

RAPPORT D'ACTIVITÉ
2020

SOMMAIRE

Entretien avec Thomas GRENON	4
L'excellence technique au service de la résilience	6
Le groupe LNE en France et à l'international	8
Faits marquants de l'année	12
Pour un monde plus innovant	20
Pour un monde plus durable	28
Pour un monde plus sûr	36
Prix LNE de la recherche : savoir allier science et pragmatisme	44
La Recherche au LNE, c'est aussi	46
Pour une entreprise plus agile	48
Conseil d'administration	56
Comité exécutif	57

LABORATOIRE DE RÉFÉRENCE POUR LES TECHNOLOGIES DE DEMAIN

Dans un monde de plus en plus technologique, et confronté à de forts enjeux de résilience, notre vocation est d'offrir des gages de confiance essentiels.

Nous développons les étalons et les moyens de mesure les plus précis qui soient, afin de renforcer la qualité des mesures effectuées partout, par tous, chaque jour. À ces activités de métrologie, s'ajoute une offre d'essais, de certification et de formation.

Nous aidons ainsi les industriels à maîtriser la qualité de leurs procédés, pour être plus compétitifs et innovants. Et garantissons aux citoyens un environnement plus sûr et plus durable.

Nous en sommes convaincus : une métrologie en pointe, et toujours mieux partagée, est une clé pour figurer parmi les premiers dans la course économique mondiale.



« EN RÉPONDANT AUX ENJEUX PRIMORDIAUX DU PAYS,
NOTRE PLAN STRATÉGIQUE S'INSCRIT DANS LES
AMBITIONS DU PLAN FRANCE RELANCE. »

ENTRETIEN

Thomas GRENON, Directeur général

Difficile de revenir sur l'année 2020 sans évoquer la crise de la Covid-19. Comment le LNE l'a-t-il surmontée ?

Même si cela n'a pas été évident, comme dans toutes les entreprises en France, l'ensemble de nos collaborateurs ont su rester mobilisés, au plus fort de la crise et tout au long de l'année. Je salue vivement leur engagement. Ils ont prouvé leur sens des responsabilités et leur agilité, en s'adaptant à des protocoles sanitaires contraignants, à de nouvelles organisations du travail et à une digitalisation accélérée des process. Je tiens à remercier spécifiquement les personnes venues travailler sur site lors du premier confinement, pour garantir la continuité de nos activités, autoriser un déconfinement efficace, et ainsi répondre aux enjeux des autorités notamment de santé et de nos clients. Cette année particulière n'a pas freiné les ambitions du LNE en termes de satisfaction client. Nous avons poursuivi l'amélioration de nos délais, notamment à travers l'évolution de notre système d'information. Et les résultats sont au rendez-vous avec une nette progression lors de notre dernière enquête de satisfaction. Nous allons continuer. Il s'agit pour nous de placer l'expérience client au cœur de notre organisation.

Le LNE a aussi participé à la lutte contre la pandémie ?

Nos compétences en métrologie des aérosols ont en effet permis de développer très rapidement, à la demande des pouvoirs publics, un protocole permettant de tester l'efficacité de filtration des masques de protection. D'autres départements ont également été mis à contribution sur les questions de respirabilité, de sécurité et de confort. Tout cela a été fait en un temps record. Nous pouvons donc nous féliciter de notre réactivité lors de cette crise inédite. Je voudrais aussi souligner le rôle essentiel de la métrologie dans notre société. En pleine période de crise, les pouvoirs publics comme les industriels ont besoin de s'appuyer sur des données fiables, que seules peuvent fournir des méthodes de mesure rigoureuses.

La métrologie est donc un vecteur d'innovation et d'indépendance ?

Les laboratoires nationaux de métrologie sont dans de nombreuses pays des contributeurs essentiels à la politique industrielle et à l'innovation. C'est ce que l'on constate dans notre pays, mais aussi aux États-Unis, en Allemagne, en Grande Bretagne, comme en Chine ou en Corée du Sud. Donc oui, la métrologie est un outil important dans la course économique mondiale. La réindustrialisation de notre pays et sa compétitivité économique nécessitent une métrologie française forte, proche de l'innovation technologique, mais aussi influente dans les normes et les

processus de certification. C'est ce que nous nous efforçons de faire, notamment à travers les travaux de nos chercheurs et ceux du Réseau national de la métrologie française.

En répondant aux enjeux primordiaux du pays, notre plan stratégique s'inscrit parfaitement dans les ambitions du plan France Relance, lancé par le gouvernement en septembre 2020.

C'est-à-dire ? Quelles sont vos ambitions ?

Les secteurs prioritaires de France Relance sont ceux sur lesquels se concentrent nos équipes, notamment en ce qui concerne la souveraineté technologique et la transition écologique. Il s'agit par exemple d'accompagner le développement des technologies émergentes - comme les technologies quantiques, l'intelligence artificielle, la fabrication additive -, celui des matériaux du futur - comme le graphène -, ou encore celui des technologies vertes.

Justement, en parlant de transition écologique, quels sont les engagements du LNE ?

Nous participons activement à la transition écologique de notre pays: rénovation énergétique des bâtiments, développement des énergies renouvelables, surveillance de la qualité de l'air et de l'eau, observation du climat et des océans...

Et puis nous nous attachons à réduire notre propre empreinte. En 2020, nous avons mis l'accent sur la diminution de notre empreinte carbone. D'ici à 2050, nous devrions avoir cumulé un gain d'environ 10 000 t éq CO₂. D'autres volets sont inscrits à notre contrat d'objectifs et de performance, comme la circularité de nos déchets ou la mobilité douce et électrique.

Quels sont les autres motifs de satisfaction du LNE en 2020 ?

Nos résultats démontrent la solidité du LNE et la pertinence de son modèle économique. Si le premier semestre a été difficile, marqué par le premier confinement, nous avons su rebondir au second. Sur l'ensemble de l'année, nous avons ainsi limité la baisse de notre chiffre d'affaires à 11 %. Grâce à une bonne maîtrise des charges, notre résultat net avant intéressement est largement positif à 4 millions d'euros.

La plupart de nos filiales ont suivi la même tendance. Le GMED continue d'afficher une croissance et des résultats très satisfaisants. Nous avons créé une joint-venture avec les Laboratoires Pourquery à Hong Kong : LNE-LP Asia Ltd. Le LNE a maintenant la dimension d'un groupe, avec les atouts que cela représente pour nos clients... et pour nous-mêmes : générer des synergies entre maison-mère et filiales, créer de nouvelles opportunités, favoriser la mobilité professionnelle, donc gagner encore en efficacité et en agilité. ■

L'EXCELLENCE TECHNIQUE AU SERVICE DE LA RÉSILIENCE

Soutenant l'innovation technologique et la compétitivité industrielle, l'action du Groupe LNE répond aux ambitions de France Relance : surmonter la crise économique liée à la pandémie, et construire l'avenir de notre pays.

NOS PRIORITÉS

Le Groupe LNE a défini quatre domaines d'application prioritaires en lien avec ses ambitions et avec le plan France Relance.

► TRANSITION NUMÉRIQUE

Cybersécurité, intelligence artificielle, technologies quantiques...

► COMPÉTITIVITÉ INDUSTRIELLE

Maîtrise des procédés, fabrication additive, robotique, nanotechnologies...

► TRANSITION ÉCOLOGIQUE

Réseaux électriques intelligents, technologies vertes, robots agricoles, rénovation des bâtiments, acidification des océans...

► SANTÉ ET SÉCURITÉ

Santé digitale, biotechnologies, aérosols, biomarqueurs, prévention des risques du citoyen...

NOS MÉTIERS

L'approche multi-métiers du Groupe LNE est un atout pour proposer des solutions adaptées aux enjeux économiques et sociétaux.



RECHERCHE

Réalisation des unités du SI au meilleur niveau d'exactitude, développement d'étalons de référence et de transfert, mise au point de méthodes de mesure.



EXPERTISES ET INNOVATION

Soutien aux projets complexes ou innovants, recherche partenariale.



MÉTROLOGIE

Contrôle et optimisation des moyens métrologiques, en soutien à la qualité.



ESSAIS

Évaluation des performances des matériaux, produits et systèmes.



CERTIFICATION

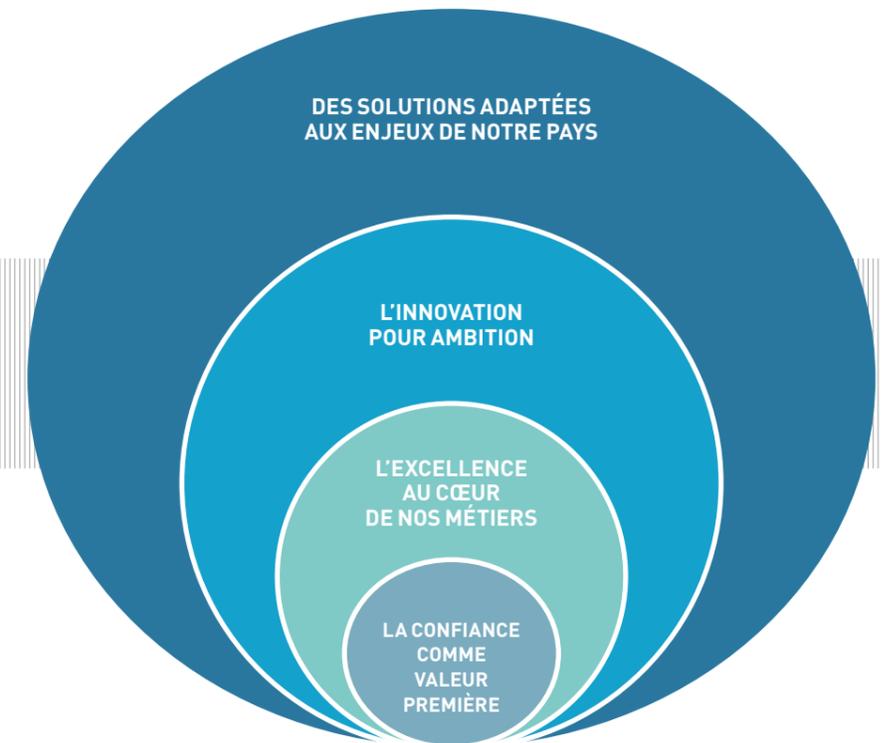
Certification volontaire et réglementaire des produits et systèmes.



FORMATION

Formation en métrologie, qualité et sécurité, ainsi que dans le domaine médical.

ÊTRE LE LABORATOIRE DE RÉFÉRENCE POUR LES TECHNOLOGIES D'AVENIR



NOTRE STRATÉGIE

► UNE OFFRE À HAUTE VALEUR AJOUTÉE

- Accompagner les technologies du futur, en évaluant leurs performances et leur sécurité.
- Favoriser le transfert à l'industrie, en développant et en modernisant l'offre de formation.

► UNE CROISSANCE À L'INTERNATIONAL

- Contribuer au partage des connaissances en métrologie, en développant nos réseaux internationaux.

► UNE RECHERCHE OUVERTE SUR LA SOCIÉTÉ

- Conforter l'innovation industrielle, en déployant des solutions puissantes et efficaces.
- Répondre aux attentes de sécurité de nos concitoyens, en développant des signes de confiance.
- Diversifier et fidéliser les talents, en valorisant le métier de chercheur.

► UN SERVICE ORIENTÉ CLIENT

- Accroître la satisfaction client, en mettant en œuvre un management transversal de la qualité.
- Gagner en réactivité et en agilité, en améliorant la communication interne.
- Aider les clients à se différencier sur les marchés, en valorisant la marque LNE.

► LE DÉVELOPPEMENT DES RESSOURCES HUMAINES ET TECHNOLOGIQUES

- Fidéliser les talents, en soignant l'accueil et la qualité de vie au travail.
- Mieux travailler ensemble, en développant une culture commune.
- Installer une dynamique de développement durable, en y engageant chaque collaborateur.

LE GROUPE LNE EN FRANCE ET À L'INTERNATIONAL

Les laboratoires et les filiales du Groupe LNE sont répartis partout en France, à proximité de nos clients et de leur écosystème, mais aussi à l'international, pour soutenir leur conquête des marchés étrangers et le contrôle de leur sous-traitance.



NOS ENTITÉS

► LNE

Établissement public à caractère industriel et commercial (EPIC), le LNE est placé sous la tutelle du ministère de l'Économie et des finances en charge de l'Industrie. Ses missions sont de maintenir le Réseau national de la métrologie française aux premiers rangs mondiaux, et de développer des outils au service de la compétitivité des entreprises et d'un monde plus sûr.

► LNE DÉVELOPPEMENT

Détenue à 100% par le Groupe LNE, cette filiale a pour vocation de mettre de jeunes doctorants à la disposition du LNE, afin de participer à des programmes de recherche nationaux ou internationaux, en lien avec le monde académique et socio-économique.

LES CHIFFRES DU GROUPE EN 2020



PARIS
Groupe LNE - Siège social,
centre de formation
LNE Développement

TRAPPES
LNE - Recherche, expertises,
métrologie, essais

SAINT-DENIS
LNE - Recherche, métrologie
(thermique)

NÎMES
LNE - Expertises, métrologie
(dimensionnelle), essais
(emballages), certification,
formation

POITIERS
LNE - Recherche, métrologie
(pression/température)

SAINT-ÉTIENNE
GMED - Certification, formation
(médical-santé)

LE BOURGET DU LAC
Certisolis - Essais, certification
(panneaux photovoltaïques)

BETHESDA, MD
GMED North America -
Certification (médical-santé)

HONG-KONG
Joint-Venture LNE-LP
Asia Ltd - Essais (biens de
consommation)

► CERTISOLIS

Filiale à parts égales du Groupe LNE et du Groupe CSTB, Certisolis est un laboratoire d'essais et un organisme de certification dans le domaine des panneaux photovoltaïques. Elle accompagne les fabricants de modules et de composants, installateurs, distributeurs et importateurs, ainsi que les développeurs, investisseurs et exploitants.

► GMED

Filiale à 100 % du Groupe LNE, GMED est reconnu pour son expérience dans la certification des dispositifs médicaux et dispositifs médicaux de diagnostic *in vitro*, notamment les produits à haut risque et ceux incluant des technologies innovantes. Sa filiale GMED North America, implantée à Bethesda, MD, permet aux entreprises françaises et européennes d'atteindre les marchés américains - et réciproquement.

► LNE-LP ASIA LTD

En 2020, le Groupe LNE a créé avec les Laboratoires Pourquery une joint-venture : LNE-LP Asia Ltd. Détenue à parts égales, cette JV permet aux industriels, importateurs et distributeurs d'accéder, en un seul point, à une large gamme de prestations, afin de garantir la qualité des biens de consommation fabriqués en Asie.



DISPOSITIFS MÉDICAUX : UNE DYNAMIQUE ENCLENCHÉE

Deux ans après sa filialisation, GMED a poursuivi son développement éclair en 2020, malgré les fortes contraintes liées à la crise de la Covid-19. Un essor qui s'appuie sur la réactivité de ses équipes et la digitalisation de ses processus. La satisfaction client est au cœur de sa stratégie.

Début 2020, GMED était en ordre de marche pour accompagner les fabricants de dispositifs médicaux (DM) vers l'application du Règlement (UE) 2017/745 - en remplacement des directives applicables aux DM et DM implantables actifs. Le report de la date d'application de ce règlement au 26 mai 2021 pour permettre aux industriels de gérer la crise de la Covid-19 a fait émerger pour l'entreprise de nouveaux enjeux : sécuriser à la fois l'activité de ses clients et l'approvisionnement du marché.

PROLONGATION DES ACTIVITÉS DE CERTIFICATION SOUS DIRECTIVES

Dès lors, GMED a poursuivi et renforcé ses activités de certification sous directives, qui auraient dû cesser en mai 2020, afin de renouveler les certificats bientôt arrivés à échéance. L'ANSM a alors renouvelé sa confiance à GMED en prolongeant sa désignation au titre de ces directives, jusqu'en mai 2021. Parallèlement, GMED a accéléré la digitalisation de ses processus (voir encadré), pour que la crise sanitaire ait le plus faible impact possible sur la certification des DM de ses clients. Sans oublier le travail en urgence sur des DM indispensables en pleine crise, tels les respirateurs artificiels.

DÉSIGNATION DE GMED AU TITRE DU RÈGLEMENT EUROPÉEN RELATIF AUX DM

Pour autant, GMED a régulièrement informé ses clients afin qu'ils puissent se préparer dans les meilleures conditions au nouveau règlement européen, dont la période de grâce se termine en mai 2024. D'ailleurs, GMED a été désigné en tant qu'organisme notifié au titre du Règlement (UE) 2017/745 par l'ANSM en juillet 2020. Une belle victoire, après un long processus démarré fin 2017. D'autant que cette désignation recouvre un champ très large (98 codes de désignation sur 110), assurant à ses clients et futurs clients de faire évaluer leurs DM sans limiter leurs perspectives commerciales actuelles, tout en les soutenant dans leurs évolutions futures. Le nouveau règlement représente aussi un changement profond pour GMED, qui nécessite l'industrialisation de ses processus. La segmentation plus importante des DM et la hausse du nombre d'évaluations cliniques complexifient le processus de certification. Quant au processus de décision, il comprend de nouvelles étapes. Face à ce schéma plus pointu et exigeant, GMED renforce la qualification de ses experts, autant que la coordination et la planification de leurs interventions. Il s'agit d'offrir toujours plus de lisibilité, de prédictibilité



10 nouveaux collaborateurs ont été recrutés en 2020 pour GMED SAS et GMED NA. Malgré un contexte sanitaire particulièrement difficile, GMED a réussi à maintenir sa politique active de recrutement et enregistre une croissance de 6 % de ses effectifs. Une stratégie qui sera poursuivie en 2021 afin d'accompagner les industriels face aux évolutions réglementaires. Priorité sera donnée aux équipes de production (auditeurs, évaluateurs, chefs de projet certification) et à certains services support.



et de satisfaction à ses clients. Les premières démarches de certification sous règlement ont ainsi démarré en juillet 2020. En parallèle, GMED mène des travaux préparatoires dans l'optique de sa désignation au titre du règlement relatif aux dispositifs médicaux de diagnostic *in vitro* en 2021. L'application, au 26 mai 2022, de ce nouveau règlement va générer pour les organismes notifiés un surplus d'activité : 20 % des DM DIV sont actuellement certifiés par des organismes notifiés ; un taux qui passera à 80 % avec le nouveau règlement. GMED sera prêt à y faire face.

LA PÉDAGOGIE AU CŒUR DE LA RELATION

Pour accompagner ces changements, les efforts d'information et de pédagogie ont été redoublés dans une véritable logique de partenariat. De nouveaux guides et fiches techniques ont été édités, d'autres ont été mis à jour... Pour une plus grande accessibilité, GMED a développé sur son nouveau site internet un centre d'information regroupant toutes ses publications. Elles ont aussi été promues sur LinkedIn, où le nombre de *followers* croît rapidement (+ 275 % en 2020). Une stratégie qui sera enrichie d'une *newsletter* bimestrielle dès 2021.

Le Forum DM, qui informe chaque année les industriels sur les nouveautés techniques, réglementaires et normatives, a été entièrement digitalisé et reporté à février 2021 en raison du deuxième confinement. Les participants ont pu suivre en live via une plateforme dynamique les 15 experts présents sur un plateau TV. L'interactivité était au cœur de ce Forum. En effet, les participants ont pu chatter avec les intervenants, participer à des sessions de *networking* et répondre à des sondages et des quiz. Un *replay* a permis d'élargir encore plus son audience. Enfin, le centre de formation GMED a été référencé Datadock et a étoffé son offre avec près de 15 nouveaux stages relatifs à la mise en œuvre de la réglementation européenne et internationale ou encore la mise en place des exigences du SMQ. Des classes virtuelles ont également été déployées pour garantir continuité et souplesse aux stagiaires. GMED s'inscrit dans une nouvelle dynamique en accompagnant ses clients à relever les défis réglementaires rencontrés tout au long du cycle de certification. GMED s'engage à servir l'industrie de la santé, promouvoir l'innovation tout en veillant à la sécurité des patients dans le monde. ■

AUDITS À DISTANCE

Lors du premier confinement, GMED a déployé des audits à distance pour les certifications selon les trois référentiels couverts (CE, ISO, MDSAP). Selon la nature des risques identifiés sur chaque audit, un comité d'analyse des risques était saisi pour approbation préalable. L'expérience acquise dans ce contexte pourrait permettre à l'avenir de pérenniser la démarche pour certaines opérations de surveillance. Et ainsi répondre aux enjeux des industriels lancés dans la digitalisation de leurs systèmes.



FAITS MARQUANTS DE L'ANNÉE

Lors d'une année bouleversée par la pandémie de Covid-19, le LNE a pourvu à l'immédiat, pour aider ses parties prenantes à affronter la crise, tout en poursuivant ses projets stratégiques, essentiels à son développement et à celui du pays.



JANVIER

Lancement d'un nouveau design pour nos marques de certification.

JANVIER

Le LNE adhère à France Hydrogène.



MARS

Premier confinement face à la pandémie : le LNE développe des bancs pour tester l'efficacité des masques.



MARS

Top départ du projet H2020 – METRICS (Metrological evaluation and testing of robots in international competitions) coordonné par le LNE.

MAI

Démarrage des audits à distance afin d'assurer la continuité des certifications.



JUILLET

GMED est organisme notifié au titre du Règlement (UE) 2017/745.



SEPTEMBRE

Qualité de l'air : le LNE et l'Ineris créent une certification pour les micro-capteurs.

DÉCEMBRE

Ont été élus à l'unanimité Grégoire Olivier, président du Conseil d'administration du LNE, et Laurence Piketty, vice-présidente.



AOÛT

Le LNE et les Laboratoires Pourquery créent la Joint-Venture LNE-LP Asia Ltd.

OCTOBRE

Première Fête de la Science virtuelle, avec une visite des laboratoires de métrologie électrique.



DÉCEMBRE

Le Prix LNE de la Recherche est décerné à Vincent Delatour et à François Gaie-Levrel.





EFFICACITÉ "ANTI-PROJECTION" DE PROTECTION FACIALE.

UNE FORCE DE FRAPPE CONTRE LA COVID-19

En pleine urgence sanitaire, alors que l'importation de masques de qualité relève du défi et que l'industrie française se mobilise face à la pénurie, le LNE met son savoir-faire au service des autorités de santé pour tester l'efficacité de ces dispositifs.

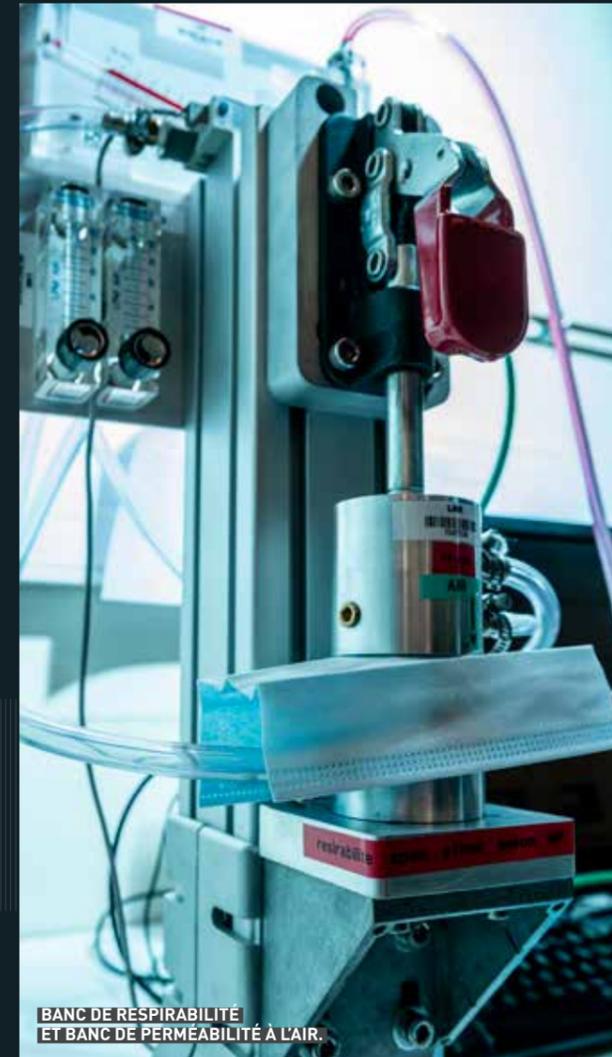
Priorité aux masques des soignants

Les masques chirurgicaux et FFP2 destinés aux soignants sont soumis à une série de tests développés en un temps record. Le département Métrologie des gaz et des aérosols a en effet conçu, dès début mars, un banc pour évaluer leur capacité de filtration. Couplé à un système de génération d'aérosols, cet instrument permet de mesurer la performance des masques en analysant la distribution granulométrique des particules les traversant.

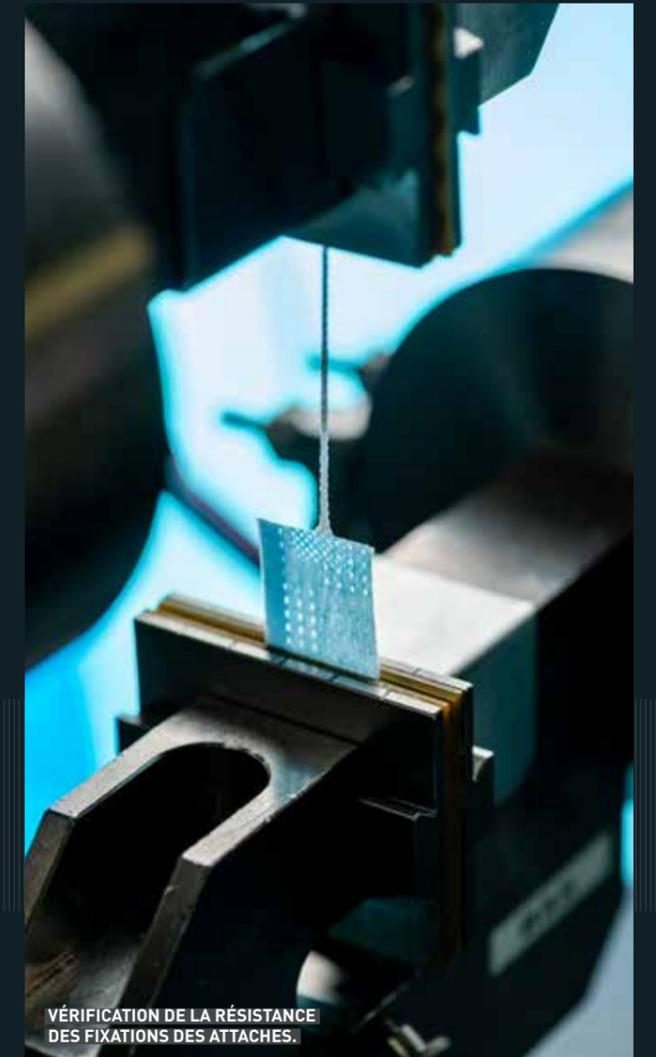
En complément, les départements Propriétés physico-chimiques des matériaux et Sécurité des produits de consommation ont mis au point toute une gamme d'essais :

- respirabilité, pour vérifier que les masques ne présentent aucune résistance à l'inspiration ou à l'expiration ;
- résistance des brides et élastiques, sur des machines de traction ;
- inflammabilité, pour s'assurer qu'aucune flamme ne persiste plus de 5 secondes ;
- performance d'usage, pour valider le maintien et le confort dans différentes situations.

Au plus fort de la crise, plus d'une centaine de références de masques sont ainsi passées au crible.



BANC DE RESPIRABILITÉ ET BANC DE PERMEABILITÉ À L'AIR.



VÉRIFICATION DE LA RÉSISTANCE DES FIXATIONS DES ATTACHES.

Tiers compétent pour les masques barrières

Si ses premiers efforts concernent les équipements destinés aux soignants, le LNE est très vite désigné comme tiers compétent pour évaluer les masques grand public de catégories 1 et 2 – créées fin mars 2020 –, puis les masques à fenêtre. En outre, il participe à la rédaction du guide pratique Afnor sur la fabrication et les tests de ces dispositifs, qu'ils soient industriels ou artisanaux. Tout au long de l'année, une task force pluridisciplinaire restera mobilisée sur le sujet. Fin août, elle aura analysé plus de 5 000 masques, tous essais confondus, et le double, à fin décembre. Les experts du LNE ont participé en parallèle à la création de référentiels relatifs aux masques barrières et aux masques barrières pour le sport, ainsi qu'à la définition d'un référentiel européen.



DES GARANTIES EN PLUS

Afin d'offrir des garanties supplémentaires sur les masques chirurgicaux et grand public, le LNE crée en octobre 2020 la certification Masques de protection.



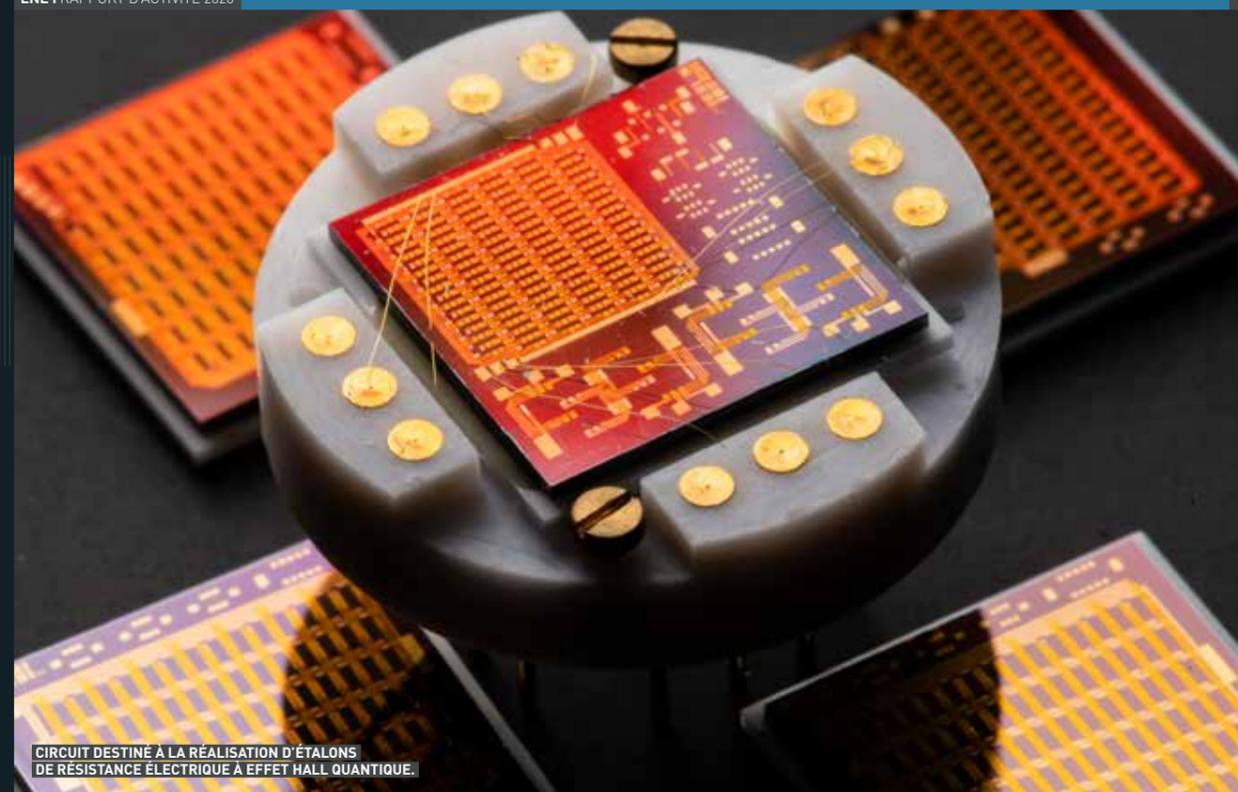
LA FORMATION ACCÉLÈRE SA DIGITALISATION

Afin d'assurer une continuité de service durant la crise sanitaire, les centres de formation du Groupe LNE (LNE et GMED) accélèrent le développement de leurs classes virtuelles et enrichissent le catalogue de modules d'e-learning. Les cours en présentiel reprendront mi-septembre, dans des salles réaménagées, propices à l'interactivité et à la pratique. Les stagiaires disposent ainsi d'un ensemble de solutions visant flexibilité et efficacité.



LA CERTIFICATION PASSE SOUS LA MARQUE LNE

Le LNE fait évoluer sa marque de certification. Outre une identité visuelle modernisée, déclinant le nouveau logo institutionnel, l'offre est rationalisée autour de quatre grands domaines d'expertise, pour une lisibilité renforcée : Environnement, Sécurité, Performance, Numérique. Ainsi, clairement liée à la marque d'entreprise, la marque LNE Certification l'est aussi à ses valeurs, notamment la confiance et l'indépendance.



CIRCUIT DESTINÉ À LA RÉALISATION D'ÉTALONS DE RÉSISTANCE ÉLECTRIQUE À EFFET HALL QUANTIQUE.

ENTRÉE OFFICIELLE DANS L'ÈRE QUANTIQUE

Le 9 janvier 2020, la députée Paula Forteza remet au gouvernement son rapport intitulé «Quantique, le virage technologique que la France ne ratera pas». Près d'un an plus tard, début 2021, avec un retard imputable à la crise sanitaire, le Président de la République annonce la stratégie nationale sur les technologies quantiques. Le LNE y contribuera à travers une future plateforme de métrologie quantique, «qui rassemblera les compétences et les installations de mesure du Réseau National de Métrologie». Il mettra aussi à profit son intégration récente dans Quantum, le cluster quantique de Paris Saclay qui réunit plus de 80 équipes de recherche pluridisciplinaires, autant académiques qu'industrielles, et dans lequel il apporte son expertise en métrologie électrique quantique.



PLATEFORME EXPÉRIMENTALE POUR L'ÉVALUATION DES PERFORMANCES DE MICRO-CAPTEURS POUR LA QUALITÉ DE L'AIR.

AIR QUALITY SENSOR, GARANT DES MICRO-CAPTEURS

Face à l'essor des micro-capteurs professionnels ou grand public pour surveiller la pollution atmosphérique, l'Ineris et le LNE créent Air Quality Sensor. Cette certification volontaire permet de garantir les performances métrologiques de tels instruments, sur la base des travaux menés au sein du Comité européen de normalisation sur la qualité de l'air (CEN TC 264 «Air quality»). Elle concerne les particules fines PM_{2,5} et le dioxyde d'azote, et s'étendra à terme à d'autres polluants (ozone, PM₁₀...).



SOUVERAINETÉ NUMÉRIQUE : UNE NOUVELLE PIERRE À L'ÉDIFICE

En raison de son expérience de la certification SecNumCloud, le LNE est nommé expert auprès de l'Enisa, l'agence européenne pour la cybersécurité, afin de participer à l'élaboration du schéma européen de certification des fournisseurs de cloud. Le projet, mis à consultation avant Noël, devrait être finalisé au printemps 2021. Inscrit dans le cadre du Cybersecurity Act, il contribuera à l'autonomie numérique européenne, amorcée en 2016 par le RGPD et qui se poursuivra en 2021 avec les règlements DSA (Digital Services Act) et DMA (Digital Market Act).



FRANCE ALZHEIMER, CONVAINCUE PAR LA PROTÉINE TAU

Avec 900 000 Français atteints, la maladie d'Alzheimer représente un enjeu de santé publique majeur. Pour soutenir les recherches du LNE sur la protéine Tau, un biomarqueur précoce de cette pathologie et de son évolution, l'association France Alzheimer lui accorde un financement à hauteur de 100 000 euros, partagé avec nos partenaires du CHU de Montpellier. Objectif : développer des méthodes de référence pour fiabiliser les analyses des laboratoires et découvrir de nouveaux biomarqueurs afin de permettre un diagnostic plus fiable et plus précoce de la maladie d'Alzheimer.

Découvrez le film réalisé par France Alzheimer :



SPECTROMÉTRIE DE MASSE À HAUTE RÉOLUTION POUR LE DÉVELOPPEMENT DE MÉTHODES DE RÉFÉRENCE POUR LE DOSAGE DE BIOMARQUEURS.



CAP SUR LE CHEMIN DE FER DE DEMAIN

Afin de constituer un espace ferroviaire unique, l'Europe veille à l'interopérabilité du système et à son efficacité énergétique. Dans le cadre du projet de recherche européen MyRailS*, qui vise à développer une infrastructure métrologique capable de soutenir l'adoption de technologies écoénergétiques, le LNE développe un banc d'étalonnage des systèmes de mesure d'énergie (EMS) conçus pour les applications ferroviaires des réseaux à courant alternatif. Ce banc peut générer une puissance fictive dans des régimes déformés avec un contenu de fréquence allant jusqu'à 5 kHz, un courant jusqu'à 500 A et une tension jusqu'à 25 kV.

➤ Pour en savoir plus sur MyRailS, voir p. 44.

*Metrology for Smart Energy Management in Electric Railway Systems



FAIRE DE L'EMBALLAGE ALIMENTAIRE UNE TECHNOLOGIE VERTUEUSE

Piloté par le LNE et le CTCPA*, le RMT (réseau mixte technologique) Actia ProPack Food entame sa nouvelle feuille de route pour la période 2020-2024. Concevoir et développer des solutions d'emballage durables, répondre à l'objectif 100% d'emballages recyclables, réutilisables, compostables d'ici à 2025, aider à concevoir des emballages limitant le gaspillage alimentaire tout en s'assurant de leur sécurité sanitaire et de leur acceptation auprès des consommateurs, tels sont les challenges lancés par le RMT Actia ProPack Food avec ses 17 partenaires.

*Centre technique de la conservation des produits agricoles.



POUR
UN MONDE
PLUS INNOVANT



UNE RELATION DE CONFIANCE POUR UNE IA DE CONFIANCE

Avant d'initier un partenariat de long terme, Thales a confié au LNE l'évaluation d'un algorithme de type SVM. D'évaluations en réapprentissage, la mission de trois mois s'est avérée positive. Regards croisés de **Michel Barreteau**, ingénieur de Recherche en IA de Confiance au Centre de Recherche de Thales, et de **Guillaume Avrin**, responsable du département Évaluation de l'IA au LNE.

« LE LNE A PU MONTER EN COMPÉTENCE SUR L'AUGMENTATION DE DONNÉES, UN SUJET PORTEUR DANS L'ÉVALUATION DE L'IA. »

Guillaume Avrin



Quels étaient les enjeux du projet mené avec le LNE ?

Michel Barreteau : Chez Thales, l'intelligence artificielle touche tous les domaines et nous développons des systèmes souvent critiques. Il est donc impératif que les algorithmes d'IA soient dignes de confiance, et que nous nous dotions de techniques validant leur bon comportement. Le Centre de Recherche de Thales souhaitait mieux appréhender les compétences du LNE, qui est en passe de devenir tiers de confiance sur l'IA, pour identifier des sujets de collaboration future. L'opportunité s'est présentée sous la forme d'une étude sur la robustesse d'un algorithme de type SVM⁽¹⁾, appliqué à l'avionique militaire et permettant de détecter des manœuvres hostiles. C'est une IA de classification, que l'on habitue à reconnaître des scénarios, et dont les performances en termes de robustesse sont assez complexes à évaluer.

Concrètement, en quoi le projet a-t-il consisté ?

MB : Thales a construit des scénarios en pilotant des avions depuis un simulateur de vol interne, puis nous avons fourni les données de référence et le modèle au LNE pour qu'il vérifie la robustesse de l'algorithme à partir de méthodes statistiques. Le test de robustesse consiste à déterminer si l'algorithme classe toujours correctement la situation quand on modifie légèrement quelques données. Ces résultats permettent ensuite de faire un réapprentissage de l'algorithme pour le rendre encore plus robuste.

Guillaume Avrin : Pour évaluer la performance du SVM, nous avons en effet généré des données augmentées (bruits capteurs, défauts capteurs, transformations métamorphiques...) à partir des données de référence fournies par Thales. Nous avons également réentraîné l'algorithme sur ces données augmentées, puis l'avons de nouveau évalué. En parallèle, nous avons mené une étude pour optimiser l'exploration de l'environnement de fonctionnement du système intelligent, en vue de sa caractérisation.

Avez-vous rencontré des difficultés particulières ?

GA : Les principales difficultés étaient liées à l'identification de biais dans les données d'origine, comme souvent, notamment concernant leur distribution. Une analyse plus fine et plus complexe des résultats a permis de les lever.

MB : La difficulté organisationnelle la plus marquante a été l'apparition de la Covid-19. Cela a ralenti un peu les choses, mais nous avons réussi à tout réaliser en distanciel.

Comment avez-vous travaillé ensemble ?

MB : nous avons travaillé avec une grande transparence et dans le sens de la confiance, puisque non seulement nous avons fourni nos données au LNE, mais aussi l'entité opérationnelle de Thales – notre client interne – a partagé toutes les informations nécessaires. De notre côté, nous devions aussi bien comprendre les méthodes du LNE. Aussi avons-nous mis en place une communication régulière.

Qu'avez-vous retiré de ce projet ?

GA : nous avons pu monter en compétence sur l'augmentation de données, un sujet porteur, de plus en plus courant dans l'évaluation de l'IA.

MB : pour notre client interne, cette étude – qui est très en amont de son projet – a conforté ses orientations. Pour nous, qui sommes en train de revoir nos processus en ce qui concerne l'IA, cela nous a convaincus qu'il reste encore beaucoup d'aspects à explorer avec le LNE, par exemple la généralisation de ce type de méthodes d'évaluation ou la qualification des données.

Quelles sont les perspectives ?

GA : Concernant l'étude, nous allons peut-être la poursuivre avec des données de référence différentes. Nous envisageons aussi d'utiliser cette méthodologie pour d'autres applications de l'IA. Une chose est certaine, Thales et le LNE souhaitent multiplier leurs collaborations sur l'évaluation de l'IA !

MB : En effet, nous participons déjà au groupe de travail qu'a créé le LNE sur la certification de l'IA (NDLR : voir p. 24). Et nous avons lancé plusieurs pistes pour collaborer de nouveau ensemble : être partenaires sur des appels à projets européens, encadrer une thèse... via un contrat cadre qui permette de pérenniser cette relation et de gagner en réactivité.

► VERS UNE ÉVALUATION 3-EN-1, AVEC LEIA

Avec LEIA (Laboratoire d'évaluation de l'intelligence artificielle), le LNE soumet les IA à divers types d'environnements de tests : LEIA 1 effectue des tests numériques, LEIA 3 des tests physiques, tandis que LEIA 2 proposera des tests hybrides, où un élément physique (capteur ou robot) sera confronté à un environnement simulé par projection. En 2020, LEIA 2 a bénéficié d'une subvention de la Région Ile-de-France à hauteur de 390 K€. Il devrait être opérationnel mi-2022.

⁽¹⁾ Support Vector Machine

« NOUS AVONS LANCÉ PLUSIEURS PISTES POUR COLLABORER DE NOUVEAU ENSEMBLE : APPELS À PROJETS EUROPÉENS, THÈSE... »

Michel Barreteau





IA : PAS DE RÉVOLUTION SANS CONFIANCE

La décennie à venir sera celle de l'intelligence artificielle, dont les technologies dépasseront le stade expérimental pour honorer la promesse d'un monde plus simple et plus performant. Il reste cependant à développer la fiabilité de l'IA. Le LNE y travaille.

L'année 2020 devrait marquer les débuts d'une véritable adoption de l'intelligence artificielle dans les entreprises. C'est ce qu'a récemment révélé une étude IBM⁽¹⁾, soulignant néanmoins la persistance de nombreux freins, notamment le manque de compétences, d'outils et de confiance : 78 % des responsables interrogés considèrent indispensable que les résultats délivrés par l'IA soient impartiaux, sûrs et fiables, et 83 % que ses décisions soient explicables.

FIABILISER LES RÉSEAUX DE NEURONES ARTIFICIELS

Afin de lever ces doutes, et de soutenir les entreprises françaises les plus innovantes dans ce domaine, le LNE a poursuivi en 2020 ses missions d'évaluation de l'IA. Dans le cadre du projet Man-Machine Teaming, animé par Thales et Dassault Aviation, et qui explore le développement d'un système aérien cognitif, il fait équipe avec Numalis sur le volet des capteurs intelligents. Leur tâche commune est de mettre en œuvre une stratégie de validation de réseaux de neurones adaptée à de l'analyse sémantique optique. Les méthodes retenues permettront d'extraire des informations sur le comportement des réseaux, et plus particulièrement sur la relation entre leur robustesse (résistance aux perturbations) et leur performance (capacité à bien classifier).

LA RÉGLEMENTATION EN MARCHÉ

Le LNE s'est également attaché à la question de l'IA dans les dispositifs médicaux connectés. D'un point de vue réglementaire, cette fois. À la demande de la Haute Autorité de Santé, il a participé à un groupe de travail pour mettre à jour le guide aidant les fabricants à déposer leur dossier auprès de la CNEDiMTS, la commission qui évalue les dispositifs en vue de leur remboursement. Une grille descriptive a ainsi été conçue, permettant aux industriels d'objectiver les caractéristiques de leur technologie : finalité d'usage, données impliquées dans l'apprentissage et la décision, place accordée à l'intervention humaine, seuils de performance, explicabilité et interprétabilité... Une

grille de classification fonctionnelle (dépistage, diagnostic, aide à la prévention...) a ensuite complété ce document.

Toujours dans le domaine de la surveillance, le LNE a achevé ses travaux dans le cadre du contrat Rover-A avec la Commission européenne. Il s'agissait d'explorer des méthodes permettant de vérifier la transparence, la responsabilité et l'équité des décisions algorithmiques sur les plateformes en ligne. Les recherches portaient sur trois cas : les systèmes de recommandation et de classement en ligne, les systèmes de modération de contenu, et le traitement algorithmique dans les publicités en ligne. Les résultats, présentés dans un rapport début 2021, nourriront l'élaboration du Digital Services Act (DSA).

BIENTÔT UNE CERTIFICATION

Enfin, devant ces questions persistantes de confiance en l'IA, le LNE a décidé de créer une offre de certification volontaire. Au sein d'un groupe de travail, il a réuni développeurs, évaluateurs et utilisateurs d'algorithmes, de toutes tailles et tous secteurs, afin de construire un référentiel qui réponde à leurs enjeux. Parmi les 14 membres : Arcure, Michelin, Orange, ou encore les start-up Axionable, Kickmaker et Scortex. Le référentiel est attendu pour le 2^e trimestre 2021. ■

⁽¹⁾ From Roadblock to Scale: The Global Sprint Towards AI – IBM, 2020.

➤ ET DU CÔTÉ DE LA CYBERSÉCURITÉ ?

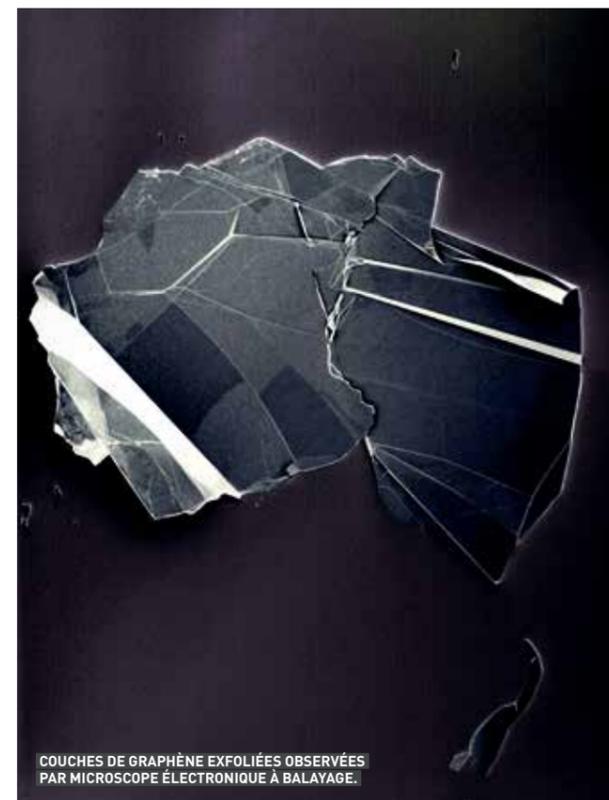
En 2020, le LNE a octroyé ses premiers certificats ISO 27017 et ISO 27018 à OVHcloud et Outscale. Ces deux normes, attestant des bonnes pratiques des fournisseurs de cloud en matière de sécurité et de protection des données personnelles, constituent une étape clé vers la conformité au RGPD. Elles complètent utilement les audits déjà proposés par le LNE aux acteurs du cloud : ISO 27001, HDS, SecNumCloud. À venir : la certification ISO 27701 et le référentiel européen EUCS – Cloud Services Scheme.



ROBOT ET INTELLIGENT À LA FOIS

Parce que les robots deviennent chaque jour plus intelligents, les challenges organisés pour accélérer et mesurer leurs progrès devraient porter à la fois sur l'assemblage robotique et sur les briques technologiques d'IA. C'est là la particularité du projet européen METRICS (2020-2023), alors que jusqu'ici chaque communauté organisait sa propre compétition. Coordonné par le LNE, ce projet évaluera la performance de la robotique intelligente dans quatre secteurs : santé, inspection et maintenance, agroalimentaire, production agile. En 2020, sur chaque thématique, une campagne à blanc (dry-run) a permis de valider le protocole d'évaluation. Dès 2021, les premières compétitions ouvertes au public seront lancées. Outre ses compétences en organisation de challenges, le LNE apporte son expertise en conception de protocoles, environnements et bases de données de tests, ainsi qu'en métrologie appliquée à l'IA.

Le Laboratoire est par ailleurs resté mobilisé sur le challenge ROSE (robots agricoles pour le désherbage intra-rang), dont la deuxième campagne terrain a été menée en octobre 2020. Les connaissances développées dans ce cadre servent d'ailleurs au projet METRICS. Fort de ces expériences, le LNE a enfin remporté deux appels à projets européens en 2020. À travers le projet Robotics4EU, il approfondira les thématiques de METRICS sur le volet de l'acceptabilité des robots. Et au sein du projet MISEL, il aidera à construire et évaluer un circuit intégré intégrant une rétine intelligente pour systèmes embarqués. ■



COUCHES DE GRAPHÈNE EXFOLIÉES OBSERVÉES PAR MICROSCOPE ÉLECTRONIQUE À BALAYAGE.

ÉNERGIE : AMÉLIORER LE CONTRÔLE QUALITÉ DES NANOFILS

Alors que la conversion et le stockage de l'énergie constituent un défi majeur, les nanofils font figure de nouveau Graal, mobilisant tous les efforts de l'industrie. Pour soutenir ceux-ci, l'Institut LNE-Nanotech participe au projet européen Nanowires. En raison de leur dimension nanométrique, alors qu'ils sont intégrés dans des dispositifs de grande taille (m²), il est en effet complexe de corrélérer les performances de chacun de ces nanofils à celles de l'ensemble du dispositif. L'Institut va donc contribuer au développement d'une métrologie fiable pour le contrôle qualité de ces systèmes. ■

ACCÉLÉRER ET ENCADRER L'ESSOR DES NANOTECHNOLOGIES

LNE-Nanotech a démarré les travaux relatifs au projet NanoFabNet. Il s'agit de créer, d'ici à 2022, un Hub international capable de soutenir une nanofabrication industrielle durable. L'Institut est en charge du *Work Package* consacré aux problématiques de validation, d'harmonisation et de normalisation. Les premières auditions des parties prenantes ont permis de classer au rang de priorité absolue la question de la caractérisation des nanotechnologies/nanomatériaux : valider des méthodes, évaluer des instruments de mesure, harmoniser des protocoles, diffuser les bonnes pratiques... et rapprocher les besoins industriels de la recherche et de la normalisation à travers une structuration efficace de leurs relations. ■

MAÎTRISER LA MAGIE DU GRAPHÈNE

L'Institut LNE-Nanotech est l'un des dix partenaires du projet européen ISO-G-Scope, débuté en septembre 2020. Objectif : garantir une caractérisation fiable et harmonisée des propriétés du graphène, qu'elles soient structurelles ou chimiques. Ce matériau révolutionnaire présente en effet des niveaux de qualité inégaux, ralentissant son acceptation et son exploitation innovante dans les secteurs de la santé, de l'énergie, du numérique... Dans ce cadre, l'Institut LNE-Nanotech développe des protocoles adaptés, et participera à des inter-comparaisons organisées par le groupe de travail international de pré-normalisation TWA 41 «Graphene and Related 2D Materials» au sein du VAMAS. En outre, il collabore avec le CNRS/C2N, autre partenaire du projet, au développement de systèmes de repositionnement, qui permettent de retrouver facilement les mêmes particules de graphène via microscopie électronique à balayage (MEB) et microscopie à force atomique (AFM), pour caractériser leurs différentes dimensions. L'Institut étudiera aussi la faisabilité d'un matériau de référence certifié. ■



CENTRIFUGEUSE MORS 100G POUR ESSAI D'ACCÉLÉRATION CONSTANTE (CAPACITÉ 100 KG).

SOUTIEN MÉTROLOGIQUE EN TEMPS DE COVID-19

Malgré les nombreux aléas dus à la crise sanitaire, les équipes du LNE ont été sur le pont pour soutenir la compétitivité et l'innovation de l'industrie. Rapide tour d'horizon.

Si l'on peine encore à mesurer les effets à long terme de la crise de la Covid-19, on a pu constater un effondrement de la production industrielle à son plus fort : à lui seul, le mois de mars 2020 a eu un impact équivalent à celui du choc pétrolier de 1974 – ou de la crise de 2008. Malgré les confinements, certains secteurs stratégiques ont cependant maintenu leur activité, et réclamé le soutien métrologique du LNE.

EXIGENCE ET PROXIMITÉ

Dans le domaine de la métrologie électrique, le LNE est resté disponible afin d'apporter tout l'accompagnement nécessaire aux industriels, notamment ceux de la défense - comme les ateliers de maintenance de la défense aérienne. Ceux-ci devaient maintenir impérativement en condition opérationnelle leurs propres appareils de mesure. Anticipant cette priorité pour permettre aux unités opérationnelles de sécuriser leurs capacités de projection, le LNE a maintenu ses laboratoires actifs durant le premier confinement, et a re-priorisé ses activités en conséquence. Cela a permis d'offrir une capacité opérationnelle optimale, afin de poursuivre l'étalonnage d'instruments critiques : générateurs de tension de courant, multimètres de très haut niveau, matériel haute fréquence (générateurs, synthétiseurs, analyseurs de réseaux vectoriels)...

Le LNE s'est également mobilisé pour accompagner l'un des leaders mondiaux des câbles et systèmes d'énergie et de télécommunication. Il s'agissait de vérifier la fiabilité des bancs servant à tester ses câbles très haute tension : des générateurs et des diviseurs de choc de foudre ultra-haute tension qui peuvent atteindre 2,5 millions de volts, ou encore des instruments de mesure des condensateurs très haute tension jusqu'à 800 000 volts. Le LNE a ainsi effectué *in situ* une qualification complète de ces bancs de test, par comparaison à des systèmes de référence approuvés et selon des procédures d'étalonnage garantissant la plus haute exactitude. À partir des termes correctifs qu'il a fournis, les exploitants ont ensuite pu garantir les performances de leurs produits.

SOUTIEN À L'INNOVATION

Pour soutenir l'aérospatiale enfin, course à l'innovation oblige, le LNE a amélioré en 2020 ses dispositifs mesurant les propriétés thermiques des matériaux. Qu'ils soient métalliques, céramiques ou composites, ceux-ci doivent en effet résister à de très hautes températures quand ils sont destinés aux propulseurs et autres boucliers thermiques. Auparavant limitées à 1 500 °C, les installations du LNE peuvent désormais effectuer des mesures de diffusivité thermique jusqu'à 3 000 °C. Ce développement technique, directement issu des recherches du LNE au sein du projet européen Hi-TRACE, permet aux industriels de disposer de valeurs utiles à de la modélisation ou au choix d'un matériau. Il peut également servir à caractériser des matériaux de référence pour étalonner leurs propres instruments de mesure. Le LNE s'attache désormais à repousser les limites de ses moyens de mesure de capacité thermique massique vers les très hautes températures. ■



LABORATOIRE DE MÉTROLOGIE ÉLECTRIQUE HAUTE TENSION.



MACHINE À MESURER TRIDIMENSIONNELLE SANS CONTACT POUR SCANNING OPTIQUE 500 X 400 X 250 MM AU LNE-NÎMES.

LNE-NÎMES, DE L'ÉNERGIE À L'AÉRONAUTIQUE

En 2020, le LNE-Nîmes a offert son assistance technique à la Division technique générale (DTG) du groupe EDF, chargée de surveiller le parc électrique et d'optimiser ses performances. Cette Unité souhaitait faire évoluer l'un de ses bancs d'essais, servant à caractériser les extensomètres à corde vibrante - des capteurs de déformation des ouvrages de génie civil. Après avoir effectué les modifications mécaniques nécessaires, le LNE-Nîmes a élargi la capacité de ce banc, qui peut désormais tester plusieurs types de capteurs avec des performances métrologiques améliorées. Une prestation complémentaire devrait concerner les essais en traction et en compression en 2021. L'équipe de Nîmes accompagne également le groupe Stelia Aerospace, l'un des leaders mondiaux dans la conception et la production des aérostructures, des sièges pilotes et des fauteuils passagers. Développant son parc de machines de fabrication additive, ce dernier souhaite évaluer l'impact des paramètres machine sur la qualité dimensionnelle des pièces produites. Depuis 2019, le LNE-Nîmes réalise ainsi un ensemble de mesures sur les divers plateaux de motifs de référence fournis par Stelia Aerospace. La mission devrait se poursuivre en 2021, pour valider des paramètres machine optimisés. ■

LA CERTIFICATION EN MODE DISTANCIÉ

Afin de limiter l'impact de la crise sanitaire sur l'activité des entreprises, le LNE et GMED ont mené des audits de certification à distance, remplaçant tout ou partie des audits sur site, lorsque les schémas de certification l'ont permis. À l'issue d'un travail commun, ils ont déployé des outils *ad hoc* : plateformes de visioconférence, sites de partage de documents... et même lunettes connectées ! Ces solutions - ainsi qu'un réseau d'auditeurs locaux - avaient été initiées dès 2019, dans un souci environnemental. ■

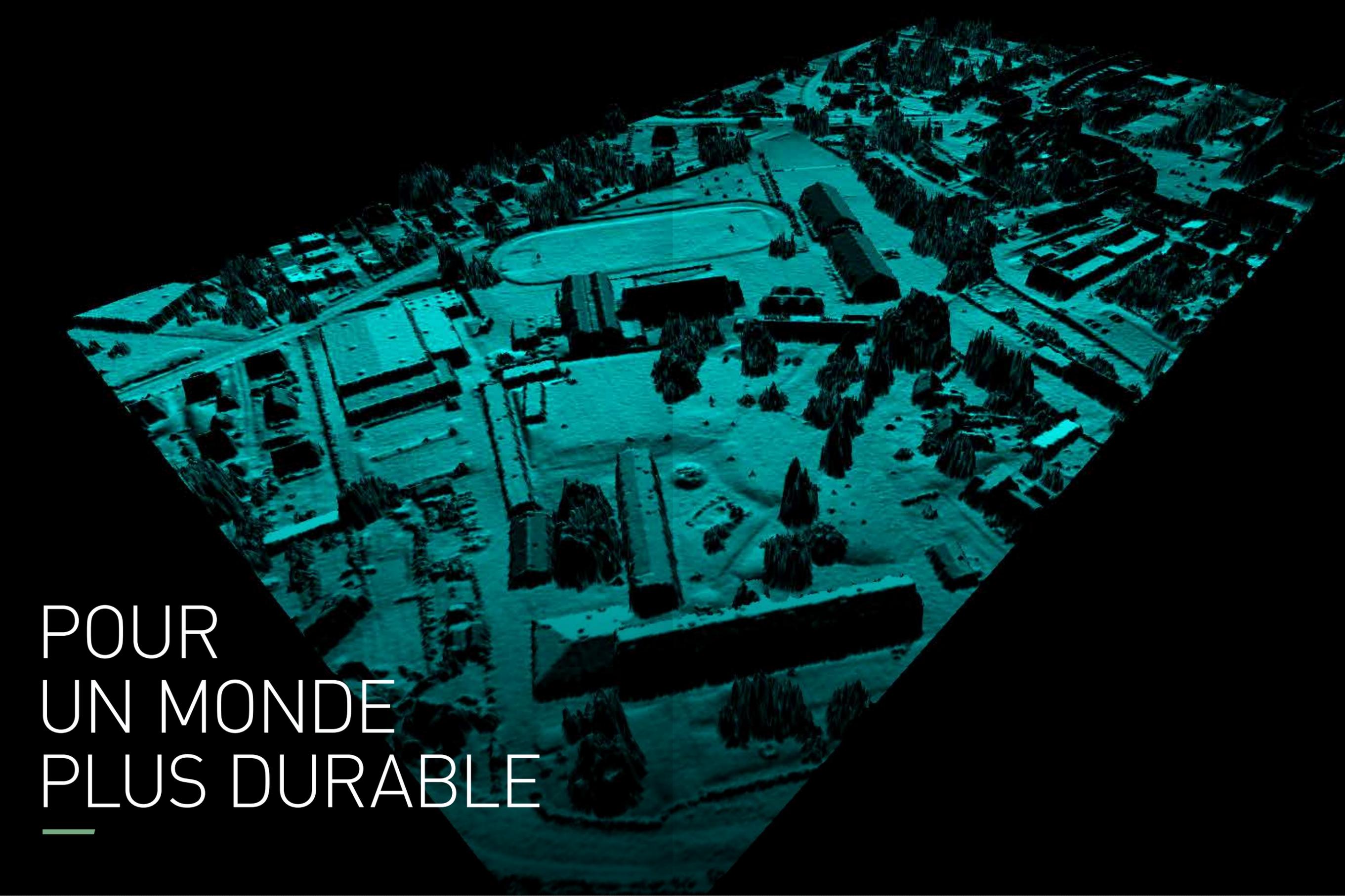
L'IMPRESSION 3D MÉTAL RENFORCE SES BASES

Au sein de l'Additive Factory Hub (AFH), le LNE a poursuivi en 2020 ses recherches sur la fabrication additive métallique. Dans le cadre du projet CaracPow, sur la caractérisation des poudres utilisées dans les machines à fusion, une campagne de comparaison a permis de valider les moyens et les protocoles de chacun des partenaires (Air Liquide, Cetim, LNE, ONERA, Safran). De quoi entamer l'étape suivante, dès 2021 : des études sur le vieillissement et la recyclabilité des poudres. Concernant l'instrumentation de ces machines, une thèse a par ailleurs commencé, afin d'évaluer l'influence de la paramétrie laser (puissance, vitesse de déplacement, stratégie de balayage...) sur les propriétés dimensionnelles des pièces produites. Enfin, le LNE a piloté la définition de plans d'expérience de deux nouveaux projets, qui permettront en 2021 d'évaluer l'impact du procédé de fusion laser sur lit de poudre (LPBF) et du procédé de dépôt de fil par électrique (WAAM) sur le comportement métallurgique des pièces. Couvrant une multitude de projets, l'Additive Factory Hub s'est également dotée d'une base de données permettant de compiler et d'analyser l'ensemble des informations recueillies au cours de leur développement. Mise au point avec la participation du département mathématiques-statistiques du LNE, celle-ci devrait être opérationnelle au 2^e trimestre 2021. ■



+ de 330

participants se sont connectés à la webconférence organisée sur le Brexit, le 24 novembre 2020. Le LNE et GMED, avec l'appui de représentants de l'administration britannique, y ont re-précisé les règles applicables sur le marché britannique à partir du 1^{er} janvier 2021 en termes de marquage CE.



POUR
UN MONDE
PLUS DURABLE



HYDROGÈNE : UN COMPTAGE EN RÈGLE POUR LES STATIONS DE RECHARGE

Durant plus de quatre ans, Air Liquide et le LNE ont conjugué leurs savoir-faire pour offrir des gages de confiance aux réseaux de distribution du groupe Air Liquide pour la mobilité hydrogène.

Christophe Brun, chef de projet certification au LNE, témoigne.

Quels étaient les enjeux du projet que vous avez mené avec Air Liquide ?

Air Liquide a fait appel au LNE pour certifier les ensembles de mesurage de ses stations de recharge hydrogène en France. Le projet a commencé en 2016 et s'est poursuivi jusqu'à aujourd'hui. Avec le plan Hydrogène récemment annoncé par le gouvernement, ces stations ont vocation à se développer. La métrologie légale est donc primordiale.

Côté LNE, l'enjeu principal a très vite concerné la réglementation, et plus particulièrement la recommandation OIML R139, destinée aux bornes de distribution de gaz : elle n'était pas adaptée au comptage de l'hydrogène. Celui-ci présente en effet des pressions plus élevées que d'autres gaz, et on ne peut lui appliquer les méthodes utilisées pour le gaz naturel comprimé. Il fallait donc un nouveau cahier des charges technique.

Concrètement, en quoi le projet a-t-il consisté ?

Concernant l'OIML R139, le Japon en était arrivé à la même conclusion, au même moment. Un groupe de travail international s'est donc construit, auquel nous avons participé aux côtés d'Air Liquide, et a établi une nouvelle version de la recommandation fin 2018. En parallèle, Air Liquide a conçu un banc de test pour ses ensembles de mesurage.

Puis nous avons engagé le processus de certification du premier distributeur en France, avec une analyse détaillée de toutes les exigences de l'OIML R139. Le certificat d'examen de type a été attribué début 2021. Le processus complet a été long, car il a inclus des discussions avec nos homologues japonais et américains pour faire évoluer le cahier des charges technique. Il a également nécessité de prendre en compte la conception de ces nouvelles stations hydrogène, similaires aux stations existantes de gaz naturel comprimé, mais comportant leur lot d'innovations et de particularités.

Quelles sont les perspectives ?

Fort de cette expérience, le LNE souhaite désormais devenir une *Issuing Authority* de l'OIML, c'est-à-dire pouvoir émettre des certificats OIML. Et ainsi gagner une dimension internationale sur le volet de l'hydrogène. Nous allons également poursuivre notre investissement sur le sujet à travers notre adhésion à France Hydrogène (NDLR : voir p. 33).

« NOTRE ENJEU PRINCIPAL A TRÈS VITE CONCERNÉ LA RÉGLEMENTATION : ELLE N'ÉTAIT PAS ADAPTÉE AU COMPTAGE DE L'HYDROGÈNE. »

Christophe Brun





CARTOGRAPHIE AÉRIENNE NOCTURNE ET VISIBLE DES ÉCLAIRAGES EXTÉRIEURS (ORTHOLUMINOPLAN).

ÉNERGIE SOLAIRE : TRANSFORMER LE POTENTIEL EN RENDEMENT

À horizon 2028, la puissance photovoltaïque installée devra dépasser les 40 GW, contre 7 GW actuellement. Pour soutenir les ambitions de la PPE 2018, le Groupe LNE accompagne à la fois les collectivités territoriales et les industriels.

Figurant parmi les États européens les plus ensoleillés, la France dispose d'un potentiel solaire important, mais insuffisamment exploité. L'Ademe a par exemple estimé le gisement photovoltaïque en toiture à 364 GWc, et celui des zones délaissées et parkings à 53 GWc. Pour accélérer la cadence, et répondre aux objectifs de la PPE, le LNE a poursuivi ses études de cadastre solaire, en soutien des collectivités territoriales et de leur PCAET. Il s'agit d'étudier les cibles (bâtiments et sites au sol) les mieux exposés, et de les confronter aux contraintes opérationnelles réelles, pour aider les collectivités à identifier les projets photovoltaïques viables et prioritaires sur leur territoire.

DES COMPÉTENCES ALLANT DU GISEMENT SOLAIRE...

Le LNE a notamment été choisi par le Syndicat départemental d'énergie de Loire-Atlantique (Sydela) pour couvrir tout son territoire, y compris Nantes Métropole, soit près de 7 000 km². Son équipe a ainsi cartographié le gisement solaire en données annuelles et mensuelles : en croisant le modèle numérique d'élévation (MNE)* du Sydela avec des données climatiques, elle a calculé, en tout point du territoire, l'énergie solaire reçue en fonction de la course du soleil et en tenant compte des masques et ombres portées créés par l'environnement proche (bâtiments, arbres...) et lointain (relief). Son partenaire AD Missions exploitera ensuite les résultats pour estimer le potentiel de production des sites susceptibles d'accueillir des solutions photovoltaïques : toitures, ombrières de parking, sites au sol divers, friches industrielles... L'étude complète devrait être livrée au printemps 2021.

Cette opération d'envergure n'a pas été la seule de l'année. Le Syndicat départemental d'énergie et d'équipement du Finistère (SDEF) a sollicité le LNE pour l'étude du département hors Brest Métropole et Quimper Bretagne Occidentale, tout comme la région Grand Est, pour le potentiel solaire de son patrimoine immobilier.

... À LA PRODUCTION PHOTOVOLTAÏQUE

De son côté, Certisolis, filiale du Groupe LNE, a continué d'accompagner les fabricants de panneaux photovoltaïques et les constructeurs de centrales. Malgré le contexte sanitaire, elle a réalisé ses premières qualifications de modules solaires photovoltaïques, selon les nouvelles normes en vigueur (NF EN IEC 61215:2017 et NF EN IEC 61730:2018). En soutien des dernières évolutions technologiques, de nouveaux essais ont été proposés, comme les mesures d'électroluminescence sur centrales ou bien les mesures de bifacialité. Plusieurs partenariats industriels et de recherche ont enfin été établis afin de garantir un très haut niveau d'expertise technique. L'activité de certification a ainsi poursuivi sa croissance (+ 25 %), avec 14 entreprises titulaires de la marque AQPV (Alliance Qualité PhotoVoltaire). ■

* Modèle 3D du territoire, de ses reliefs et de ses bâtiments, issu d'un relevé aérien.

► R&D PHOTOVOLTAÏQUE : DES ESSAIS SUR LES CÂBLES ET CONNECTEURS

En 2020, EDF R&D a confié au LNE la réalisation d'essais de vieillissement sur des câbles et connecteurs à courant continu basse tension, utilisés dans les centrales photovoltaïques du groupe. Les gaines de deux types de câbles ont été soumises à quatre phases de vieillissement accéléré (de 144 h à 360 h), suivies d'essais de caractérisation physico-chimique, thermiques et mécaniques : mesure du temps et de la température d'induction, de la résistance d'isolement, de l'allongement à la rupture. Quant aux connecteurs, ils ont été étudiés par les équipes EDF après leur vieillissement. Ces essais visent à garantir au groupe EDF la fiabilité de ces équipements pour de nombreuses années.



ISOLANTS SUPPORT D'ÉTANCHÉITÉ : UNE OFFRE ORIENTÉE ACERMI

Devenue une priorité nationale avec le plan France Relance, la rénovation énergétique des bâtiments repose en grande partie sur l'isolation des murs et toitures. La cinquième façade représente 30 % des déperditions de chaleur... et 48 % du marché de l'isolation thermique du bâtiment. Pour accompagner les fabricants de matériaux isolants destinés aux applications en toiture plate, le LNE a anticipé l'entrée en vigueur du futur référentiel Acermi, qui se substituera le 30 juin 2021 aux avis techniques du CSTB (en raison du caractère traditionnel de cette utilisation). Il a qualifié son nouveau banc mécanique permettant d'évaluer le comportement des isolants sous charge statique répartie en température. Un équipement qui complète utilement son parc d'essais, notamment son banc d'incurvation sous gradient (déformations induites par le rayonnement solaire) et son banc de variation dimensionnelle à l'état libre de déformation (influence des variations de température et d'humidité). Parce que les fabricants s'orientent de plus en plus vers des systèmes isolation-étanchéité, le LNE a également fait l'acquisition d'un banc de fatigue pour déterminer le classement FIT (fatigue, indentation, température) des membranes d'étanchéité. ■



HYDROGÈNE : LE LNE DANS LES STARTING-BLOCKS

L'hydrogène décarboné confirme son potentiel et devient un enjeu majeur sur lequel la France, l'Allemagne, l'Union européenne et bien d'autres investissent massivement. Au niveau national, pas moins de 7 milliards d'euros d'ici à 2030, ainsi que des initiatives coordonnées par le Conseil national de l'hydrogène et France Hydrogène, permettront de construire une filière française de pointe et compétitive. Le LNE, avec la diversité de ses compétences, se met en ordre de bataille pour accompagner le mouvement. Il a rejoint l'association France Hydrogène et ses plus de 270 membres, pour apporter aux différents groupes de travail son expertise dans la mesure, les essais, la réglementation et la certification. Parallèlement, ses équipes se mobilisent, afin de proposer une offre de métrologie, d'essais et d'assistance technique adaptée à toute la chaîne de valeur de l'hydrogène (électrolyseurs, piles à combustible, réservoirs, matériaux, isolants...), tout en poursuivant le développement de solutions de mesure. Ces savoir-faire viendront étoffer ceux déjà déployés aux côtés d'Air Liquide et au sein du projet européen HYDROGEN : *Metrology for sustainable hydrogen energy applications* (méthodes et mesure des impuretés) finalisé en 2020. ■

PAS DE TRANSITION ÉNERGÉTIQUE SANS DC GRIDS ÉPROUVÉS

Indispensable à l'innovation dans le domaine de la production, du stockage et de la distribution de l'énergie, le développement des réseaux électriques à courant continu (DC grids) constitue aujourd'hui une priorité. Sans eux, difficile d'opérer la transition énergétique ou de déployer la mobilité électrique. Si la qualité de l'énergie, le comptage et les méthodes de mesure sont maîtrisés et normalisés pour les réseaux à courant alternatif, c'est moins le cas pour ces réseaux. Cela nécessite de développer de nouvelles techniques de mesure et d'établir leur traçabilité au Système International d'unités. Une mission dont s'est emparé le LNE pour les réseaux à courant continu et à basse tension (jusqu'à 1 kV), aux côtés des acteurs français de l'énergie et de la mobilité électriques. ■



ÉCOSYSTÈMES AQUATIQUES : SE RÉARMER FACE AUX MICROPOLLUANTS

Pour surveiller les milieux aquatiques et protéger la biodiversité, les méthodes biologiques ont clairement démontré leur valeur ajoutée. En l'absence d'outils de contrôle qualité adaptés, elles sont malgré tout peu répandues. Le LNE a commencé à y remédier en 2020.

Sur les 1 372 espèces aquatiques évaluées par l'UICN en métropole et en outre-mer, 21 % étaient éteintes ou menacées en juin 2020⁽¹⁾. En cause, plusieurs facteurs possibles : des obstacles à l'écoulement de l'eau, la prédation par des espèces exotiques, le réchauffement climatique, la pollution... De fait, bien que l'état écologique de nos cours d'eau s'améliore légèrement, les écosystèmes et la biodiversité sont confrontés à de nouveaux polluants (HAP, métaux lourds, microplastiques, nanoparticules...), dont on peine à mesurer précisément les effets.

UN RÉFÉRENTIEL D'ÉVALUATION POUR DÉVELOPPER LES BIOESSAIS EN ROUTINE

La surveillance des milieux aquatiques se trouve ainsi à un tournant. Afin de mieux caractériser les impacts des micropolluants sur le vivant, elle doit compléter ses analyses physico-chimiques et hydrobiologiques par des méthodes biologiques (bioessais *in vitro* et *in vivo*). Car seules celles-ci permettent d'estimer la toxicité des milieux aquatiques en intégrant les effets cocktails. Pour autant, elles souffrent d'un manque de reconnaissance et d'acceptation.

Aussi le LNE a-t-il livré en 2020 un référentiel technique explicitant les performances nécessaires à connaître pour ces méthodes, et définissant des protocoles et les conditions opératoires pour les évaluer. Le document s'applique aux bioessais de toxicité générale et spécifique, qui permettent de caractériser les modifications de fonctions vitales, physiologiques, hormonales... jusqu'aux dommages ou aux adaptations représentatives d'une toxicité donnée. Il concerne tous types de milieux aquatiques : eaux de surface continentales, souterraines, résiduaires, marines et côtières, destinées à la consommation et à la baignade.

Ces travaux ont été menés dans le cadre du contrat stratégique de filière eau (CSF Eau), en collaboration avec des entreprises du tout nouveau syndicat France Eau Biosurveillance (Biomae, Watchfrog, Tamewater, Veolia) et avec l'Office français de la biodiversité (OFB). L'enjeu est de promouvoir ces méthodes innovantes pour une utilisation en routine, comme le préconise de plus en plus la réglementation. Et de structurer l'offre d'écotoxicologie pour développer le marché.

Depuis, un contrat de partenariat a été signé entre France Eau Biosurveillance et le LNE, pour développer une certification sur les bioessais (produit et service). À suivre. ■

⁽¹⁾ UICN : Union internationale pour la conservation de la nature. Source : Les chiffres clés sur l'eau et les milieux aquatiques - Édition 2020 (SDES et OFB).



51

bureaux d'études ont obtenu en 2020, de la part du LNE, une certification réglementaire Sites sols pollués. Garantissant la qualité de leurs études de sols et de leurs attestations, cette certification est exigée lors de toute demande de permis de construire ou d'aménagement de sites localisés en secteur d'information sur les sols (SIS)* ou sur des terrains ayant accueilli une installation classée pour la protection de l'environnement (ICPE).

*Zone confrontée à une pollution des sols ou à un risque minier, pour laquelle un dispositif d'information des acquéreurs et locataires est obligatoire.

BIODIVERSITÉ : ACCÉLÉRER LES PROGRÈS DE LA TRAME NOIRE

Selon une étude parue dans la revue *Nature, ecology and evolution*, la pollution lumineuse dérèglerait massivement le vivant, à la manière du réchauffement climatique. Pour caractériser (et enrayer) ces nuisances, le LNE n'a cessé d'améliorer ses techniques de cartographie aérienne des éclairages extérieurs. Et de s'ouvrir à l'ensemble des communautés pour recenser tous les besoins. C'est en ce sens qu'il a participé, en novembre 2020, à un workshop de la Commission internationale de l'éclairage (CIE) – exercice qui se reproduira en 2021 aussi bien sur la scène nationale qu'internationale. Mais aussi, à travers le Réseau national de la métrologie française, il a initié un projet de recherche sur la mise au point d'un outil de caractérisation des éclairages extérieurs intégrant des mesures traçables et destiné à être opéré depuis un avion. Premières manœuvres en 2021. ■



CARTOGRAPHIE AÉRIENNE DES ÉCLAIRAGES EXTÉRIEURS - ORTHOLUMINOPLAN DE LA PLACE DE L'ÉTOILE.

LE SARS-COV-2 PEUT-IL SE RETROUVER DANS NOS TERRES AGRICOLES ?

En pleine épidémie de Covid-19, tous les vecteurs de transmission du virus ont été interrogés, y compris les épandages agricoles. En France en effet, 70 % des boues rejetées par les stations d'épuration servent à fertiliser les sols. Et bien qu'il soit recommandé de les hygiéniser au préalable, les petites stations ne disposent pas forcément des équipements requis.

Saisie du sujet, la Direction de la Biodiversité du ministère de la Transition Écologique et Solidaire a été confrontée au manque de données sur le niveau de contamination de ces boues non traitées. Aussi, tout en recommandant de ne pas les épandre immédiatement, elle a sollicité l'expertise du LNE pour coordonner une étude. Il s'agissait de soutenir l'évaluation des risques de propagation du SARS-COV-2 via l'épandage des boues urbaines produites par les stations de traitement des eaux usées (STEU) sur les sols agricoles, ainsi que les éventuelles mesures à prendre. Devant l'impossibilité de recourir à des méthodes fiables et reconnues pour la mesure du SARS-COV, l'étude a ciblé certains bactériophages fécaux comme indicateurs de l'efficacité des traitements mis en œuvre dans les différentes filières de traitement des boues. Ce choix a été motivé par l'existence de résultats antérieurs démontrant qu'ils étaient plus résistants que certains coronavirus, et également par l'existence de méthodes reconnues. Les conclusions ont permis de fournir un socle robuste de données soumises à l'évaluation de l'ANSES, en vue de la révision des textes réglementaires. En outre, les acteurs de la filière disposent désormais d'outils méthodologiques éprouvés et opérationnels. ■

MÉTROLOGUES ET OCÉANOGRAPHESS RESSERRENT LEURS LIENS

Dans le cadre des collaborations au sein du réseau européen de métrologie pour l'observation du climat et des océans, le LNE et deux de ses homologues ont participé au montage du projet MINKE (*Metrology for Integrated Marine Management and Knowledge-Transfer Network*). Objectif : créer le démonstrateur d'une collaboration plus structurée entre laboratoires nationaux de métrologie et océanographes, autour des questions de fiabilité et comparabilité des mesures. Retenu à l'issue d'un appel à projets Horizon 2020, ce projet démarrera en mars 2021. Parallèlement, les équipes du LNE poursuivent leurs recherches sur la mesure de l'acidification des océans. Une thèse devrait permettre d'établir une chaîne de traçabilité pour les mesures de pH et d'alcalinité totale. ■

► TRAQUE DES PERTURBATEURS ENDOCRINIENS EN OUGANDA

Depuis 2017, le LNE apporte un soutien métrologique aux recherches de Sabrina Krief sur le territoire de Sebitoli, en Ouganda. Afin de détecter d'éventuels perturbateurs endocriniens dans l'eau des rivières - et d'expliquer les malformations constatées chez les grands singes -, la primatologue et son équipe mènent une double investigation : une analyse chimique pour quantifier une centaine de molécules, présélectionnées selon les usages locaux ; une analyse par bioessais sur des têtards transgéniques pour évaluer leurs effets. Jusqu'à 15 pesticides ont été identifiés jusqu'à présent, parmi lesquels des perturbateurs thyroïdiens reconnus.



SABRINA KRIEF



POUR UN MONDE
PLUS SÛR

UNE EXPERTISE À 360° POUR ÉVALUER UVO CARE

Avant de mettre sur le marché Uvo Care, un boîtier qui désinfecte par LED UV les petits objets, y compris les masques de protection, T.zic l'a soumis à une batterie de tests. Un projet mené tambour battant par le LNE, afin de répondre à l'urgence de la crise sanitaire. Interview de **Thomas Sechaud**, directeur général de T.zic, de **Tatiana Macé** et d'**Olivier Enouf**, métrologues au LNE.

Quels étaient les enjeux du projet mené avec le LNE ?

Thomas Sechaud : T.zic avait mis au point une technologie de traitement des eaux par désinfection LED UV, qui permet d'éliminer les virus, bactéries et parasites de toutes sortes. Nous souhaitons appliquer ce savoir-faire aux petits objets du quotidien, aux surfaces, et notamment au textile. L'arrivée de la Covid-19 a accéléré la mise au point de cette solution, parfaitement adaptée à la désinfection des masques, donnant naissance aux boîtiers Uvo Care. Face à la demande urgente, il a fallu mettre rapidement ces dispositifs sur le marché et, pour cela, obtenir le marquage CE.

Concrètement, en quoi le projet a-t-il consisté ?

TS : au-delà des essais obligatoires pour la mise sur le marché d'Uvo Care, il a fallu démontrer que les masques restent efficaces après plusieurs cycles de désinfection.

Tatiana Macé : nous avons adapté à la désinfection UV la technique et le protocole d'essais que nous avons développés dans le cadre du lavage des masques. Notre plan d'action a reposé sur plusieurs étapes : réaliser des essais d'efficacité de filtration sur des masques neufs, réaliser les mêmes essais sur des masques ayant subi plusieurs cycles de désinfection et comparer les résultats. Le même mode opératoire a été appliqué à chaque type de masques, en tissu grand public, FFP2 et chirurgicaux.

Uvo Care a-t-il nécessité d'autres essais, spécifiques à sa technologie ?

Olivier Enouf : nous devons en effet évaluer la sécurité des utilisateurs vis-à-vis du rayonnement UV. Si les UVC sont nocifs pour les bactéries et virus, ils le sont également pour les humains. Il est donc primordial que les utilisateurs ne soient pas exposés. Nous avons apporté un ensemble de conseils sur la forme de la trappe de fermeture, ainsi que sur son verrouillage, afin d'obtenir une étanchéité parfaite. Après nous être assurés de l'émission de rayonnement par les sources situées à l'intérieur de l'appareil, nous avons contrôlé l'absence de rayonnement à l'extérieur, avec un spectroradiomètre.

Quels ont été les principaux résultats et bénéfices de ces essais ?

TM : nos essais ont démontré que les masques en textile peuvent supporter jusqu'à 100 cycles de désinfection sans être abîmés, et donc sans perdre en efficacité.

« T.ZIC CONSIDÈRE AUJOURD'HUI LE LNE COMME UN PARTENAIRE, SUR LEQUEL S'APPUYER POUR SON DÉVELOPPEMENT. »

Thomas Sechaud



TS : cela a apporté la preuve que nous proposons un produit de qualité. Nous avons pu enrichir la liste des bénéfices apportés par Uvo Care et nourrir notre argumentation : montrer, rassurer, convaincre que cet investissement peu coûteux n'altère pas l'efficacité des masques, réduit les dépenses liées à la Covid-19, ainsi que l'impact environnemental, en limitant l'utilisation d'eau, de produits nettoyants et le nombre de déchets occasionnés par l'utilisation des masques jetables.

Comment cette collaboration s'est-elle déroulée ?

TS : L'équipe du LNE a été réactive, a su faire preuve d'une grande capacité d'écoute et a répondu à toutes nos questions-clés. Sa réactivité était indispensable pour répondre à la demande croissante de nos distributeurs en France et à l'étranger, et des visiteurs de notre site internet. Nous considérons aujourd'hui le LNE comme un partenaire, sur lequel nous appuyer pour notre développement.

Ce projet a-t-il ouvert de nouvelles perspectives ?

TS : Notre objectif est de nous positionner comme un leader de la désinfection par LED UV, en nous adressant aux entreprises mais aussi aux particuliers, un marché qui se développe depuis la mise en place de l'achat en ligne sur notre site. À terme, nous souhaitons appliquer notre technologie aux grands objets, afin de proposer des solutions aux hôpitaux (pour les blouses, surblouses, ou la literie), et ultérieurement à d'autres secteurs tels que l'hôtellerie, la restauration ou encore les transports.

« NOS ESSAIS ONT DÉMONTRÉ QUE LES MASQUES EN TEXTILE PEUVENT SUPPORTER JUSQU'À 100 CYCLES DE DÉSINFECTION SANS ÊTRE ABÎMÉS. »

Tatiana Macé

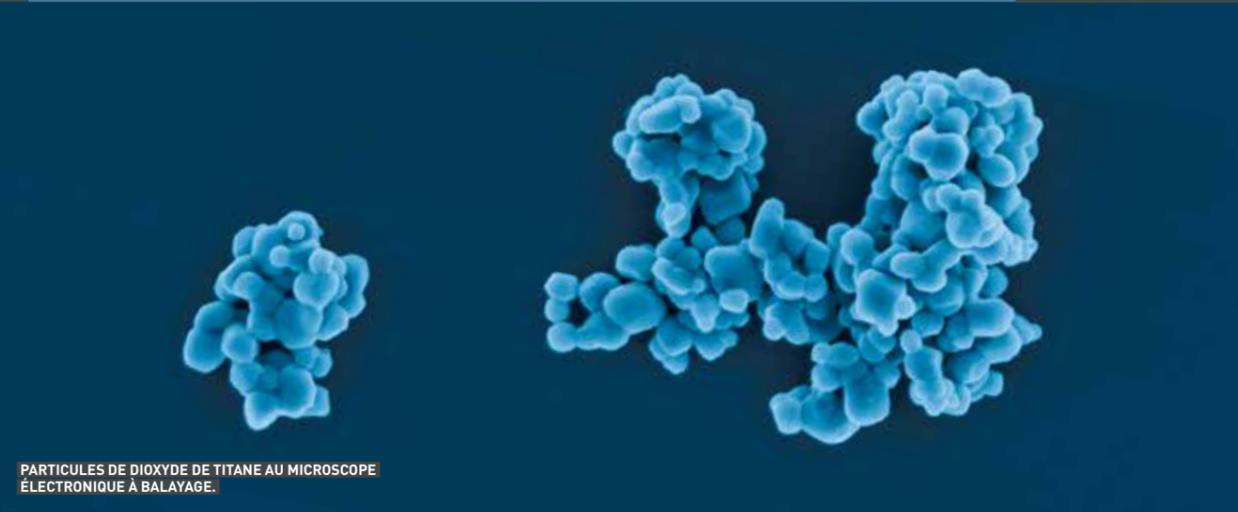
► UNE ÉQUIPE PLURIDISCIPLINAIRE POUR UNE APPROCHE TRANSVERSALE

L'évaluation d'Uvo Care a fait l'objet d'une approche transversale au LNE, mobilisant autant la direction de la Métrologie scientifique et industrielle (DMSI) que la direction des Essais et de la certification (DEC) : des essais de caractérisation des propriétés mécaniques des masques (respirabilité et résistance des élastiques) ont ainsi été menés par Elise Dubos ; des essais de sécurité électrique selon la norme NF EN 60335-1, par Sébastien Minart ; et des essais de compatibilité électromagnétique selon la norme NF EN 61326, par Maxime Peze.

« IL FALLAIT ÉVALUER LA SÉCURITÉ DES UTILISATEURS VIS-À-VIS DU RAYONNEMENT UV. SI LES UVC SONT NOCIFS POUR LES BACTÉRIES ET VIRUS, ILS LE SONT ÉGALEMENT POUR NOUS. »

Olivier Enouf





PARTICULES DE DIOXYDE DE TITANE AU MICROSCOPE ÉLECTRONIQUE À BALAYAGE.

MIEUX CERNER LE RISQUE NANO DANS NOTRE QUOTIDIEN

Placée sous le feu des projecteurs, la traque des nanoparticules d'E171 enclenche à sa suite tout un ensemble de recherches autour des nanomatériaux et de leurs risques. La métrologie y apporte des garanties indispensables.

Alors que la France a suspendu l'additif alimentaire E171, de nouvelles preuves scientifiques l'accablent régulièrement. À l'instar de cette étude parue le 7 octobre 2020 dans la revue *Particle and Fibre Toxicology*, démontrant que les nanoparticules de dioxyde de titane (TiO₂) peuvent franchir la barrière placentaire.

DE L'ASSIETTE AU FŒTUS

Menée par l'INRAE en collaboration avec divers laboratoires⁽¹⁾, cette étude a consisté à analyser les placentas de 22 mères volontaires. Expert dans la caractérisation des nanoparticules, l'Institut LNE-Nanotech a été mis à contribution. Avec pour principal défi d'effectuer ces mesures dans un matériel biologique, il a mobilisé les moyens analytiques de sa plateforme CARMEN et de son pôle de chimie inorganique : spectrométrie de masse, mesure de surface spécifique, zétamétrie, diffusion dynamique de la lumière, microscopie électronique à balayage. Les résultats ont hélas montré une accumulation de TiO₂ dans les placentas, majoritairement sous forme de nanoparticules. Des analyses identiques réalisées sur les premières selles de nouveau-nés ont par ailleurs prouvé que les fœtus sont exposés *in utero*. De quoi alerter, une nouvelle fois, l'ensemble des parties prenantes. Le 8 octobre, le Parlement européen a d'ailleurs exigé le retrait du E171 de la liste des additifs alimentaires autorisés sur le marché.

L'Institut LNE-Nanotech a également contribué à un rapport de l'ANSES, publié en 2020, dressant un état des lieux des nanomatériaux manufacturés dans l'alimentation : on y recense 37 substances, pour lesquelles la présence de nanoparticules est avérée ou suspectée, ainsi que près de 900 produits intégrant au moins l'une d'elles - notamment le lait infantile, les confiseries, les céréales du petit-déjeuner.

DES MÉTHODES HARMONISÉES

Cependant on retrouve aussi les nanomatériaux dans les cosmétiques, peintures, textiles... avec le risque qu'ils soient

mal classifiés vis-à-vis de la réglementation européenne, en raison d'une mauvaise caractérisation initiale. C'est sur la base de ce constat qu'il a été décidé d'améliorer le registre français R-Nano, où les industriels déclarent les substances à l'état nanoparticulaire. Dans ce contexte, l'Institut LNE-Nanotech a apporté son expertise à l'ANSES pour passer en revue les méthodes de mesure compatibles avec la recommandation de définition européenne d'un nanomatériau.

Enfin, concernant le risque d'inhalation de nano-objets au poste de travail, l'Institut a contribué en 2020 aux travaux lancés au niveau de la normalisation européenne. Ses missions :

- participer à la définition de protocoles harmonisés pour le prélèvement de Nano-objets, de leurs Agglomérats et Agrégats (NOAAs) présents dans l'air, et des règles de comptage par microscopie électronique ;
- apporter ses méthodes de référence pour évaluer les performances des capteurs bas coût disponibles sur le marché, mesurant l'exposition par inhalation aux NOAAs. ■

⁽¹⁾ Groupe de Physique des Matériaux (CNRS/INSA Rouen/Université de Rouen Normandie), CHU de Toulouse, Université de Picardie Jules Verne, École nationale vétérinaire de Toulouse.

► LA SP ICP-MS À L'AFFÛT DU TiO₂

Depuis décembre 2020, l'Institut LNE-Nanotech encadre une thèse avec l'ANSES afin d'évaluer la fiabilité de la technique sp ICP-MS pour la caractérisation des nanoparticules de TiO₂. Utilisée en routine dans de nombreux laboratoires, cette technique s'avère particulièrement intéressante pour mesurer la concentration en nombre et la distribution de tailles des nanoparticules métalliques. Les échantillons retenus pour la thèse : des simulants alimentaires utilisés pour vérifier la migration de nanoparticules depuis les emballages.



COSMÉTIQUE : GARE AUX INTERACTIONS CONTENANT-CONTENU

Le LNE accompagne les recherches de CosmétoPack, un consortium de quinze acteurs de la cosmétique chargé de déterminer les risques liés aux interactions contenant-contenu. Achievée en novembre 2020, la première phase du projet a permis d'établir des données d'exposition toxicologique, et de modéliser des transferts de matière sur la base de diverses conditions et géométries de contact. Prochaines étapes : l'analyse expérimentale des niveaux de contamination et la construction d'abaques génériques. ■

UNE NOUVELLE AIDE À LA CONCEPTION DES EMBALLAGES

Boosté par l'e-commerce, le transport de marchandises doit trouver des solutions d'emballage optimisées, afin de rester compétitif, de préserver la qualité des produits acheminés et de réduire son empreinte environnementale. Pour aider les professionnels du packaging, le LNE a développé en 2020 une prestation d'aide à la conception. Complétant son offre d'essais de validation en simulation de transport, cette nouveauté permettra dès 2021 un accompagnement à 360°. ■

DES EXPÉDITIONS PLUS SÛRES

L'association EUMOS - the European Safe Logistics Association - a défini un référentiel pour mieux évaluer la stabilité des chargements lors des phases de transport routier. En cas d'accident causé par une cargaison inadaptée, la responsabilité des expéditeurs est en effet engagée, et ce référentiel vaut preuve de conformité. Il implique un test consistant à appliquer des accélérations dynamiques horizontales sur une charge palettisée afin d'évaluer sa rigidité. Pour accompagner les industriels, le LNE a investi en 2020 dans un nouveau banc d'essai, composé d'un châssis mécanique (intégré sur un banc d'essai horizontal existant), de capteurs accélérométriques et d'une caméra rapide dotée d'un logiciel de mesure adapté. Il devrait être opérationnel au premier trimestre 2021. ■

EMBALLAGE ALIMENTAIRE : UNE OFFRE POLYVALENTE

En plein essor, le secteur de l'emballage alimentaire est aussi en pleine mutation, confronté à des enjeux marketing et environnementaux croissants. Pour autant, la sécurité sanitaire reste primordiale aux yeux des professionnels.

En 2020, le LNE les a accompagnés sur plusieurs fronts. À commencer par celui de la certification. Le 1^{er} février a effet été marqué par l'entrée en vigueur de la version 6 du référentiel BRCGS/Packaging, dont les exigences ont été renforcées pour tendre vers le référentiel Food. Formés dès 2019, les auditeurs ont pu répondre aux premières demandes de certification... avant la crise de la Covid-19. Mixant extension de certificats et audits à distance, ils ont pu néanmoins poursuivre leur mission et maintenir le service apporté aux clients. Durant l'année, 77 entreprises ont ainsi été certifiées - un chiffre en hausse de plus de 20% par rapport à 2019. Parallèlement, elles ont pu bénéficier d'une formation dédiée, notamment de stages en *e-learning* pour aller à leur propre rythme.

Sur le front du partage des connaissances, l'année a vu aboutir la plateforme de contenus pédagogiques <https://fitness.agroparistech.fr>. Pour développer les bonnes pratiques industrielles, celle-ci rassemble moult documents scientifiques, techniques, réglementaires... C'est la première du genre au niveau européen, à laquelle a contribué le LNE via le programme Erasmus + FitNess coordonné par l'Actia.

Enfin, côté R&D, outre ses travaux dans le cadre de l'UMT Actia SafeMat et du RMT Actia ProPack Food (voir p. 19), le Laboratoire a démarré deux nouveaux projets soutenus par l'ANR. L'enjeu est d'anticiper les objectifs de réduction des emballages plastiques, en validant des alternatives vertueuses. PolySafe étudiera l'éventuel impact sanitaire (métabolisme hépatique, perturbation endocrinienne) des contenants de substitution utilisés en restauration collective. Quant à FoodSafeBioPack, il évaluera les risques de contamination des aliments emballés dans les matériaux à base de fibre de cellulose. Les méthodologies et outils développés à cette occasion appuieront la future harmonisation des réglementations européennes. ■





SPECTROMÉTRIE DE MASSE À HAUTE RÉOLUTION POUR LE DÉVELOPPEMENT DE MÉTHODES DE RÉFÉRENCE POUR LE DOSAGE DE BIOMARQUEURS.

LA MÉTROLOGIE AU CŒUR DU DIAGNOSTIC

Que ce soit pour éviter les crises sanitaires ou pour maîtriser l'essor des maladies chroniques, la qualité des analyses biomédicales est un prérequis fondamental. Le LNE s'engage sur le sujet depuis de nombreuses années.

Jamais les outils de diagnostic n'auront été autant utilisés qu'en 2020 ! Qu'ils servent à un simple acte de dépistage ou à une véritable stratégie thérapeutique, ils portent tous des enjeux, et exigent la plus grande fiabilité. C'est en ce sens que le LNE participe à différents groupes de travail de l'IFCC (*International Federation of Clinical Chemistry and Laboratory Medicine*). Objectif : participer au développement de méthodes de référence et d'étalons internationaux pour le dosage des biomarqueurs.

5 GROUPES DE TRAVAIL, DU SEPSIS À L'OSTÉOPOROSE

En 2020, le Laboratoire a ainsi continué à coordonner le **groupe de travail sur la standardisation des dosages de procalcitonine** (l'un des principaux biomarqueurs du sepsis), qui réunit l'ensemble des parties prenantes : laboratoires de référence, industriels du diagnostic *in vitro*, organisateurs de contrôle externe de qualité, biologistes et cliniciens. Ses recherches ont permis de valider une méthode de référence candidate par spectrométrie de masse, qui sera utilisée pour évaluer la comparabilité des résultats et l'améliorer si nécessaire.

Au sein du **groupe de travail sur les protéines du liquide céphalorachidien** (maladie d'Alzheimer), son étalon primaire a été utilisé dans le cadre d'une première comparaison internationale, par les laboratoires ayant développé une méthode de référence pour le dosage de la protéine Tau. À terme, ses étalons primaires permettront d'assurer la traçabilité des méthodes de dosage servant au diagnostic précoce et au suivi des patients. Le LNE joue un rôle similaire dans le **groupe de travail sur la standardisation des dosages d'apolipoprotéines**,

qui permettent d'estimer le risque de maladies cardiovasculaires de manière plus fine que les dosages conventionnels, tel le cholestérol.

Par ailleurs, pour le **comité sur les biomarqueurs du métabolisme osseux** (ostéoporose), ses travaux ont principalement porté sur l'identification des étalons les plus appropriés. Enfin, les recommandations du **groupe de travail sur la commutabilité** servent désormais de référence en biologie médicale. Indispensable au raccordement des résultats au Système International d'unités, la commutabilité des étalons internationaux décrit leur capacité à mimer le comportement d'échantillons de patients. Le LNE a joué un rôle moteur dans ces travaux. ■

➤ RECENSER LES BIOMARQUEURS EN MANQUE DE MÉTROLOGIE

Le LNE assure la vice-présidence de l'EMN TraceLabMed, le réseau des laboratoires de référence européens en biologie médicale. Il coordonne notamment les actions visant à lister les biomarqueurs pour lesquels il existe un besoin urgent de méthodes de référence et d'étalons internationaux. Une hiérarchisation qui nécessite d'entendre l'ensemble des parties prenantes : médecins, autorités de santé, industriels du diagnostic *in vitro*, organisateurs de contrôle externe de qualité, organismes de standardisation.



ESSAIS DE FATIGUE SUR IMPLANT MAMMAIRE SELON LA NOUVELLE NORME ISO 14607.

UNE ACCRÉDITATION COFRAC POUR LES PROTHÈSES MAMMAIRES

En juin 2020, le LNE a été le premier laboratoire accrédité Cofrac pour l'évaluation des implants mammaires selon la norme ISO 14607. Publiée en 2018, la dernière version de cette norme a introduit de nouvelles méthodes d'essais, que le LNE est à même de réaliser : essais de résistance à la fatigue et/ou aux chocs, évaluation de la diffusion de silicone des implants via une méthode *in vitro*, évaluation de l'intégrité de l'enveloppe, cohésion du gel de silicone... Afin de maintenir cette accréditation, le système qualité et les compétences du LNE seront régulièrement audités. ■

DE NOUVEAUX MOYENS D'ESSAIS POUR LE CONTRÔLE ROUTIER AUTOMATISÉ

Si l'année 2020 a enregistré une baisse exceptionnelle de la mortalité routière, elle a aussi été marquée par une augmentation des comportements à risque et des très grands excès de vitesse, lors des périodes de confinement. Dans ce contexte, le LNE a poursuivi ses missions sur le contrôle routier automatisé. On lui a confié la conception de deux nouveaux moyens d'essais pour homologuer les cinémomètres de vitesse moyenne et les cinémomètres radar embarqués. Concernant le contrôle des franchissements de feux tricolores, il a approfondi ses travaux sur les essais de la fonction de détection sans contact équipant les radars tourelles. Par ailleurs, son contrat pour la vérification des éthylomètres utilisés par les forces de l'ordre a été renouvelé. ■



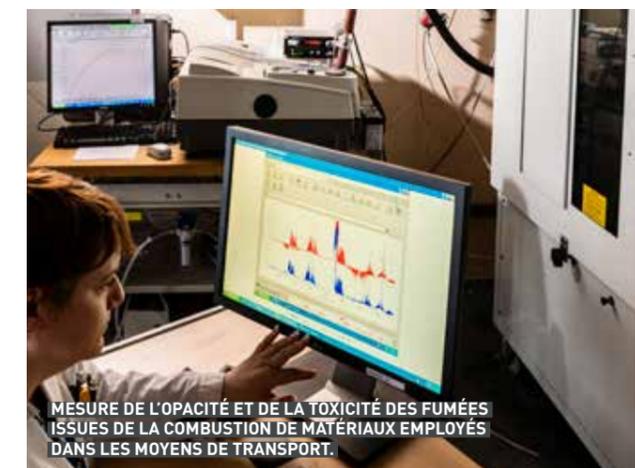
GMED DÉSIGNÉ ORGANISME NOTIFIÉ AU TITRE DU RÈGLEMENT EUROPÉEN RELATIF AUX DISPOSITIFS MÉDICAUX

Le 8 juillet 2020, GMED a été désigné par l'ANSM comme organisme notifié pour l'évaluation de conformité des dispositifs médicaux au titre du Règlement (UE) 2017/745. Cette nouvelle réglementation, applicable à partir du 26 mai 2021, vise à améliorer la sécurité et la santé des patients et des utilisateurs, et implique des évaluations supplémentaires réalisées par les organismes notifiés. GMED sera désigné en 2021 au titre du Règlement européen relatif aux dispositifs médicaux de diagnostic *in vitro*, dont la mise en application contraignante est prévue au 26 mai 2022. ■

COMPOURTEMENT AU FEU : ZOOM SUR LA TOXICITÉ DES FUMÉES

Piloté par le LNE, un groupe de travail «Comportement au feu» a vu le jour au sein d'Eurolab France. Objectifs ? Aborder l'ensemble des questions relatives à l'ingénierie incendie et aux essais feu - que ce soit dans le domaine ferroviaire, maritime ou du bâtiment -, et harmoniser les pratiques. Lors d'un premier rendez-vous en octobre 2020, les six membres de ce GT (CSTB, FCBA, LEFAE, LNE, RATP, RESCOLL) ont bâti une feuille de route pour l'année à venir. Parmi les premiers chantiers : déployer la nouvelle méthode d'évaluation de la toxicité des fumées pour les applications ferroviaires, selon la norme NF EN 17084. Afin d'évaluer la performance de cette méthode, une campagne d'essais interlaboratoires sera organisée en 2021.

En lien avec le sujet, le LNE a déjà entrepris des travaux sur un matériau de référence, pour les essais en chambre à fumée. Après avoir défini sa formulation, il devra le tester pour mesurer les éventuels biais lors de sa combustion (biais générés notamment par ses conditions de conservation), puis le corriger et le stabiliser. Alors qu'un tel matériau de référence, reconnu à l'international, n'existe plus aujourd'hui, cela permettra de fiabiliser les pratiques. ■



MESURE DE L'OPACITÉ ET DE LA TOXICITÉ DES FUMÉES ISSUES DE LA COMBUSTION DE MATÉRIEAUX EMPLOYÉS DANS LES MOYENS DE TRANSPORT.

PRIX LNE DE LA RECHERCHE : SAVOIR ALLIER SCIENCE ET PRAGMATISME

Depuis plus de dix ans, le Prix LNE de la Recherche récompense les chercheurs contribuant à la réussite du LNE et du Réseau national de la métrologie française. En 2020, ce sont François Gaie-Levrel et Vincent Delatour qui ont été mis à l'honneur pour leurs travaux et parcours remarquables.



FRANÇOIS GAIE-LEVREL : UNE EXPERTISE PRÉCIEUSE EN TEMPS DE PANDÉMIE

TEMPS FORT 2020

Dès le début de la crise sanitaire liée à la propagation du SARS-CoV-2, François Gaie-Levrel a été mobilisé pour répondre à la question centrale de l'efficacité des masques de protection. Mettant à profit son expérience en caractérisation des aérosols, il a contribué au développement d'un banc évaluant les performances de filtration de ces équipements, quel que soit leur type (chirurgicaux, grand public et FFP2, voir p. 14).

AUTRES TRAVAUX

Depuis près de dix ans, François Gaie-Levrel mène au LNE des recherches sur la caractérisation métrologique d'aérosols dans les domaines de la combustion, de l'industrie, de la biologie et de la pollution atmosphérique. Il est aussi membre expert au sein du Laboratoire central de surveillance de la qualité de l'air (LCSQA), et de groupes de travail de l'ANSES. Il intègre enfin de nombreux comités de normalisation auprès de l'AFNOR.

PARCOURS

- Formation universitaire de physico-chimiste.
- Doctorat au sein du Laboratoire interuniversitaire des systèmes atmosphériques (LISA), afin de développer et caractériser un instrument pour l'analyse physico-chimique de particules individuelles atmosphériques en temps réel
- Contrat postdoctoral au synchrotron SOLEIL dans le cadre d'un développement instrumental autour d'un spectromètre de masse à photoionisation VUV à coïncidence entre photoélectrons et photoions. ■



VINCENT DELATOUR : MIEUX DIAGNOSTIQUER LA MALADIE D'ALZHEIMER

TEMPS FORT 2020

Afin de mieux lutter contre la maladie d'Alzheimer, la médecine mise sur l'analyse de biomarqueurs permettant de prédire son apparition et son évolution. La protéine Tau, présente dans le liquide céphalorachidien, est l'un d'eux. Vincent Delatour et ses collègues développent des méthodes de référence pour son dosage (voir aussi p. 18). Objectifs : assurer une plus grande comparabilité des mesures réalisées au sein des laboratoires de biologie médicale, et fiabiliser les analyses.

AUTRES TRAVAUX

Au LNE, les travaux de Vincent Delatour visent à développer des matériaux de référence certifiés et des méthodes de référence pour le dosage de divers biomarqueurs. Il pilote la définition des axes de recherche dans le domaine biomédical, ainsi que l'implémentation des travaux par ses équipes. En parallèle, il participe à de nombreux groupes de travail nationaux et internationaux, notamment ceux de l'IFCC (voir p. 42), et est expert indépendant pour l'ANSM et la HAS.

PARCOURS

- Diplôme d'ingénieur en biotechnologies de l'INSA de Lyon.
- Doctorat à l'interface de la biophysique et de la biochimie au CNRS (Gif-sur-Yvette), pour mieux comprendre et réguler les mécanismes permettant aux métastases cancéreuses de se déplacer.
- Contrat postdoctoral au LNE. ■

UNIS DANS LA PRÉVENTION DES MALADIES CARDIOVASCULAIRES

En 2016, pour faire avancer la recherche sur les maladies cardiovasculaires, Vincent Delatour et François Gaie-Levrel ont uni leurs compétences respectives dans l'analyse des biomarqueurs et la caractérisation des nanoparticules.

LES LDL EN JEU

Les maladies cardiovasculaires sont essentiellement induites par un excès de cholestérol, en particulier le cholestérol-LDL (aussi appelé «mauvais cholestérol»). Les LDL (*Low Density Lipoprotein*) sont des assemblages supramoléculaires de forme sphérique dont la taille varie entre 7 nm et 50 nm. Ils peuvent être considérés comme des nanoparticules biologiques, et les plus petits d'entre eux sont associés à un risque plus élevé de maladies cardiovasculaires, comme l'ont montré plusieurs études cliniques.

Il s'avère donc nécessaire de développer de nouvelles méthodes de référence et des matériaux de référence certifiés (MRC) pour mesurer les différentes sous-classes de lipoprotéines, qui constituent les principaux transporteurs du cholestérol dans le sang.

UNE MÉTHODE POUR MESURER LEUR CONCENTRATION ET LEUR TAILLE

Les deux chercheurs du LNE ont ainsi collaboré pour encadrer une thèse visant à développer une méthode de comptage des lipoprotéines par SMPS (*Scanning Mobility Particle Sizer*). Bien qu'habituellement utilisée pour l'analyse de nanoparticules dans le domaine de la métrologie des aérosols, cette méthode s'est révélée parfaitement applicable à l'analyse des lipoprotéines en raison de leur nature nanoparticulaire.

Le projet a permis d'évaluer la comparabilité des techniques quantifiant le nombre de particules LDL (LDL-P) et le nombre de particules non HDL (non-HDL-P), qui sont de meilleurs indicateurs du risque de développer une maladie cardiovasculaire que le LDL-C.

De plus, il a été démontré, pour les lipoprotéines plus petites, que le risque de maladie cardiovasculaire est plus élevé. La méthode développée permet ainsi, en plus de la concentration en lipoprotéines, de mesurer la taille des lipoprotéines pour obtenir les données les plus complètes sur le risque. ■



LA RECHERCHE AU LNE, C'EST AUSSI...

En veille sur les derniers progrès scientifiques et technologiques, les chercheurs du LNE et du Réseau national de la métrologie française anticipent les besoins émergents de mesures. Leurs travaux contribuent à sécuriser et accélérer l'innovation. Zoom sur six projets menés en 2020.

SUIES DE CARBONE ATMOSPHÉRIQUES : LEUR CONCENTRATION TRACÉE AU SI

Parce que le carbone suie contribue pour une part importante au changement climatique et à la pollution, le projet européen BlackCarbon s'est attaché à améliorer sa surveillance.

Terminé en 2020, il visait à développer des équipements et méthodologies permettant d'étalonner les différents types d'appareils de mesure de la concentration massique de carbone suie dans l'atmosphère.

«Concrètement, il s'agissait pour les partenaires de développer plusieurs aérosols de référence de carbone suie, représentatifs de l'air ambiant, de les caractériser en termes de stabilité, de reproductibilité et de propriétés physico-chimiques et de les tester lors de comparaisons inter-laboratoires», explique François Gaie-Levrel. Le LNE a développé trois générateurs d'aérosols candidats, permettant de produire de manière reproductible des aérosols d'analogie de suie caractérisés par des diamètres moyens de $179 \text{ nm} \pm 2 \text{ nm}$, $187,8 \text{ nm} \pm 0,2 \text{ nm}$ et $38 \text{ nm} \pm 1 \text{ nm}$, avec des concentrations massiques de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3 \pm 4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $12 \mu\text{g}/\text{m}^3 \pm 3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et $68 \mu\text{g}/\text{m}^3 \pm 3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivement. À l'issue des comparaisons inter-laboratoires, les aérosols retenus comme références métrologiques seront disséminés à l'échelle européenne en vue d'une surveillance harmonisée. ■



FRANÇOIS GAIE-LEVREL

Ingénieur-Chercheur en métrologie des aérosols



ALAIN KOENEN

Référent technique du département Isolation, énergie et environnement

UNE PRÉCISION MÉTROLOGIQUE POUR LA RÉSISTANCE THERMIQUE DES BÂTIMENTS

La rénovation thermique d'un bâtiment nécessite de mesurer en amont la résistance thermique des parois à isoler. Aujourd'hui, cela ne peut se faire qu'à l'échelle d'un bâtiment et de manière indirecte, à partir des données de consommation d'énergie globale. Aussi les chercheurs du LNE ont-ils participé au projet RESBATI, afin de créer un démonstrateur pour la mesure directe. Ils ont conçu un instrument composé d'une plaque chauffante de 60 cm de côté à appliquer contre la paroi, et d'un automate programmable qui enregistre les

données nécessaires au calcul de la résistance thermique inconnue. Ils ont aussi développé une méthode d'identification dite bayésienne, permettant de ramener le temps de mesure à quelques heures seulement. On obtient ainsi des mesures avec une incertitude autour de 10 % pour des parois dont la résistance thermique est inférieure à $4 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$. «Cela correspond typiquement aux valeurs observées pour des parois construites jusque dans les années 1990, soit dans les bâtiments qu'il convient de rénover aujourd'hui», indique Alain Koenen. ■



DANIELA ISTRATE

Ingénieure-chercheuse en métrologie électrique

LE RAIL EUROPÉEN UNIFIÉ PAR LA MÉTROLOGIE

Pour construire un réseau ferré interopérable en Europe, il faut garantir des mesures traçables de la puissance électrique consommée d'un bout à l'autre du continent. C'était l'enjeu du projet européen MyRailS, pour lequel le LNE a développé un système étalonnant les appareils de mesure embarqués. Il s'agit d'un banc d'étalonnage novateur composé d'une source de puissance capable de délivrer un courant alternatif d'une intensité de 500 A avec des harmoniques allant jusqu'à 5 kHz au potentiel de 25 kV. Afin de reproduire des perturbations à hautes fréquences typiques des conditions

ferroviaires, le système d'amplification à large bande passante intègre des matériaux magnétiques compacts avec des noyaux nanocristallins. Pour étalonner simultanément en tension et en courant, les chercheurs ont proposé une source dite fictive scindée en deux parties. «La première génère le courant de forte intensité sous faible tension avec un taux de distorsion représentatif de ce qui est observé sur site et la seconde est reliée à la terre de telle manière qu'aucun courant n'y circule malgré un potentiel électrique très élevé», explique Daniela Istrate. ■

DONNÉES ATOMIQUES ET NUCLÉAIRES : MESURE ET ÉVALUATION PÉRENNISÉES

La métrologie de la radioactivité doit faire face à un défi unique pour établir l'unité du becquerel. En effet, chaque radionucléide possède sa propre identité avec des modes de désintégration, des types de particules, des énergies et des intensités d'émission bien spécifiques. Une connaissance métrologique fine de la décroissance des radionucléides est donc essentielle. La mesure et l'évaluation de ces données est assurée en France par le LNE-LHNB. Afin d'assurer aux utilisateurs la meilleure information possible, ce dernier coordonne le *Decay Data Evaluation Project* (DDEP), qui évalue et synthétise les données nucléaires mondiales pour les radionucléides d'intérêt métrologique. Ses travaux sont financés par le LNE. En 2020, il a été décidé de transformer ce financement en crédits récurrents. Comme l'indique Mark Kellett : «Cette visibilité est essentielle pour assurer nos travaux dans le cadre du DDEP, travaux indispensables à de nombreuses communautés mais rarement sous le feu des projecteurs. Grâce à notre activité de dissémination, ces fonds permettent également de mettre en avant l'ensemble de nos activités et, ce faisant, d'élaborer de nouveaux projets avec nos partenaires.» ■



MARK KELLETT

Chef du Laboratoire de Métrologie de l'Activité au sein du LNE-LHNB



LAURENT PITRE

Chargé de recherche au LNE-LCM/Cnam

ÉTALON DE PRESSION : LE PASCAL EST DÉSORMAIS QUANTIQUE

Aujourd'hui, les étalons primaires de pression sont fondés sur des instruments dont les performances métrologiques n'ont pas évolué de manière significative depuis plusieurs décennies. Aussi le LNE-LCM/Cnam développe-t-il un étalon quantique pour la mesure absolue de pression, entre 200 Pa et 20 000 Pa. Son principe : une cavité micro-onde supraconductrice dans laquelle de l'hélium gazeux est maintenu à très basse température. En mesurant les fréquences de résonance de ce système et la température

du gaz, on en déduit son indice de réfraction qui, à l'aide de calculs numériques sur la base d'équations fondamentales de la mécanique quantique, permet de déterminer la pression du gaz. Comme l'indique Laurent Pitre, «à terme, le dispositif permettra de mesurer des pressions avec une incertitude relative de quelques dizaines de parties par million, soit une amélioration d'un facteur 5 par rapport à l'existant, avec par ailleurs des marges de progression importantes en termes de coût ou de stabilité.» ■

ÉLECTRONIQUE MOBILE : UNE MÉTROLOGIE POUR CONSOMMER MOINS

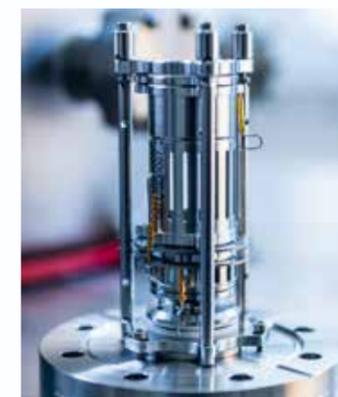
L'émergence de la 5G et de l'internet des objets s'accompagne d'une forte augmentation de la consommation énergétique. Coordonné par le LNE, le projet européen ADVENT visait au développement d'une métrologie multi-échelle (du matériau au système) permettant d'évaluer, *in situ* et en fonctionnement, les caractéristiques énergétiques des composants des appareils personnels mobiles. À l'échelle des matériaux, les métrologues du LNE ont ainsi

développé des étalons nanométriques pour assurer la traçabilité des mesures de capacité par SMM (*Scanning Microwave Microscope*) de nanomatériaux avancés, tels que les matériaux piézoélectriques. Comme l'indique François Ziadé, «partis d'une situation où il n'y avait rien, nous avons désormais la possibilité de mesurer des capacités dans une gamme allant de l'attofarad à plusieurs femtofarad avec une incertitude de l'ordre de 10 %.» ■



FRANÇOIS ZIADÉ

Ingénieur d'études et de recherche



RAPPORT RECHERCHE 2020

DÉCOUVREZ LES TRAVAUX DE RECHERCHE DU LNE DANS SON RAPPORT ANNUEL DÉDIÉ.



POUR UNE
ENTREPRISE
PLUS AGILE



PASSER À UNE CULTURE «CENTRÉE CLIENTS»

Dans le cadre du plan stratégique à horizon 2025, la question de l'expérience client prend de l'ampleur au sein du LNE. Poser les jalons d'un nouveau parcours client, faire du système d'information un allié dans l'amélioration des délais... telles ont été les priorités de l'année.

Avec une note de 8,59/10, la compétence technique du LNE a été largement reconnue par ses clients lors de l'enquête de satisfaction menée en 2020. Pour autant, c'est l'ensemble de l'expérience client que souhaite promouvoir le LNE, à travers un parcours fluide de A à Z, depuis le premier contact jusqu'au livrable... et au-delà. Enjeu : asseoir son positionnement de laboratoire de référence.

DE NOUVEAUX INDICATEURS

Dans ce contexte, l'amélioration des délais fait l'objet d'un vaste chantier. Un groupe de travail transverse a été créé pour définir des indicateurs pertinents et en assurer le suivi. Il a notamment proposé l'évolution d'applicatifs métiers au sein du système d'information du LNE, afin de disposer d'indicateurs évaluant la différence entre l'engagement pris auprès d'un client et le délai finalement constaté. Un levier de progrès, puisque ces données sont analysées chaque mois et donnent lieu à des plans d'action dans les équipes.

DES DONNÉES CLIENT PROTÉGÉES

Le LNE déploie son nouvel outil CRM, ou encore les e-rapports, en tenant compte d'impératifs de sécurité renforcés. Pour offrir à ses clients les meilleures garanties sur le maniement des informations qu'ils lui confient ou qu'il produit pour eux, un responsable de la Sécurité des systèmes d'information a été nommé. Il collabore étroitement avec le responsable de la protection des données dans la mise en œuvre du RGPD.

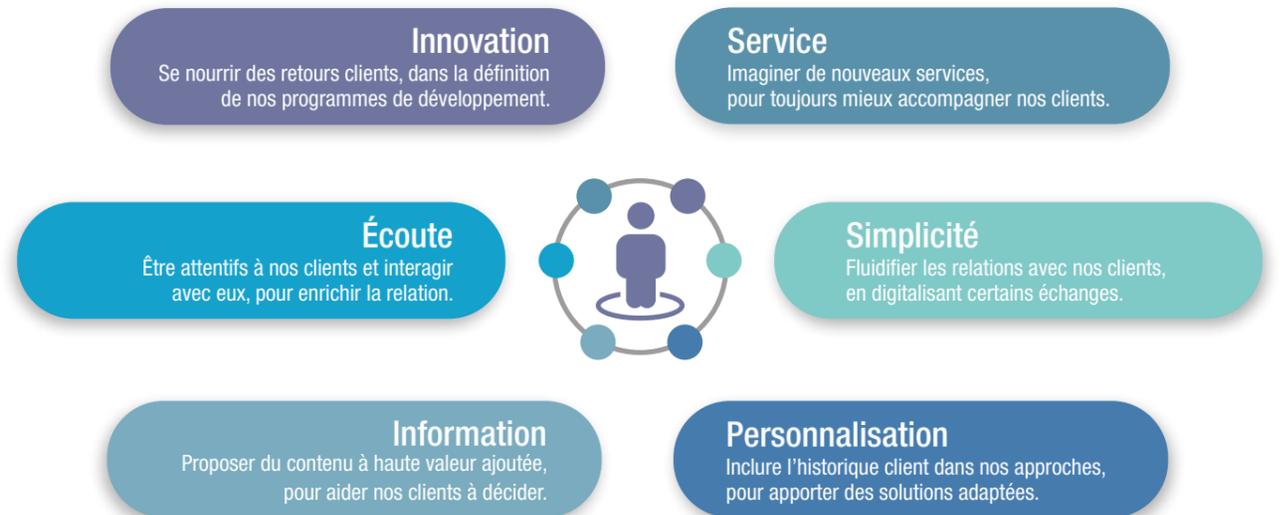
Parallèlement, à travers son nouveau CRM installé à l'été 2020, le LNE peut suivre de manière plus précise les délais de réponse aux clients (par exemple le temps de formalisation d'un devis), nourrissant ainsi la démarche avec des indicateurs complémentaires.

Les bénéfices de ces premiers changements ont déjà été mesurés dans l'enquête de satisfaction, à travers la progression de la note attribuée aux délais : 7,67/10 en 2020, contre 7,20 en 2019. Dès 2021, des développements supplémentaires permettront de mieux planifier les prestations pour renforcer encore ces engagements.

UNE DÉMATÉRIALISATION ACCÉLÉRÉE

En 2020, le LNE a par ailleurs accéléré le déploiement de nouvelles solutions pour mieux gérer les demandes clients. En pleine crise sanitaire, il a fallu répondre à une forte sollicitation sur les essais de masques de protection. Afin de fluidifier les échanges, un formulaire de qualification a été mis en ligne pour recueillir les demandes, cerner les besoins et fournir au plus vite de premières estimations budgétaires. Cet outil, relié au CRM, a depuis été pérennisé et élargi à d'autres prestations, dans une logique de préqualification des besoins. Quant aux équipes du Service clients, contraintes au télétravail, elles ont été équipées d'une nouvelle solution de téléphonie pour prendre les appels téléphoniques où qu'elles soient. Au-delà des relations commerciales, la dématérialisation touche également les opérations de production. Un espace collaboratif a été conçu en 2020 afin que les experts impliqués dans la rédaction des rapports d'audits y rassemblent leurs informations. Les premiers e-rapports verront le jour en 2021. ■

LE CLIENT AU CŒUR DES PROCESS POUR UNE EXPÉRIENCE POSITIVE



CHIFFRES CLÉS

8,59/10

est la note accordée au LNE pour la qualité technique de ses prestations, tandis qu'on lui accorde 8,50/10 pour clarté de ses rapports et certificats, un niveau qui dépasse l'importance de ce critère dans la décision client (8,43/10).

7,83

Telle est la note de satisfaction globale accordée au LNE par ses clients en 2020. Ce niveau est en progression constante : + 0,14 point par rapport à 2019, + 0,25 point par rapport à 2018.

80 %

des répondants sont satisfaits et très satisfaits de la façon dont le LNE a répondu à leurs attentes durant la période confinement/déconfinement du premier semestre 2020.

+ 0,47 point

C'est le gain enregistré par la note du LNE sur le volet Délais. Elle était de 7,67/10 en 2020, contre 7,20 en 2019.

92 %

des clients estiment pouvoir joindre facilement leur contact commercial. Un chiffre stable par rapport à 2019.

Données issues de l'enquête Satisfaction Clients LNE 2020, menée en octobre auprès de 800 clients.



RESSOURCES HUMAINES : DE L'AGILITÉ AU REBOND

Malgré la crise sanitaire, les collaborateurs du LNE ont démontré leur capacité à s'adapter et à rebondir. Résultat, les principaux indicateurs sociaux ont été maintenus : emploi, effectif, rémunération.

Le 17 mars 2020 à midi, la France s'est arrêtée brutalement, plongeant le monde du travail dans une nouvelle ère. Comme toute entreprise, le LNE a dû gérer dans l'urgence la crise de la Covid-19, et mettre en place de nouvelles organisations, qui répondent à la fois aux impératifs sanitaires et aux enjeux économiques (les siens et ceux de ses clients).

TRANSFORMATION DES ORGANISATIONS

Ses sites ont été fermés du jour au lendemain, et le télétravail élargi à toutes les activités le permettant. Dès lors, les collaborateurs ont dû s'adapter, et les pratiques managériales changer. Des évolutions qui ont été pérennisées au gré des divers déconfinements, reconfinements et couvre-feux décidés en 2020.

Le télétravail a ainsi pu concerner jusqu'à 40 % des collaborateurs durant les périodes les plus complexes, nécessitant de nouveaux moyens de communication et l'upgrade des serveurs informatiques. Dès le début de la crise, les équipes dédiées au plan de continuité des activités (PCA) ont été mobilisées et déployées sur site, afin de laisser en état de fonctionnement les moyens techniques et les installations du LNE, et ainsi permettre un redémarrage rapide.

Parallèlement, des protocoles sanitaires ont été mis en œuvre et régulièrement ajustés, exigeant de la part des salariés sens des responsabilités et souplesse : port de masques, prise de température, mesures de distanciation, élargissement des horaires d'ouverture des locaux, aménagement des environnements de travail, nouvelles règles dans les restaurants d'entreprises.

DES EMPLOIS ET REVENUS STABLES

Malgré ces contraintes et leurs conséquences sur le chiffre d'affaires, le LNE a préservé un niveau d'emploi équivalent à celui de 2019. Les dispositifs déployés par le gouvernement, comme l'activité partielle, ont permis de sécuriser les emplois et les revenus des collaborateurs.

Le LNE a parallèlement concentré sa stratégie de recrutement sur les postes sensibles, afin de maintenir ses compétences. En 2020, 37 nouveaux collaborateurs ont été recrutés en CDI, un nombre plus faible qu'en 2019. Néanmoins, le marché de l'emploi s'étant fortement modifié sous l'effet de la crise, les démissions ont fortement chuté (- 62 %), autorisant une croissance nette des effectifs de + 2 ETP. La politique de mobilité interne et de redéploiement des compétences s'est poursuivie, ainsi que l'insertion des jeunes à travers leur embauche en contrat d'apprentissage ou de professionnalisation.

La solidité financière du LNE lui a permis, malgré le contexte, de poursuivre sa politique salariale et maintenir ses enveloppes d'augmentations individuelles, et ainsi d'adresser des signaux forts en matière de reconnaissance, de fidélisation et d'égalité professionnelle. Son dispositif d'intéressement a également été préservé, à hauteur de 4% de la masse salariale, tout comme la prime de pouvoir d'achat en faveur des plus bas salaires.

LE DIALOGUE SOCIAL, TOUJOURS

Tout au long de l'année, les salariés et les instances représentatives du personnel ont été informés sur l'évolution de la situation sanitaire, les mesures de protection individuelles et collectives, le suivi du niveau d'activité et les nouvelles organisations du travail.

Les négociations avec les organisations syndicales ont donné lieu à :

- un accord sur la gestion des congés, en mai. Pour une meilleure agilité, il a autorisé les managers à placer certains congés durant les périodes de faible activité, afin de disposer des ressources nécessaires au moment de la reprise ;
- l'accord de NAO 2020, en septembre. Il a notamment permis de verser une prime exceptionnelle (PEPA) aux collaborateurs sollicités et volontaires pour travailler sur site durant le premier confinement. ■



UNE FORTE MOBILISATION PENDANT LE CONFINEMENT

NOS COLLABORATEURS TÉMOIGNENT

« Plusieurs aspects de la fonction RH ont été fortement impactés pendant le confinement. Nous avons dû faire évoluer le SIRH afin que les managers organisent plus aisément la saisie des plannings. Nous l'avons également adapté au fur et à mesure que les mesures gouvernementales ont été annoncées, par exemple pour déployer et suivre les arrêts pour garde d'enfants ou l'activité partielle. Nous devons être vigilantes, car nous réglons toujours une somme de petites choses qui ont une réelle incidence sur la vie du salarié. Parallèlement à cela, il fallait répondre aux questions des plus inquiets. Nous avons reçu 70 courriels durant la seule journée du 17 mars, puis une moyenne de 50 courriels quotidiens durant le confinement. »

Patricia Garrault et Marie-Christine Loison,
Gestion des Ressources Humaines.

« Durant le confinement, toute l'équipe informatique était sur le pont ! J'étais sur site pour préparer les PC portables : il fallait équiper les collaborateurs qui en faisaient la demande, mais aussi les nouveaux arrivants. Pour ceux-ci, mon rôle consistait à leur remettre le matériel, tandis que, par la suite, ils allaient être formés aux applications internes par leur hiérarchie ou leurs départements respectifs. Ma mission était aussi de répondre aux demandes et incidents signalés sur la hotline. J'opérais une prise en main à distance (même pour une personne présente physiquement à 2 m !). Cela n'a pas toujours été évident car le télétravail ne s'improvise pas. Les utilisateurs doivent composer avec leur environnement réseau personnel, et la Covid-19 a ajouté une couche de stress. »

Alain Chabbat,
technicien informatique du département Poste de Travail,
au sein du Pôle Système d'Information.





VUE D'ARCHITECTE SUR LE PROJET D'AMÉNAGEMENT DU SITE DE TRAPPES.

UNE NOUVELLE ÉTAPE POUR RÉDUIRE L'EMPREINTE CARBONE

L'exemplarité est un devoir pour une institution comme le LNE, notamment en matière de développement durable. En 2020, priorité a été donnée à l'empreinte carbone du site de Trappes.

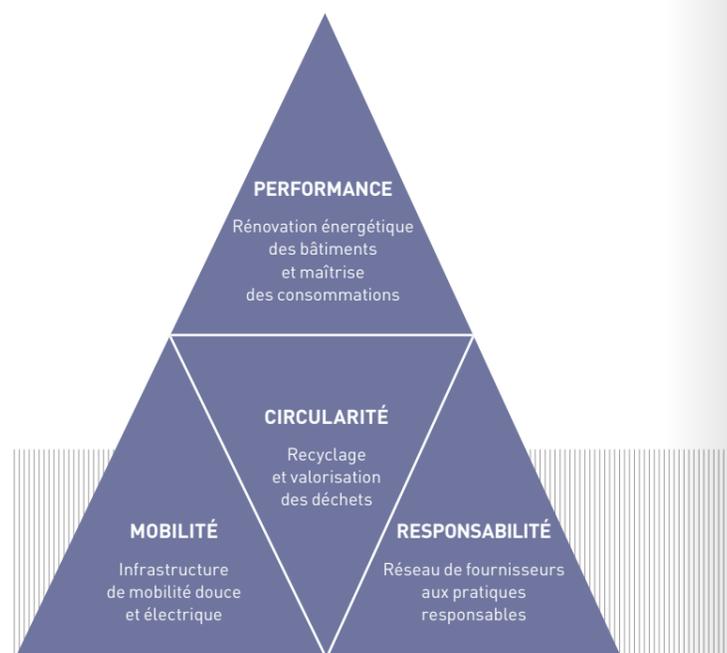
Avec un gain de près de 10 % de ses consommations électriques - et d'autres résultats tout aussi encourageants -, le LNE a répondu aux ambitions du contrat d'objectifs et de performance (COP) 2017-2020 en matière de développement durable.

4,8 M€ DE SUBVENTION

Son engagement s'est toutefois renforcé en 2020, afin d'aller plus loin et plus vite. Le LNE a par exemple poursuivi son projet de rénovation énergétique sur le site de Trappes, aidé en cela par une subvention octroyée dans le cadre du plan France Relance. Alors qu'un arrêté du 10 avril 2020 impose aux bâtiments tertiaires et aux activités qu'ils abritent de réduire leur consommation de 40 % à horizon 2030 (et de 60% pour 2050), cette aide de 4,8 M€ va financer une partie des travaux envisagés : changement des fenêtres et isolation thermique par l'extérieur. Les études de maîtrise d'œuvre débiteront au premier semestre 2021, et les travaux en 2022. D'ici à 2050, ces travaux permettront de réduire l'empreinte carbone du site et d'éviter le rejet de près de 10 000 t éq CO₂ (à raison de 300 éq CO₂ par an, sur 30 ans). Selon le schéma directeur d'aménagement, des travaux d'agencement intérieur et de transformation des espaces paysagers seront menés en parallèle afin d'améliorer le cadre de travail.

Le LNE a par ailleurs créé un groupe de travail entièrement consacré à la thématique environnementale, pour identifier les grands chantiers à mener et les petits gestes du quotidien à encourager. Composé d'une quinzaine de membres issus de toutes les directions, il a vocation à se réunir trois ou quatre fois par an. Une première séance en 2020 a permis de revenir sur les priorités inscrites dans le COP 2021-2024. Tout en gardant à l'esprit le vaste champ des possibles dans le domaine du développement durable. ■

4 AXES DE DÉVELOPPEMENT DURABLE INSCRITS AU COP 2021-2024



UN MODÈLE RÉSILIENT

Malgré les effets de la crise sanitaire, le LNE a conclu l'exercice 2020 sur un résultat largement positif. Une performance due à sa solidité financière et à son agilité.

En raison de la crise sanitaire, le LNE a subi une contraction brutale de son activité durant le premier semestre 2020, faisant reculer la facturation marchande de 4,8 M€ (- 23 %). Cette chute a été concentrée sur trois mois, de mars à mai, avec - 43 % de facturation par rapport à la même période en 2019.

UN IMPACT LIMITÉ

Le LNE bénéficiait cependant d'une situation financière solide : fin 2019, le résultat net était de + 3,8 M€, et la trésorerie de l'établissement ressortait à 9,5 M€. De plus, l'activité a redémarré rapidement dès juin, et n'a été que faiblement impactée par la deuxième vague de l'épidémie. Le second semestre a ainsi généré à lui seul un chiffre d'affaires identique à celui de 2019, et supérieur de 775 k€ au budget rectificatif 2020 (+ 3,5 % sur le semestre). Résultat : sur l'ensemble de l'année, la perte de CA marchand a été limitée à 11 %.

DES CHARGES MAÎTRISÉES

Cette performance a été rendue possible grâce à la forte implication du personnel et au développement de nouvelles prestations, comme les audits à distance ou les essais de

masques. Le LNE a également réduit ses charges d'exploitation afin de préserver son équilibre financier (- 3,1 M€). Plusieurs leviers ont été utilisés, notamment les congés durant la période de confinement et l'activité partielle. D'autres postes de charges ont fortement baissé, comme les frais de déplacement, la consommation énergétique des sites, les sous-traitances d'essais ou d'audits.

DES RÉSULTATS POSITIFS

Tout cela a permis de conclure l'exercice 2020 par un résultat tout à fait remarquable (+ 1 681 k€), supérieur à celui estimé au budget rectificatif. L'EBE avant intéressement atteint, quant à lui, 4,0 M€. Avec un excédent de 2 144 k€, le secteur marchand contribue au financement du service public à hauteur de 463 k€ (1,2 % du CA marchand).

Cette résilience a permis au LNE de maintenir l'intéressement à un très bon niveau : 4 % de la masse salariale. Et de poursuivre sa politique d'investissement. Côté personnel, 37 collaborateurs ont été recrutés en CDI. Les investissements matériels ont été légèrement réduits (6,4 M€, contre 7,1 M€ en 2019), en raison du ralentissement du programme de rénovation immobilière lié à la crise sanitaire. ■

En M€	2017	2018	2019	2020
Chiffre d'affaires marchand	55,2	50,0	43,8	39,0
Résultat d'exploitation (hors intéressement)	5,2	4,0	6,9	3,4
Résultat net	2,6	2,1	3,8	1,7
Résultat d'exploitation/CA	9,5 %	8,1 %	15,8 %	8,8 %

CONSEIL D'ADMINISTRATION

COMPOSITION AU 1^{ER} MARS 2021

EN QUALITÉ DE PERSONNALITÉS QUALIFIÉES DANS LES DOMAINES D'ACTIVITÉ DU LNE

Président
Grégoire OLIVIER
Secrétaire Général
PSA Peugeot Citroën

Odile GAUTHIER
Directrice générale
Institut Mines-Télécom

Au titre des représentants
des consommateurs
Jacques BESLIN
Etienne DEFRANCE

Vice-Présidente
Laurence PIKETTY
Administratrice générale adjointe
CEA

Christophe SALOMON
Président
Comité de la Métrologie

Au titre de représentante
de l'Association française
de normalisation
Isabelle RIMBERT
Directrice Adjointe
AFNOR Normalisation

EN QUALITÉ DE REPRÉSENTANTS DE L'ÉTAT

Représentant le ministre
chargé de l'Industrie
Marielle FAYOL
Sous-direction de la normalisation,
de la réglementation des produits
et de la métrologie - Direction
Générale des Entreprises -
Ministère de l'Économie et des
Finances

Représentant le ministre
chargé de la Consommation
Thierry PICART
Chef du service commun
des laboratoires
Ministère de l'Économie
et des Finances

Représentant le ministre
chargé de l'Environnement
Delphine RUEL
Sous-Directrice des risques
accidentels - Direction Générale
de la Prévention des Risques

Représentant le ministre
chargé du Budget
Arthur DEHAENE-QUEFFELEC
Direction du Budget - Bureau de
l'énergie, des participations, de
l'industrie et de l'innovation
Ministère de l'Économie
et des Finances

Représentant le ministre
chargé du Travail
Catherine MOSMANN
Cheffe du bureau des équipements
et des lieux de travail - Direction
Générale du Travail

Représentant le ministre
chargé de la Recherche
Marc LETHIECQ
Chargé de mission - Direction
Générale de la Recherche et de
l'Innovation

Représentant le ministre
chargé de la Santé
Hélène MONASSE
Sous-directrice de la politique
des produits de santé et de la qualité
des pratiques et des soins -
Direction Générale de la Santé

EN QUALITÉ DE REPRÉSENTANTS DU PERSONNEL

Michèle DÉSENFANT
Expert sénior Statistiques,
Métrologie et Qualité

Laurent DEVOILLE
Ingénieur chercheur,
département Matériaux

Véronique FERRÉ
Technicienne chimiste, département
propriétés chimiques des
matériaux

Paola FISICARO
Responsable du département
biomédical
et chimie organique

Stéphane LEFRANÇOIS
Réfèrent technique,
Laboratoire résilience

Sylvain PIERRARD
Ingénieur, département
télétection

Yvric SAUNDERS
Ingénieur technico-commercial
métrologie

ASSISTENT ÉGALEMENT :

Le Commissaire du Gouvernement
Rémi STEFANINI
Sous-Directeur de la normalisation,
de la réglementation des produits
et de la métrologie
Direction Générale des Entreprises

La Secrétaire du Conseil
d'Administration
Béatrice DEBUISSCHERT
Responsable juridique
Direction financière

La Direction du LNE
Thomas GRENON
Directeur général
Thomas JEANNERET
Directeur général adjoint

Le Contrôleur économique
et financier
Pascal CHEVREMENT

Le représentant du comité social et
économique
Jean GAUDEMER
Secrétaire du comité social et
économique

Patrick JANVIER
Directeur financier
Stéphane ROCHARD
Agent comptable

COMITÉ EXÉCUTIF

Maguelonne CHAMBON
Directrice de la recherche
scientifique et technologique

Lionel DREUX
Président de GMED SAS

Jean-Rémy FILTZ
Directeur de la métrologie
scientifique et industrielle

Thomas GRENON
Directeur général

Patrick JANVIER
Directeur financier

Thomas JEANNERET
Directeur général adjoint
Directeur infrastructure et
informatique

Erick JOURDAIN
Directeur commercial et marketing

Ronan LE BIHAN
Directeur essais et certification

Gabriel de MENTHON
Directeur des ressources humaines

Stéphane ROCHARD
Agent comptable

ADRESSES

LABORATOIRE NATIONAL DE MÉTROLOGIE ET D'ESSAIS

Siège social

1, rue Gaston Boissier
75724 Paris Cedex 15
Tél. : +33 (0)1 40 43 37 00
Fax : +33 (0)1 40 43 37 37
Sites Internet : lne.fr
metrologie-francaise.lne.fr
E-mail : info@lne.fr

LABORATOIRE NATIONAL DE MÉTROLOGIE ET D'ESSAIS

ZA de Trappes-Élancourt
29, avenue Roger Hennequin
78197 Trappes Cedex
Tél. : +33 (0)1 30 69 10 00
Fax : +33 (0)1 30 69 12 34

LABORATOIRE COMMUN DE MÉTROLOGIE LNE-Cnam

(Pôle métrologie thermique)
61, rue du Landy
93210 La Plaine Saint-Denis
Tél. : +33 (0)1 58 80 88 87

IMPLANTATIONS EN FRANCE

LNE Nîmes

Parc Georges Besse
190, rue Georges Besse
30035 Nîmes Cedex 1
Tél. : +33 (0)4 66 38 14 66

LNE Poitiers

Pôle des Eco-Industries
3, rue Raoul Follereau
86000 Poitiers
Tél. : +33 (0)5 49 44 76 42

GMED Saint-Étienne

19 D, rue de la Télématique
42000 Saint-Étienne
Tél. : +33 (0)4 77 10 11 02

PARTENARIATS

ACERMI

(Association pour la CERTification des Matériaux Isolants)
84, avenue Jean Jaurès
Champs-sur-Marne
77447 Marne-La-Vallée Cedex 2
Tél. : +33 (0)1 64 68 82 82

ECC (Eurovent Certita Certification) (certification du génie climatique)

39-41, rue Louis Blanc
92400 Courbevoie
Tél. : +33 (0)1 47 17 60 41

FILIALES

GMED SAS

1, rue Gaston Boissier
75724 Paris Cedex 15
Tél. : +33 (0)1 40 43 37 00
Site internet : gmed.fr

GMED North America

6550 Rock Spring Drive, Suite 280
Bethesda, MD 20817
Tél. : +1-301-495-0477
E-mail : gmedna@lne-gmed.com

LNE-LP Asia Ltd

Unit C, 10F, Hang Cheong Factory Building
1 Wing Ming Street, Lai Chi Kok
KLN, Hong Kong
China
Tél. : +852 2548 9072
E-mail : frederic.rocher@lne-lp.asia

LNE DÉVELOPPEMENT

1, rue Gaston Boissier
75724 Paris Cedex 15
Tél. : +33 (0)1 40 43 38 44

CERTISOLIS TC

(laboratoire d'essais et de certification des performances énergétiques des modules solaires photovoltaïques)

Savoie Technolac
BP 364
39, allée du Lac de Côme
73372 Le Bourget-du-Lac Cedex
Tél. : +33 (0)4 79 68 56 00

Siège : 1, rue Gaston Boissier - 75724 Paris Cedex 15 - Tél. : 01 40 43 37 00
lne.fr - info@lne.fr

Rédaction : OLO / LNE - Réalisation : LNE / MOKA DESIGN
Crédits photos : Philippe STROPPIA : p. 1, 4, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 32, 36, 42, 43, 45, 47, 48, 52 - Guillaume GRANDIN : p. 26 - Miralda GAGLIANO : p. 27 - LNE : p. 25, 35, 40, 44, 46, 47, 53 - GMED : p. 11 - Adobe Stock : 18, 19, 20, 24, 33, 34, 50, 53 - Istock : p. 10, 11 - Fotolia : p. 41 - Sydela : p. 28 - Air Liquide : p. 31 - Jean-Michel KRIEF : p. 35 - Leif Carlsson : p. 38 - Transform : p. 54 - DR

Imprimé par Handiprint, entreprise adaptée, sur du papier issu de forêts gérées durablement

lne.fr



CRÉER
LA
CONFIANCE