faire de la programmation, du graphisme via des logiciels de jeu vidéo ou de CAO... et tester ces solutions ; c'est cet aspect multidisciplinaire de mon travail qui me plaît. »

Vincent Thèse Robotique et réalité virtuelle



Qu'est-ce qu'un cobot ?
C'est un robot qui permet une réelle interaction entre l'opérateur et la machine, grâce à laquelle il gagne en dextérité, puissance, sûreté, précision et qui allège ses efforts et donc la pénibilité des tâches.



Compétences

- Architecture et algorithmes
- Intelligence artificielle systèmes experts
- Mathématiques appliquées
- Traitement d'image

LES MÉTIERS DE...

LA DÉFENSE

Le CEA intervient dans le domaine de la Défense nationale, la lutte contre la prolifération des armes nucléaires mais aussi de la surveillance de l'environnement et de la Terre (séismes et tsunamis).

FORCE NUCLÉAIRE CÔTÉ FACE

À ce titre, le CEA conçoit, fabrique, maintient en conditions opérationnelles, puis démantèle les têtes nucléaires des forces nucléaires aéroportée et océanique françaises. Il intervient également sur les réacteurs qui équipent les sous-marins et porte-avions à propulsion nucléaire de la Marine nationale.

SIMULATION – CÔTÉ PILE

Depuis la fin des essais nucléaires français, le CEA mène le programme « Simulation » qui consiste à reproduire, de façon numérique, le fonctionnement des armes nucléaires. Pour mener à bien ce projet, les équipes utilisent des supercalculateurs pour résoudre les équations nécessaires à la modélisation. Le CEA a développé de grandes installations, telles que l'immense appareil de radiographie Epure pour étudier l'état et le comportement

hydrodynamique des matériaux dans les conditions rencontrées durant la phase prénucléaire du fonctionnement de l'arme, et le laser Mégajoule, pour mener des expériences de fusion thermonucléaire, qui apparaît lors du fonctionnement nucléaire de l'arme.

ARMES AU POINT

Le CEA apporte une assistance à maîtrise d'ouvrage à la Direction générale de l'armement sur des activités de défense conventionnelle, les effets des armements et la vulnérabilité des systèmes d'armes.

SURVEILLANCE

- **Ingénieur R&D**
Instrumentation géophysique
- **Technicien analyste**
Événements sismiques

ARMEMENT

- **Technicien**
Métrologie optique
- **Ingénieur**
Électromagnétisme

BRAVO !

La France a ratifié le Traité d'interdiction complète des essais nucléaires en 1998. Parmi les 44 Etats ayant des connaissances ou des installations nucléaires, il manque la signature et/ou la ratification de quelques pays pour qu'il entre en vigueur. Pour traquer les essais nucléaires, un réseau de 321 stations de mesure et 16 laboratoires d'analyse de radionucléides est déployé sur tout le globe.

Ingénieur R&D Instrumentation géophysique



Cenalt
Centre d'alerte aux tsunamis créé par le CEA, sa zone de surveillance s'étend de l'Atlantique Nord-Est à la Méditerranée occidentale. Il a pour mission d'alerter les autorités nationales en charge de la protection de la population et d'informer les autorités des pays riverains de cette zone géographique.

“
On part d'une idée très en amont, on voit la réalisation, jusqu'à l'installation dans des stations opérationnelles. **”**

Guillaume Doctorat en Acoustique



Compétences

- Traitement et visualisation de données
- Détecteurs
- Instrumentation générale
- Mesures physiques

Cet ingénieur est un spécialiste de l'instrumentation géophysique tels les capteurs sismiques et infrasonores. Il traduit le besoin scientifique et technologique en concept instrumental, effectuant des recherches et développements sur des prototypes ou améliorant des technologies existantes.

Les séismes, les vagues, le vent, les éruptions volcaniques, les tirs de carrière, les trains et les explosions provoquent des ondes sismiques. L'amplitude et la fréquence de ces signaux varient selon leur énergie, leur distance ou leur nature. Les ingénieurs conçoivent et développent des moyens et techniques de pointe pour les détecter, les caractériser et les mesurer en temps réel.

VOS MISSIONS

- Étalonner et mesurer les capteurs.
- Garantir leur bon fonctionnement à distance.
- Effectuer une veille technologique et développer des prototypes.
- Rédiger les documents de synthèse.
- Assurer l'expertise en cas de dysfonctionnement.

AU QUOTIDIEN

Guillaume travaille sur les capteurs sismiques et infrasonores. Il réalise des maquettes et prototypes, en assure la mesure et l'étalonnage. Pour vérifier leurs performances, il les installe sur le terrain et les compare avec les capteurs du marché ; il faut s'assurer que tout fonctionne à distance et 24 heures sur 24 ! Au préalable, il fait une étude géologique afin de déterminer le terrain le plus favorable pour les placer et recueillir les ondes sismiques. À l'interface entre les installateurs et les personnes en charge du traitement des signaux, il rédige les spécifications des capteurs et assure les expertises en cas de problèmes relevés par les analystes.

Technicien analyste Événements sismiques

Ce technicien utilise des logiciels de traitement de signaux et/ou d'images en exploitation opérationnelle. Il gère les alertes vis-à-vis de l'extérieur et suit l'évolution des capacités du système de détection. Il participe à l'interprétation des données, l'élaboration des documents d'analyse et de synthèse et contribue à l'amélioration continue des outils, en étant force de proposition.

VOS MISSIONS

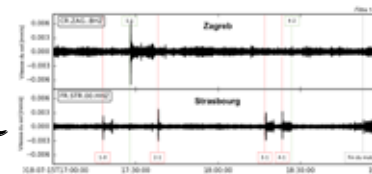
- Analyser et caractériser les événements sismiques ou les tsunamis.
- Utiliser les logiciels de supervision.
- Suivre les systèmes de détection.
- Participer à l'interprétation des données, à la rédaction des documents de synthèse.
- Transmettre les alertes aux responsables pour informer les autorités.

AU QUOTIDIEN

Christine est chargée de l'analyse des signaux sismiques enregistrés par les 40 capteurs répartis sur le territoire métropolitain, mais aussi par ceux installés dans le cadre de collaborations internationales. Elle est à même de localiser l'épicentre des événements enregistrés. Grâce à des logiciels interactifs, elle fait des mesures de temps d'arrivée des ondes sismiques, de leurs amplitudes et de leurs périodes pour caractériser l'énergie dégagée par chaque séisme.



**UNE FINALE
DE FOOT QUI
FAIT TREMBLER
LA TERRE**



Les sismographes ont enregistré des événements sismiques... lors de la finale France-Croatie 2018. Lorsqu'un but était marqué par l'équipe de France, les sismographes de Strasbourg s'emballaient, idem en Croatie !



“
Je fais partie d'une équipe de techniciens, ingénieurs, concepteurs de capteurs, installateurs ; nous surveillons les mouvements de la Terre. **”**

Christine
Licence Mesures physiques



Compétences

- Analyse et caractérisation des événements sismiques
- Analyse et caractérisation des tsunamis
- Supervision à distance



Les faisceaux du **laser Mégajoule** s'appuient sur des composants spéciaux, les « réseaux de diffraction focalisants », dont la géométrie (déviations, distance de focalisation) est caractérisée. Ils servent à mesurer différentes caractéristiques optiques (tache de focalisation, qualité de la surface d'onde, rugosité, défauts d'aspect...) avant de viser une cible.

“

Je passe de l'optique à la mesure, de l'assemblage à l'informatique, c'est varié.”

Odile Licence professionnelle Métiers de l'instrumentation, de la mesure et du contrôle qualité, optique



Compétences

- Instrumentation générale
- Métrologie
- Maintenance des appareillages de métrologie

Technicien Métrologie optique



La métrologie est l'ensemble des techniques utiles pour faire des mesures et les interpréter. **Le technicien conçoit l'expérimentation en lien avec un ingénieur. Il a en charge l'assemblage et l'intégration des éléments nécessaires à ses essais, puis la vérification de l'ensemble. Il réalise les expériences, fait l'acquisition des mesures et les caractérise.**

VOS MISSIONS

- Participer à la conception, au développement ainsi qu'au suivi de la réalisation et de l'intégration sur site de systèmes couplant des composants optiques et électroniques et des moyens de caractérisation.
- Réaliser les mesures selon les procédures adoptées.
- Assurer la traçabilité des caractérisations effectuées.
- Participer à l'interprétation des résultats expérimentaux.
- Rédiger les documents techniques.
- Assurer le maintien en conditions opérationnelles des bancs de métrologie.

AU QUOTIDIEN

La métrologie optique est utilisée pour quantifier des distances, des déformations, des déplacements, mais aussi mesurer les propriétés optiques mêmes d'un système ou d'un matériau (indice, luminance, longueur d'onde). Le laser Mégajoule compte pas moins de 240 faisceaux : Odile doit réaliser tous les contrôles optiques des pièces avant une expérience – rayons de courbure, défauts de polissage de la surface ou d'aspect, rugosité. Ses instruments de prédilection sont le radiomètre, l'interféromètre ou le microscope optique.

Ingénieur Électromagnétisme

Les ondes électromagnétiques sont omniprésentes : à la radio, la télévision, dans le téléphone, les ordinateurs via le wi-fi, les oreillettes via Bluetooth. Dans le domaine militaire, elles participent à la Défense à double titre : pour neutraliser l'électronique des systèmes embarqués, mais aussi pour leur capacité à détecter la présence ennemie ou à ne pas être repéré. **L'ingénieur en électromagnétisme maîtrise aussi bien les phénomènes électriques que magnétiques.**

VOS MISSIONS

- Concevoir et organiser les dispositifs expérimentaux.
- Interpréter les données recueillies.
- Analyser les résultats expérimentaux, avec parfois la simulation.
- Proposer des recommandations.

AU QUOTIDIEN

La surface équivalente radar est la propriété physique qui indique comment se réfléchit une onde magnétique sur des objets. Plus la surface est faible, moins l'objet est détectable. Un enjeu majeur pour les engins militaires, les missiles, les navires qui se doivent d'être furtifs, discrets, voire invisibles sur les radars ! Sylvain mesure ces surfaces, simule l'ensemble des paramètres de l'objet, sa forme, la nature des matériaux constitutifs des revêtements, le rayonnement radar auquel il est soumis. Tout cela a pour but de tester l'influence de différentes longueurs d'onde ou angles d'incidence, et d'envisager le maximum de configurations possibles. Il travaille parfois pour le compte d'industriels de la Défense en collaboration avec la Direction générale de l'armement.



Un univers feutré

Les tests expérimentaux sont réalisés en chambre anéchoïque, dont les parois absorbent les ondes sonores ou électromagnétiques, de plus de 100 m de longueur. Tous les détails, tous les défauts sont passés au crible pour qu'aucun objet ne soit perçu par l'onde radar adverse.

“

Je participe à la conception de la « cape d'invisibilité » des objets que nous testons.”

Sylvain Master en Electronique, compatibilité électromagnétique



Compétences

- Interaction laser-matière
- Physique des plasmas

LES MÉTIERS DE...

LA SIMULATION NUMÉRIQUE

La simulation numérique désigne le procédé selon lequel on exécute un ou plusieurs programmes sur des ordinateurs en vue de représenter un phénomène physique.

Au niveau scientifique, elle est une adaptation aux moyens numériques des modèles mathématiques. Elle sert à étudier le fonctionnement et les propriétés d'un système et à en prédire l'évolution.

OMNIPRÉSENTE

Aujourd'hui, la simulation numérique est utilisée dans de nombreux domaines de recherche et développement – mécanique, mécanique des fluides, science des matériaux, astrophysique, physique nucléaire, aéronautique, climatologie, météorologie, physique théorique, mécanique quantique, biologie, chimie... – ainsi qu'en sciences humaines – démographie, sociologie... Elle intervient aussi dans des secteurs comme celui de la banque et des finances.

compétitivité). Elle aborde aussi les enjeux de sûreté ou de sécurité par une meilleure compréhension des situations accidentelles dans des domaines aussi variés que le nucléaire, l'automobile ou l'aéronautique. Au CEA, elle intervient lors des étapes de R&D dans les secteurs des hautes technologies et de la Défense. Les études relatives à la santé et les recherches fondamentales s'appuient aussi sur nombre de simulations et génèrent de grands volumes de données (le big data).

SUPERCALCULATEURS

- **Responsable opérationnel**
Administration des systèmes informatiques
- **Ingénieur-chercheur**
Développement de codes de calcul

SIMULATION

- **Chercheur théoricien**
- **Ingénieur-chercheur**
Astrophysique

HYPEREFFICACE

Dans la logique de faire plus vite, mieux... et moins cher, la simulation numérique présente tous les atouts et répond à de nouveaux objectifs d'ordre économique (réactivité, anticipation et

TÉRAFLOP

Cette unité de mesure correspond à 1 000 milliards d'opérations par seconde. Au CCRT, ce sont 15 millions de milliards d'opérations qui sont effectuées chaque seconde !!!

BRAVO !

Depuis 2013, le Centre de calcul recherche et technologie (CCRT) est l'un des très rares centres de calcul européens ouverts à des partenaires de la recherche et de l'industrie. Il constitue la plate-forme centrale d'hébergement et de traitement des données issues du projet national « France Génomique ».





Dans le cadre du programme Simulation, le **supercalculateur TERA 1000** lève les premiers verrous technologiques de l'exaflop (1 milliard de milliards d'opérations par seconde).

“ En parallèle de l'exploitation d'un supercalculateur, nous concevons déjà la génération suivante. ”

Patrice DEA Informatique parallèle



Compétences

- Systèmes d'exploitation
- Sécurité informatique
- Architecture de réseaux informatiques et de systèmes de stockage

Responsable opérationnel Administration des systèmes informatiques

Le responsable administration gère un parc de supercalculateurs et veille à leur bon fonctionnement, en alliant puissance et sécurité.

Avec les ingénieurs et chercheurs, il développe des moyens de calcul, des logiciels répondant à leurs méthodologies (modélisation, simulation, validation). L'autre facette de son poste est la R&D, car les cycles de vie des supercalculateurs sont courts, de 3 à 5 ans ; à chaque saut de génération, la puissance de calcul gagne un facteur 10 à 100.

VOS MISSIONS

- Concevoir et mettre en œuvre les nouveaux systèmes.
- Valider l'installation et l'intégration des nouveaux outils dans l'environnement de production.
- Assurer le bon fonctionnement des supercalculateurs en garantissant le maintien à niveau et la disponibilité des différents outils et logiciels systèmes.
- Assurer tout ou partie de l'administration des composants des supercalculateurs.
- Assurer le maintien en conditions de sécurité des systèmes d'information.
- Piloter et contrôler les activités sous-traitées.

AU QUOTIDIEN

Patrice coordonne l'ensemble des équipes qui travaillent dans le Centre de calcul et assurent son fonctionnement quotidien. Ils sont responsables des robots de stockage des données, des supercalculateurs et des réseaux. Patrice est aussi en lien avec les utilisateurs qui réalisent des simulations numériques et avec les maîtres d'ouvrage qui financent le Centre. La seconde partie de son travail a trait au développement système. Les supercalculateurs parallèles sont des « formule 1 » qui repoussent les limites en termes de puissance de calcul, de gestion des ressources, de logiciel, de communication entre chaque opération. Comme l'informatique de ces supercalculateurs est très spécifique, il travaille particulièrement sur des systèmes de fichiers et de gestion des flux de données.

Ingénieur-chercheur Développement de codes de calcul



En atteignant des niveaux inégalés de simulation et de modélisation des phénomènes les plus complexes, les supercalculateurs s'imposent comme des outils essentiels de recherche et d'innovation. **L'ingénieur-chercheur développe des logiciels de simulation numérique qui, mis à disposition d'autres physiciens-chercheurs, les aideront à résoudre les problèmes scientifiques auxquels ils sont confrontés.**

VOS MISSIONS

- Choisir, parmi les modèles disponibles, celui adapté au problème posé.
- Adapter si besoin le modèle au code numérique de simulation.
- Élaborer et tester les codes de calcul.
- Suivre les règles de programmation, les tests unitaires, la validation, les versions...

AU QUOTIDIEN

Selon Michel, la simulation n'est rien d'autre qu'une expérience virtuelle. Par la mise en équation, il cherche à réduire la complexité de ce qu'étudient les expérimentateurs et travaille de façon complémentaire avec eux. Plus l'objet à modéliser est complexe, plus le code est difficile à concevoir. Une grande partie de son travail consiste à programmer, à « faire du code ». Les résultats produits par les simulations sont retranscrits sous forme d'animations présentées sur des murs d'images. Ces dernières fonctionnent essentiellement comme des aides à la décision pour les théoriciens et les chercheurs en laboratoire, pour orienter les recherches vers une voie ou une autre.

Les 3 faces de la simulation
Aujourd'hui, la simulation demande trois types de compétences. Les mathématiques appliquées pour modéliser les phénomènes, les mettre en équations. L'informatique, utilisant l'algorithmique, pour concevoir les codes de calcul adaptés aux machines. Enfin, une bonne connaissance du domaine étudié.

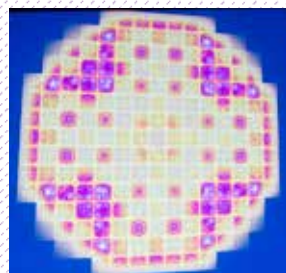
“ Mon travail concilie mon envie de savoir si l'Univers peut se réduire à quelques équations et mon goût pour celles-ci. ”

Michel Doctorat et thèse en Physico-chimie



Compétences

- Analyse numérique
- Développement codes et calculs
- Mathématiques appliquées



“
Je voulais voir ma passion des maths prendre corps dans des applications tangibles : la simulation m’a comblé ! **”**

Pierre Doctorat et thèse en Traitement du signal et de l’image



Compétences

- Analyse numérique
- Développement codes et calculs
- Mathématiques appliquées

Chercheur théoricien

Afin de valider les modèles, de mesurer les paramètres d’entrée et leur influence, les chercheurs comparent les résultats obtenus à des expérimentations. Si ceux-ci diffèrent de la réalité, de nouvelles simulations sont lancées, en faisant varier les paramètres, en intégrant ou affinant d’autres phénomènes... **L’enjeu du chercheur en simulation est de réduire au maximum l’écart, appelé « incertitude », entre réalité et modèle numérique.**

VOS MISSIONS

- Effectuer la modélisation mathématique des thématiques de recherche étudiées.
- Sélectionner les méthodes numériques appropriées à leur résolution.
- Analyser par voie numérique les résultats obtenus.
- Comparer avec l’expérimentation et ajuster la modélisation si nécessaire.

AU QUOTIDIEN

Les codes de calcul produits par les équipes du CEA sous la forme d’outils de calcul scientifique servent des besoins de R&D et sont utilisés par Orano, comme aide à la conception des futurs réacteurs, et par EDF, pour optimiser le rechargement des cœurs des centrales actuelles. Leur expertise et leur façon d’aborder les algorithmes et de concevoir la simulation sont reconnues par les industriels... Avec Apollo 3, c’est un nouveau défi qui a été relevé : proposer un code « multifilières », c’est-à-dire exploitable à la fois pour les réacteurs actuels et pour la génération suivante. Pour cela, Didier cherche à favoriser la cohérence entre les équipes et s’applique à faire respecter les jalons qui rendront le logiciel opérationnel industriellement dans le temps imparti et le feront évoluer.

Ingénieur-chercheur Astrophysique

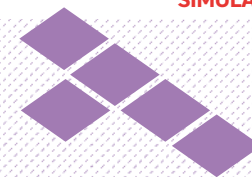
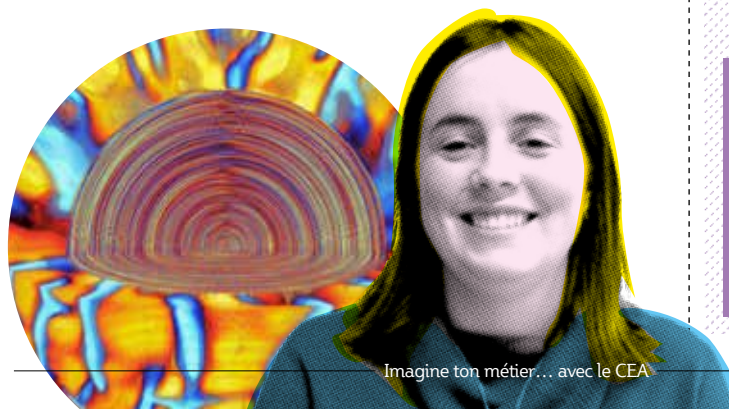
L’ingénieur-chercheur en astrophysique conduit des recherches fondamentales et/ou appliquées. Observation directe par satellites et simulation numérique sont complémentaires pour comprendre tous les phénomènes qui se produisent dans l’Univers !

VOS MISSIONS

- Proposer des modèles et concevoir, développer, réaliser, exploiter des codes de calcul en astrophysique.
- Concevoir, développer et exploiter des dispositifs expérimentaux.
- Analyser des résultats expérimentaux ou de simulation et proposer des recommandations.
- Être force de proposition et contribuer aux évolutions dans ce domaine de recherche.

AU QUOTIDIEN

La thèse de Constance porte sur l’étude des champs magnétiques et des plasmas solaires et ceux nécessaires à la fusion sur Terre. Elle travaille sur la structure interne du Soleil et effectue des calculs pour le sonder, du cœur, qui ressemble à un oignon, avec plusieurs couches, vers la surface. Cette enveloppe est agitée de mouvements de matière, cela fait comme une dynamo. Elle essaie de comprendre comment interagissent ces deux champs magnétiques générés. Sa première année de thèse a été divisée en deux : 9 mois au Département d’astrophysique de Saclay pour reproduire le fonctionnement du Soleil via de grands codes numériques et des simulations, et 3 mois à Cadarache pour étudier le plasma dans un tokamak. Comme il est important de connaître les instruments qui font les mesures et les expériences qui vont être menées, elle est en relation avec les personnes qui font ces expérimentations.



Pour reproduire le comportement interne du Soleil, les modèles théoriques le mettent en équation dans ses 3 dimensions. Opération très complexe qui nécessite de « découper » l’étoile en un milliard de petits cubes et de déterminer la température, la densité et la vitesse des gaz pour chacun d’eux. Grâce aux supercalculateurs (cela a tout de même demandé 15 millions d’heures de calcul), 97 % du volume du Soleil ont été modélisés en 2014.

“
Ces 3 années de thèse me permettent de commencer ma vie de chercheuse. **”**

Constance Thèse



Compétences

- Astrophysique
- Astronomie
- Astrophysique de laboratoire
- Physique mathématique et théorique

FORMATIONS INITIALES ET FORMATIONS CONTINUES, L'INSTN VOUS ACCOMPAGNE



L'INSTN est une école de spécialisation adossée au CEA. Ses formations portent sur les énergies bas-carbone (nucléaire, nouvelles technologies de l'énergie, stockage...) et les sciences et techniques qui s'y rattachent, comme la radioprotection ou les matériaux, ainsi que sur les technologies pour la santé, dont les applications médicales du nucléaire et l'imagerie.

Au plus proche des industries et de la recherche, l'école adapte ses enseignements pour répondre à leurs besoins. Elle s'appuie sur des experts issus du CEA et de partenaires académiques, industriels

ou hospitaliers, et sur des plateformes uniques (chantiers-école, simulateurs...). Elle délivre des diplômes de formation initiale et propose des formations continues de tous niveaux (opérateurs, techniciens, doctorants, ingénieurs...).

L'école est membre du réseau des écoles supérieures du développement durable du ministère de la transition écologique. En France, elle est implantée sur cinq sites : Cadarache, Cherbouurg, Grenoble, Marcoule et Saclay tout en étant, au plan international, un « Collaborating center » de l'AIEA. ♦

1 450
enseignants,
intervenants
et experts



+ de 40 titres
et diplômes de
bac+1 à bac+7



1 400
étudiants
en formation
diplômante

6 700
stagiaires
en formation
continue

1 900 doctorants



WWW-INSTN.CEA.FR

DÉCOUVRIR LES MÉTIERS SCIENTIFIQUES

Espace jeunes
Apprendre et comprendre les sciences & les technologies

ESPACE ENSEIGNANTS CONTACT MÉDIATHÈQUE ACCUEIL CEA.FR

S'INFORMER / RÉVISER MULTIMÉDIA / ÉDITIONS DÉCOUVRIR LES MÉTIERS SCIENTIFIQUES ACTUALITÉS

Si vous êtes curieux, rigoureux et que vous aimez travailler en équipe, les métiers scientifiques sont peut-être faits pour vous !

Découvrez de multiples témoignages de techniciens, ingénieurs et chercheurs, et les formations qu'ils ont suivies.

Vous souhaitez vous faire une idée concrète ? Entrez dans nos laboratoires grâce à notre collection de vidéos sur le site

CEA.FR/JEUNES

ÉNERGIE
23 fiches métiers

SANTÉ
12 fiches métiers

INNOVATION
23 fiches métiers

FLASHÉZ POUR ACCÉDER AU SITE !

Crédits photos : Couverture : P.Avavian - D.Morel - Adobestock - p.2 : P.Stroppa - p.4 : L.Chamussy/Sipa - **SANTÉ** : p.6 : P.Stroppa - p.8 : C.Dupont - P.Stroppa - p.9 : F.Rhodes - p.10 : F.Rhodes - p.11 : P.Stroppa - p.12 : L.Godart - P.Avavian/Clinatéc - p.13 : P.Dumas - J-F Mangin, V.El Kouby, M.Perrin, Y.Cointepas, C.Poupon - **ÉNERGIE** : p.14 : P.Stroppa - p.16 : G.Lesénéchal - P.Stroppa - p.17 : F.Rhodes - p.18 : P.F.Grosjean - p.19 : L.Godart - S.Le Couster - p.20 : E.Stanislas - P.Dumas - p.21 : S.Le Couster - p.22 : P.Avavian - J.B.Evrard/EO - p.24 : P.Avavian - Drone Savoie - p.25 : P.Avavian - p.26 : L.Godart - p.27 : P.Avavian - p.28 : C.Dupont - p.29 : P.Stroppa - **SURETE-SECURITE** : p.30 : L.Zylberman - p.32 : S.Le Couster - L.Zylberman - p.33 : L.Godart - L.Zylberman - p.34 : D.Guillaudin - p.35 : L.Godart - **MATERIAUX** : p.36 : P.Stroppa - p.38 : P.Stroppa - p.39 : F.Rhodes - P.Stroppa - p.40 : F.Rhodes - p.41 : P.Stroppa - p.42 : P.Avavian - p.43 : J.Fontaine/PhotographeFrance - D.Guillaudin - **NOUVELLES TECHNOLOGIES** : p.44 : L.Godart - P.Stroppa - p.46 : P.Stroppa - p.47 : L.Godart - P.F.Grosjean - p.48 : L.Godart - p.49 : D.Morel - P.Gentile - p.50 : P.Stroppa - p.51 : P.Stroppa - p.52 : P.Stroppa - p.53 : P.Stroppa - **DEFENSE** : p.54 : L.Godart - p.56 : Cadam - p.57 : C.Dupont - p.58 : P.Labèguerie - P.Stroppa - p.59 : CEA - **SIMULATION NUMERIQUE** : p.60 : P.Stroppa - p.62 : CEA - p.63 : H.Raguet/Science&Avenir - p.64 : L.Godart - P.Stroppa - p.65 : M.Klotz - **INSTN** : p.66 : L.Godart - **ESPACE JEUNE** : p.67 : Une Image à Part. **Création & réalisation :** Alexandre Cheyrou

CEA - mai 2019 - compléments INSTN, Energie page 15 et Chiffres-clés Décembre 2022



WWW.CEA.FR
SUIVEZ-NOUS SUR
LES RÉSEAUX
SOCIAUX



cea