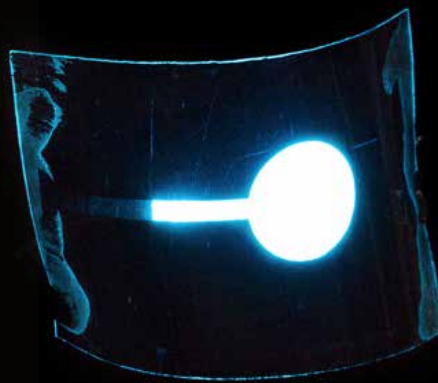


# La lettre de CNRS Ingénierie

> n°8 Février 2024



En premier lieu, je tiens à vous présenter, au nom de l'institut, mes meilleurs vœux de bonheur et de réussite pour cette année 2024. Vous l'aurez sans doute remarqué, les dix instituts du CNRS se sont dotés fin 2023 de noms d'usage permettant à l'organisme d'affirmer son unité et de faciliter la compréhension de son périmètre scientifique. La lettre de l'INSIS devient donc la lettre de CNRS Ingénierie et adopte la nouvelle identité visuelle du CNRS. L'actualité, ce sont les suites du rapport Gillet avec des projets de simplification entrepris avec plusieurs universités partenaires, mais aussi la constitution des agences de programme au sein desquelles notre institut, au côté des autres, est très actif. Je pense notamment à celle coordonnée par le CNRS qui a pour objet le climat, la biodiversité et les sociétés en transition, mais également à celles qui ont pour thème l'énergie et les composants électroniques coordonnées par le CEA. En ce début d'année, j'ai le plaisir d'accueillir Marc Anduze en tant que directeur adjoint administratif, en remplacement de Magali Couffignal, qui a servi notre institut avec un très grand professionnalisme et je l'en remercie. ”

Lionel Buchailot  
Directeur de CNRS Ingénierie

## Sommaire

À savoir [P.1](#)  
Faits marquants [P.1](#)  
Focus : L'écoconception en électronique [P.2](#)  
Zoom : La recherche sur l'énergie [P.3](#)  
Réseau de plateformes hautes fréquences [P.3](#)  
80Prime : Bioélectronique et organes-sur-puce [P.4](#)  
Partenariat et innovation [P.5](#)  
Europe et international [P.5](#)  
Journée GDR sur les matériaux [P.6](#)  
Nouveaux membres de l'institut [P.6](#)  
Calendrier de l'institut [P.6](#)

## À SAVOIR

Dans le cadre de la stratégie internationale de CNRS Ingénierie, un appel annuel à candidatures **Soutien à la mobilité internationale** est créé au 1<sup>er</sup> janvier 2024. Cet appel est destiné à favoriser les mobilités de courtes durées (d'une semaine à moins de 3 mois) pour les personnels permanents des unités CNRS Ingénierie (chercheurs et enseignants-chercheurs) vers les *International Research Lab* de CNRS Ingénierie ou les *International Research Center* du CNRS.

Contacts : [olga.allard@cnrs.fr](mailto:olga.allard@cnrs.fr), [beatrice.dagens@cnrs.fr](mailto:beatrice.dagens@cnrs.fr)

## FAITS MARQUANTS

- [Reconstruire un os long à l'aide d'une structure imprimée en 3D](#) - B3OA
- [Le détroit de Gibraltar en modèle réduit](#) - LEGI
- [COMHET : à la conquête des propulseurs spatiaux de demain](#) - LPP
- [L'effet ouzo, un cocktail clé pour les nanotechnologies de demain](#) - LGC
- [LightOn : les grands modèles de langage à portée des entreprises](#) - Institut Langevin
- [Ncodin développe aujourd'hui les composants clés des microprocesseurs de demain](#) - C2N
- [Des organoïdes de tissus adipeux humains développés pour traiter l'obésité](#) - LAAS-CNRS
- [Des supports de culture cellulaire déformables par micro-impression 3D](#) - G2ELab et INL

# L'écoconception en électronique – concept de circularité par la conception

Les objets électroniques sont omniprésents et leur production est fortement liée aux quantités disponibles de minéraux. L'extraction de certains d'entre eux devient de plus en plus critique du fait de la diminution des pourcentages exploitables dans les mines. Ceci s'accompagne d'un volume croissant de déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE), devant atteindre 74 millions de tonnes en 2030, et d'une augmentation des émissions de gaz à effet de serre (GES) responsables du dérèglement climatique. Ces DEEE contenant des composants et des matières premières mis au rebut prématurément sont pourtant un gisement potentiel de matériaux critiques, notamment le cuivre qui représente jusqu'à 20 % du poids des circuits imprimés.

La dépendance envers ces matériaux pourrait être réduite si l'on adoptait des approches circulaires. C'est ainsi qu'est né le concept de mines urbaines où l'on considère les DEEE comme une ressource. Seuls 45 % environ des DEEE européens sont actuellement collectés. Le taux de recyclage de ces déchets collectés est malgré tout de 80 %, le reste est brûlé ou abandonné comme déchet ultime dans les décharges, entraînant une pollution de l'environnement et des risques pour la santé.

Ainsi, pour atteindre les objectifs de réduction des émissions de GES et faire face à la pénurie mondiale annoncée de matériaux critiques, le secteur de l'électronique doit prendre en compte la circularité dans sa chaîne de valeur en introduisant le concept de « circularité par la conception ». Les tensions récentes sur les marchés des produits de base et de l'énergie dues à la pandémie de COVID 19 et au conflit en Ukraine ont accéléré cette prise de conscience.

L'éco-conception propose plusieurs leviers pour réduire les impacts environnementaux négatifs tout au long du cycle de vie d'un objet électronique : choix de matériaux et de procédés à faibles impacts (matériaux biosourcés, fabrication additive...), compacité, faible consommation d'énergie lors des différentes phases de vie du produit, recyclage, réparabilité. A cet égard, l'analyse de cycle de vie (ACV) est un outil logiciel incontournable mais les bases de données associées sont encore insuffisantes dans le secteur de l'électronique et doivent donc être améliorées.

Le recyclage des différentes parties d'un objet électronique est difficile en raison de la composition généralement complexe de l'objet. La séparation, la requalification et la réutilisation des composants électroniques font l'objet de nombreuses études mais la technologie n'est pas encore mature. Au niveau industriel, trois procédés de recyclage des DEEE existent : les techniques physiques ou mécaniques, la pyrométallurgie et l'hydrométallurgie. La majorité des DEEE sont actuellement traités par pyrométallurgie après broyage, mais le procédé est énergivore et génère des fumées toxiques. Avec l'augmentation des prix de l'énergie, le recyclage à basse température devient attractif. C'est le cas de l'hydrométallurgie qui a un faible coût d'investissement et une bonne sélectivité, mais sa cinétique est lente et elle génère des sous-produits chimiques qui doivent être traités. Il a été démontré via une ACV qu'elle est meilleure d'un point de vue environnemental que la pyrométallurgie.

Dans la famille des procédés hydro-métallurgiques qui permettent une extraction sélective des métaux via le contrôle du pH, la biolixiviation utilise l'activité de micro-organismes acidophiles qui réduit le traitement des sous-produits chimiques. Le défi consiste à faire passer ces technologies à une échelle supérieure.

Combiner l'écoconception électronique et la biolixiviation est une idée en cours d'expérimentation au sein des laboratoires CROMA et IGE de Grenoble dans le cadre du projet CIRCABIO soutenu par la Mission pour les initiatives transverses et interdisciplinaires du CNRS. Les objets électroniques testés utilisent des substrats biosourcés et ont été conçus pour maximiser la récupération du cuivre. Celle-ci utilise un consortium bactérien spécifique pour l'oxydation accélérée du soufre natif en sulfate avec production d'acide associée, et pour l'oxydation du Fe(II) en Fe(III) renouvelant ainsi le stock de Fer ferrique nécessaire à l'oxydation du cuivre. Grâce à cette démarche, tout le cuivre initial de l'objet non broyé est récupéré à température ambiante en 6 jours. L'objectif est aussi de réduire la quantité de déchets ultimes.

### Pascal Xavier

Professeur à l'Université Grenoble Alpes, Centre de radiofréquences, optique et micro-nanoélectronique des Alpes (Croma, ex IMEP-LabHC)  
[pascal.xavier1@univ-grenoble-alpes.fr](mailto:pascal.xavier1@univ-grenoble-alpes.fr)

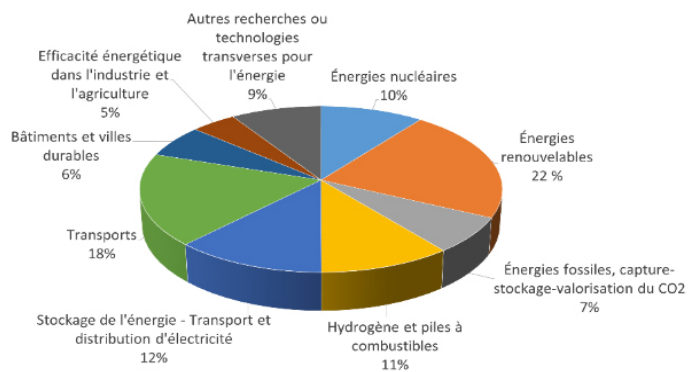
## ZOOM

# La recherche sur l'énergie au sein de CNRS Ingénierie

Les unités de CNRS Ingénierie sont fortement contributrices aux activités de recherche et développement sur l'énergie et donc fortement impliquées dans la recherche de solutions pour la transition énergétique. En effet, d'après l'[enquête 2023 de la Cellule Énergie du CNRS](#), sur les 119 unités que comptent CNRS Ingénierie, 67 se sont déclarées impliquées dans les thèmes de l'énergie. En termes de personnes, l'enquête révèle que 2231 équivalent temps plein recherche (ETPR) travaillent sur les thèmes de l'énergie, en hausse de presque 10 % par rapport aux dernières enquêtes soulignant la dynamique et l'intérêt des unités de CNRS Ingénierie pour cette filière. Cette hausse est probablement due à une augmentation des projets ANR et au lancement de plusieurs PEPR sur l'énergie.

Concernant les thèmes de recherche, on peut noter une très forte implication dans le domaine des énergies renouvelables, plus spécifiquement sur l'énergie solaire (photovoltaïque et thermique), la biomasse et la nouvelle génération de biocarburants. Dans le solaire photovoltaïque par exemple, les activités concernent aussi bien les nouveaux matériaux, les nouvelles architectures des cellules et des modules que les systèmes d'intégration au réseau et le développement des réseaux intelligents. L'autre activité notable des unités de CNRS Ingénierie est dans le domaine de la mobilité et du transport, avec par exemple les recherches sur les mécanismes de combustion pour des applications dans des véhicules routiers ou le transport aérien. Un thème en forte croissance est celui de l'hydrogène, dans les aspects

de sa production par électrolyse, son stockage et les contraintes inhérentes à son transport. Les usages de l'hydrogène sont également étudiés avec les piles à combustible et les systèmes associés en insistant particulièrement sur des études de la durabilité des dispositifs. Enfin, les chercheurs des unités de l'institut sont fortement mobilisés dans les domaines du stockage thermique ou électrique, par exemple en étudiant l'hybridation batterie-hydrogène pour la mobilité.



Répartition par thème des 2231 équivalent temps plein recherche (ETPR) travaillant dans les unités de CNRS Ingénierie.

### Abdelilah Slaoui

Directeur adjoint scientifique, CNRS Ingénierie, et responsable de la cellule énergie du CNRS  
[abdelilah.slaoui@cnrs.fr](mailto:abdelilah.slaoui@cnrs.fr)

### Structuration d'un réseau de plateformes de caractérisation hautes fréquences : RF-Net

#### Philippe Besnier

Directeur adjoint de l'IETR, directeur de recherche au CNRS, responsable RF-Net et du projet ciblé « plateformes » du PEPR Réseaux du futur.  
[philippe.besnier@cnrs.fr](mailto:philippe.besnier@cnrs.fr)

CNRS Ingénierie structure le premier réseau de plateformes académiques de métrologie radiofréquence en France, dans la dynamique du PEPR Réseaux du Futur. À ce jour, le réseau RF-Net (*Radio Frequency Test Facility Network*) regroupe un ensemble d'expertises et ressources expérimentales de l'IEMN, de l'IETR, de l'IMS, du Lab-STICC et d'XLIM, au service de la communauté académique et de ses partenaires, dans le domaine de la caractérisation des matériaux, des composants et circuits électroniques, des dispositifs électromagnétiques et des systèmes associés. Cette mise en place répond aux besoins du PEPR et s'élargira à d'autres plateformes académiques sur un modèle proche de celui de Renatech+.

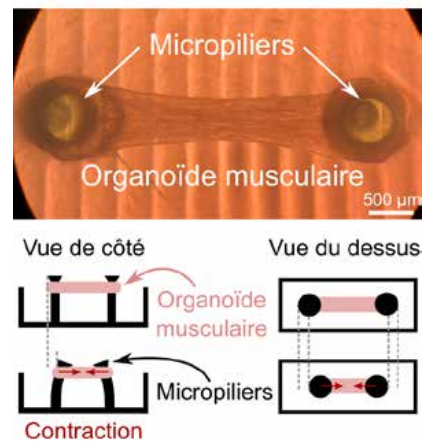
# Bioélectronique et organes-sur-puce au service de la physiologie musculaire

La stimulation électrique fonctionnelle est un outil thérapeutique pour la rééducation des patients ayant subi un accident vasculaire cérébral ou encore une lésion de la moelle épinière : les muscles ou neurones moteurs sont excités à l'aide d'un courant électrique déclenchant une contraction musculaire, améliorant ainsi les fonctions motrices déficientes et renforçant les muscles. Cependant, son utilisation chronique à l'aide d'implants dans les cas de paralysie irréversible reste aujourd'hui limitée : ces systèmes ne recréent pas fidèlement le fonctionnement du système neuromusculaire. De plus, la plupart ne prennent pas en compte la réponse musculaire et ne s'adaptent pas à l'état de fatigue.

Le consortium SMARTSTIM (IMS, LIRMM, IJL, ETIS), soutenu par la MITI, a eu pour ambition de développer des modèles et des systèmes électroniques permettant des stimulations « intelligentes », adaptées en temps réel grâce à une mesure objective de la fatigue musculaire : la bioimpédance, qui évalue les propriétés électriques passives des tissus. La bourse de thèse 80|Prime décernée à Alexia Bailleul (IMS et LIRMM) a permis le développement d'un organe-sur-puce musculaire sur des matrices de microélectrodes, un système combinant stimulation électrique, bioimpédancemétrie et évaluation optique de l'activité musculaire. Les expérimentations ont mis en évidence l'impact des paramètres de stimulation sur la bioimpédance et l'activité des cellules musculaires : en particulier, l'augmentation de la fréquence de stimulation engendre une fatigue détectée par des variations de bioimpédance plus importantes.

En raison des limites du modèle in vitro 2D, un second organe-sur-puce de type organoïde a été développé :

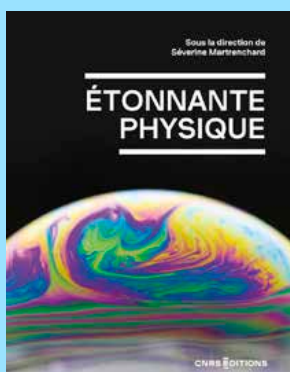
il s'agit d'un tissu musculaire ancré autour de deux piliers (voir figure ci-dessous), dont la structure 3D et la physiologie se rapprochent davantage des muscles in vivo. L'électronique permet le contrôle des contractions du tissu et la mesure spectrale de bioimpédance ; une imagerie dédiée évalue les amplitudes de contraction. Ce système est unique et permettra une étude fine de la physiologie et de la fatigabilité d'organoïdes musculaires.



Organe-sur-puce musculaire. Haut : Photographie d'un myotube ancré sur des piliers flexibles. Bas : illustration du phénomène de contraction d'un myotube.

**Références :** A. Bailleul et al., "Bioimpedance Spectroscopy Helps Monitor the Impact of Electrical Stimulation on Muscle Cells," IEEE Access, vol. 10, pp. 131430–131441, 2022, doi: [10.1109/ACCESS.2022.3228479](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3228479).

**Alexia Bailleul (LIRMM) et Sylvie Renaud (IMS)**  
[sylvie.renaud@ims-bordeaux.fr](mailto:sylvie.renaud@ims-bordeaux.fr)



## Année de la physique 2023-2024

Pour montrer toute la richesse de la physique, 70 physiciennes et physiciens récemment récompensés pour l'originalité et l'importance de leurs travaux par une médaille du CNRS ont apporté leur contribution à *Étonnante physique*. Cet ouvrage, auquel CNRS Ingénierie a largement contribué, servira de support à l'opération « La physique étonnante pour un Grand Oral percutant ! » organisée par le CNRS et le Ministère de l'Éducation nationale et de la jeunesse à destination des lycéennes et des lycéens.

[anneedelaphysique.cnrs.fr](https://anneedelaphysique.cnrs.fr)



## Labcom LERDED (P'-Cetim)

Depuis plus de 15 ans, l'Institut P' (CNRS, Univ. Poitiers/ISAE-ENSMA) et le Cetim ont mis en commun leurs compétences dans le laboratoire commun LERDED (Laboratoire d'étude, de recherche et de développement des étanchéités dynamiques) afin de répondre aux grandes questions soulevées dans les étanchéités : maîtriser les fuites, notamment pour les fluides polluants ou dangereux, limiter les pertes énergétiques et augmenter la fiabilité. Dans ce cadre, 12 thèses, dont 2 en cours, ayant impliqué une dizaine de chercheurs et ingénieurs, ont permis de mieux comprendre les mécanismes gouvernant les écoulements et plus particulièrement la lubrification dans les étanchéités dynamiques et de proposer des modèles prédictifs pour différents types de composants. Si les travaux actuels du LERDED concernent l'évaluation de la durée de vie des systèmes d'étanchéités, les projets à venir seront en lien avec la transition énergétique et les problématiques liées à la mobilité électrique et l'hydrogène.

### Noël Brunetière

Directeur de recherche CNRS, Institut P'  
[noel.brunetiere@univ-poitiers.fr](mailto:noel.brunetiere@univ-poitiers.fr)

## Lancement du RTI MOANA avec Naval Group

Les réseaux thématiques industriels (RTI) visent à rassembler autour d'un industriel plusieurs partenaires académiques pour partager et identifier des orientations pertinentes, et pour mettre en place des projets d'envergure en vue d'obtenir des financements de toute nature. En lien avec l'accord cadre CNRS-Naval Group, le RTI MOANA (modélisation et optimisation vibro-hydro-acoustique des systèmes navals) a été lancé le 7 novembre 2023. 8 laboratoires préalablement choisis pour leurs expertises, leurs thématiques de recherches et leurs collaborations avec Naval Group, se sont réunis afin de faire émerger de nouveaux concepts technologiques pour la réduction des bruits et vibrations dans les structures navales. Chaque partenaire se positionne sur l'un des groupes de travail thématiques, en vue de proposer conjointement des projets de recherche d'envergure. D'autres RTI pourront être déployés sur d'autres thématiques d'intérêt que ce soit avec Naval Group ou avec d'autres industriels.

### Anne-Christine Hladky

Directrice adjointe scientifique, CNRS Ingénierie  
[anne-christine.hladky@cnrs.fr](mailto:anne-christine.hladky@cnrs.fr)

## Création d'un nouveau laboratoire international en Argentine en 2024

CNRS Ingénierie a créé au 1<sup>er</sup> janvier 2024 l'*International Research Laboratory* IFADyFE sur la dynamique des fluides pour l'environnement, en partenariat avec la faculté d'ingénierie de l'Université de Buenos Aires (Argentine). Il est dirigé par Thomas Séon, chargé de recherche au CNRS. Les questions environnementales sont au cœur de la collaboration autour de thématiques comme la dynamique tourbillonnaire et la conversion d'énergie bio-inspirée, la turbulence dans les écoulements environnementaux, le transport dans les milieux poreux et fracturés et les écoulements granulaires et multiphasiques.

## Campagne « Actions internationales » 2024

La campagne *International Research Projects (IRP)* et *International Research Networks (IRN)* de CNRS Ingénierie est ouverte jusqu'au 15 mai 2024. Les projets sont à adresser au pôle international de CNRS Ingénierie : [olga.allard@cnrs.fr](mailto:olga.allard@cnrs.fr) et [beatrice.dagens@cnrs.fr](mailto:beatrice.dagens@cnrs.fr).

## ERC Consolidator Grant 2023

**Sandro Heuke**, chargé de recherche CNRS à l'Institut Fresnel, pour son projet sCiSsoRS sur la diffusion Raman de Stokes cohérente par rétrodiffusion pour le diagnostic du cancer en temps réel.

## ERC Starting Grant 2023

**Thomas Chaigne**, chargé de recherche CNRS à l'Institut Fresnel, pour son projet ALPINE sur l'imagerie photoacoustique tout-optique pour la neurobiologie.

## ERC Proof of Concept 2023

**Alexandre Aubry**, directeur de recherche CNRS à l'Institut Langevin, pour son projet MUSE (matrice de diffusion multispectrale pour une imagerie cutanée améliorée).

**Guillaume Haiat**, directeur de recherche CNRS au laboratoire Modélisation et simulation multi-échelle, pour son projet AssesSkin sur le développement d'un dispositif médical non invasif pour mesurer les propriétés biomécaniques de la peau.

## Journée GDR matériaux

22 directeurs et directrices de groupements de recherche (GDR) en lien avec les matériaux se sont réunis le 1<sup>er</sup> décembre 2023 pour une journée d'échanges, dans le but de mieux connaître leurs activités, de partager et de discuter. Chaque GDR a présenté en 180 secondes et trois planches ses chiffres clés, les activités et faits marquants et enfin les perspectives. Ces présentations éclair ont permis d'avoir une vue d'ensemble des thématiques portées par les GDR, de nouer des contacts entre les GDR et d'échanger les bonnes pratiques. L'après-midi a été consacrée à quatre ateliers où les directeurs et directrices ont été invités à faire preuve de créativité et d'audace pour identifier des thématiques émergentes et prometteuses, des sujets ou des démarches en rupture, pour des PEPS, des PEPR ou autre. Cette démarche est primordiale pour CNRS Ingénierie, d'une part pour identifier en avance de phase des sujets d'avenir et, d'autre part, pour un soutien actif dans le cas où certaines thématiques seraient véritablement pleines de promesses. La synthèse de la journée est examinée avec attention par l'institut et complète les autres outils d'analyses et de perspectives (comités d'experts, rapport de prospective du CSI...).

### Anne-Christine Hladky

Directrice adjointe scientifique, CNRS Ingénierie  
[anne-christine.hladky@cnrs.fr](mailto:anne-christine.hladky@cnrs.fr)

Cette initiative a été renouvelée le 16 janvier 2024 autour de la thématique de l'énergie et sera étendue prochainement aux GDR du domaine de la santé.

## NOUVEAUX MEMBRES DE L'INSTITUT

### Marc Anduze

Directeur adjoint administratif, en remplacement de Magali Couffignal



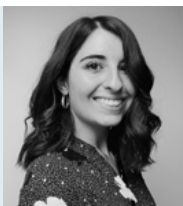
### Marine Moguen-Toursel

Responsable du pôle Partenariat, réseaux de plateformes et infrastructures de recherche



### Fanny Diogo

Chargée de communication, en remplacement de Chloé Rocheleux



### Nathalie Quesnay

Responsable du pôle Appui. Elle était responsable du pôle Structures et instances.



## Calendrier CNRS Ingénierie

### Février

19 : DOR LSPM, Villetaneuse  
21-22 : Journées des correspondants Partenariat/ Europe, Paris

### Mars

12 : Journée scientifique du PEPR Hydrogène, Grenoble  
13 : DOR ICube, Strasbourg  
18-22 : Journées scientifiques des PEPR Électronique et Réseaux du futur, Grenoble  
25 : Colloque Énergie du CNRS, Paris

### Mai

15 : Journée des directeurs et directrices d'unité, Paris  
21 : Journée des responsables administratifs, Paris  
22 : Journée des correspondants communication, Paris

**Directeur de la publication :** Antoine Petit  
**Directeur de la rédaction :** Lionel Buchaillet  
**Responsable éditoriale :** Laurence Hartmann  
**Comité éditorial :** Marine Charlet-Lambert, Magali Couffignal, Alain Foucaran, Anne-Christine Hladky, Martine Meireles-Masbernat, Fabien Pascal  
**Mise en page :** Léo Bonnet

Retrouvez CNRS Ingénierie sur X (ex-Twitter) : [@CNRSingenierie](https://twitter.com/CNRSingenierie)

**CNRS Ingénierie**  
3 rue Michel-Ange  
75794 Paris cedex 16  
[insis.cnrs.fr](http://insis.cnrs.fr)

