



Département d'évaluation de la recherche

# DOCUMENT D'AUTOÉVALUATION DES UNITÉS DE RECHERCHE

**CAMPAGNE D'ÉVALUATION 2023-2024**  
VAGUE D

Septembre 2022

# 1- INFORMATIONS GÉNÉRALES POUR LE CONTRAT EN COURS

## 1- Identification de l'unité

Nom de l'unité : Laboratoire Interfaces et Systèmes Electrochimiques

Acronyme : LISE

Label et numéro : UMR 8235

Domaine scientifique principal :

**ST : Sciences et Technologies**

Panels scientifiques par ordre décroissant de pertinence :

### Panel 1

ST4 : Chimie

### Panel 2

Choisissez un élément.

### Panel 3

Choisissez un élément.

### Panel 4

Choisissez un élément.

Équipe de direction :

L'équipe de Direction est constituée du DU, Hubert Perrot, et d'une DUA, Catherine Debiemme-Chouvy. La DUA est consultée pour les prises de décisions importantes et remplace le DU si besoin lors de réunions majeures. La DUA a aussi une délégation de signature pour le CNRS.

Trois animateurs ont été retenus pour les deux thèmes de l'unité :

Thème I : Carlos Sanchez-Sanchez et Jérôme Pulpytel

Thème II : Alain Pailleret

Ces animateurs ont surtout un rôle organisationnel au sein de chaque thème. Les décisions majeures pour l'Unité sont prises lors des conseils scientifiques.

Liste des tutelles de l'unité de recherche : CNRS et Sorbonne Université

École doctorale de rattachement : ED388 - Chimie Physique et Chimie Analytique de Paris Centre

## 2- Présentation de l'unité

### Historique, localisation de l'unité :

Le Laboratoire Interfaces et Systèmes Electrochimiques (LISE) est associé à l'Université Pierre et Marie Curie (Paris 6, Sorbonne Universités, Sorbonne Université) depuis 1967. Initialement Unité Propre de Recherche CNRS (UPR 15), le LISE est devenu **l'UMR 8235 CNRS-UPMC(SU) au 1<sup>er</sup> janvier 2014**. Ce changement traduit l'évolution progressive de la répartition des chercheurs et enseignants-chercheurs (1 MCF en 2002 pour 16 chercheurs CNRS contre 9 enseignants-chercheurs pour 4 chercheurs CNRS actuellement). L'unité dépend de la section 14 "Chimie de Coordination, Catalyse, Interfaces et Procédés" du Comité National du CNRS et de l'UFR 926 de Chimie qu'elle a intégrée au 1<sup>er</sup> janvier 2012. Elle est membre depuis mars 2011 de l'Institut des Matériaux de Paris-Centre (IMPC, Institut Fédératif FR 2482 maintenant Fédération Chimie et Matériaux de Paris Centre, FCMat) qui est

l'une des fédérations de l'UFR 926. Le LISE a fait partie de deux LABEX, MATISSE (MATériaux, InterfaceS, Surfaces, Environnement) et MICHEM (Chimie Intégrée Multi-Échelles : De la Molécule Unique aux Nano-édifices), tous les deux pilotés par l>IDEX SUPER de Sorbonne Universités.

Le LISE est localisé sur le campus Pierre et Marie Curie (Jussieu) dans les barres 13-14 (étages 2 et 3) et 13-23 (niveau Saint-Bernard) depuis son retour en 2011 du campus Saint-Raphaël d'Ivry-sur-Seine. Il dispose aussi de locaux supplémentaires : un atelier de mécanique 23-33-SB08, une pièce de manipulation 14-24-SS05 pour le spectromètre nano-Raman (TERS), une pièce de stockage 14-24-SS03 et trois bureaux pour le groupe « plasma » 14-24 (étage 4). Le laboratoire bénéficie à ce jour d'une surface totale de 1249 m<sup>2</sup>. Le LISE dispose de différents équipements (SEM-FEG, Raman, TERS, DRX, angle de contact, spectromètres UV/visible et IR, BAG, QCM-D, AFM...) et bénéficie d'un accès à des plateformes de la fédération IMPC/FCMat pour la microscopie électronique à transmission et la spectrométrie de photoélectrons induits par rayons X.

### Organisation de l'unité :

*Équipes, plateformes, services communs :*

L'organisation de l'unité pour les services communs se lit au travers de l'organigramme fonctionnel du LISE montré sur les Figures 1 et 2. Depuis 2021, le LISE n'est plus organisé en équipe mais deux grands thèmes apparaissent depuis.

*Effectifs de l'unité au 31/12/22 et mouvement des personnels durant le mandat :*

L'effectif du LISE au 31/12/2022 est de 4 chercheurs CNRS, 9 enseignants-chercheurs dont 7 de Sorbonne Université, 1 EPF (École Polytechnique Féminine de Cachan) et 1 UVSQ (Université de Versailles Saint-Quentin-en Yvelines). Concernant les personnels d'appui à la recherche (PAR), 10 ITA CNRS dont 1 PAR à mi-temps et 1 BIATS SU sont affectés à l'unité. Les membres permanents ne sont pas rattachés à une thématique particulière, il n'y a pas d'équipe au LISE. A cette date, le nombre de non permanents, doctorants et post-doctorants, est de 14 (cf. Figure 2).

Au cours de ce mandat, le LISE a connu d'importants mouvements de personnels permanents, au niveau C et EC, par le fait de départs : 3 départs en retraite et 5 mutations vers d'autres unités. Ces départs ont été partiellement compensés par le recrutement d'un MCF de SU et la mutation d'une PU de l'UVSQ vers le LISE (Tableau 1).

**Tableau 1 : Flux des personnels entre 2017 et 2022.**

NOMS		Année naissance	Bilan des mouvements effectués et
			prévisibles
AREFI-KHONSARI Farzaneh	PRCE	1955	retraite en 2023, puis éméritat
CHADUC Martine	TCS	1961	retraite vers 2025
GHARBI Oumaïma	CR	1989	recrutement octobre 2020, départ LRS juillet 2021
HAN Junsoo	MCF	1985	recrutement septembre 2021
HORNER Olivier	EC-EPF	1969	convention accueil, départ en décembre 2020
HUET François	PRCE	1955	retraite septembre 2018, puis éméritat
HUI Franck	CR	1962	retraite anticipée mai 2019
JOIRET Suzanne	CR	1958	retraite, août 2020
LEFEBVRE Isabelle	AI	1964	retraite vers 2025
LORET Antoine	AI	1978	en disponibilité depuis février 2020
MARTIN Véronique	TCS	1961	retraite vers 2024
NGO Kieu	MCF	1977	départ LRS juillet 2021
PILLIER Françoise	AI	1961	retraite vers 2025
SEL Özlem	CR	1979	départ CSE décembre 2021
SIMON Nathalie	PR1	1966	mutation vers le LISE, octobre 2021
TRAN Mai	Ch. CDI	1956	retraite en 2023
TURMINE Mireille	MCF	1966	départ LRS en juillet 2021
VIVIER Vincent	DR1	1971	départ LRS en juillet 2021

*Thématiques scientifiques :*

L'UMR 8235 mène ses travaux en Electrochimie dans le contexte de la Physico-Chimie et de la Réactivité aux interfaces.

En 2017, le LISE a été organisé selon trois thèmes de recherche (Cf. organigramme de la Figure 1) :

*Thème 1. Microsystèmes et électrochimie multiéchelle pour la caractérisation des matériaux*

*Thème 2. Matériaux et interfaces : fonctionnalités et électrochimie*

*Thème 3. De la réactivité électrochimique aux mécanismes moléculaires*

et de 4 axes transversaux :

*Axe 1. Cinétique électrochimique et modélisation, spectroscopie d'impédance*

*Axe 2. Développements instrumentaux et couplage de techniques*

*Axe 3. Stockage électrochimique et conversion de l'énergie*

*Axe 4. Couches minces, traitement de surface et corrosion*

Depuis juillet 2021 et suite au départ de personnels, **le LISE n'est plus organisé en trois thèmes de recherche avec des responsables mais en deux thèmes avec des animateurs** (cf. Figures 2 et 3).

*Thème I. Durabilité des matériaux - Interfaces en milieu naturel/industriel*

Mots-clés : corrosion/protection, «(bio)fouling», assemblage adhésif, (électro)remédiation, (bio)capteurs électrochimiques

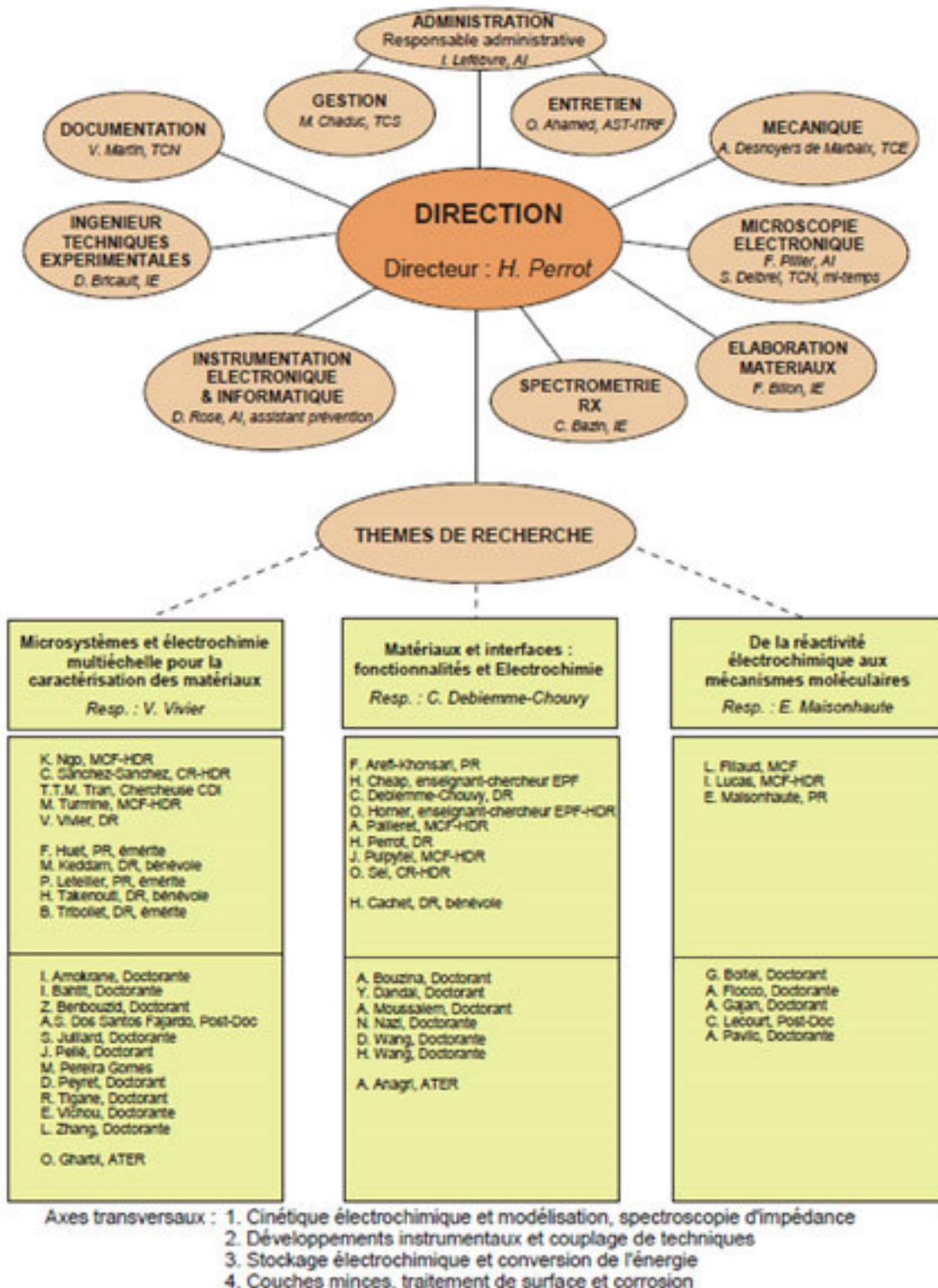
*Thème II. Réactivité de matériaux fonctionnels - Dispositifs électrochimiques*

Mots-clés : stockage, conversion, énergie, (photo)électrocatalyse, électronique moléculaire

**Organigramme général**  
 au 1<sup>er</sup> février 2020

**CNRS** **SU**  
*Centre National de la Recherche Scientifique* *Sorbonne Université*

**LISE - UMR 8235**  
*Laboratoire Interfaces et Systèmes Electrochimiques*



**Figure 1** : Organigramme du LISE jusqu'au 30 juin 2021.

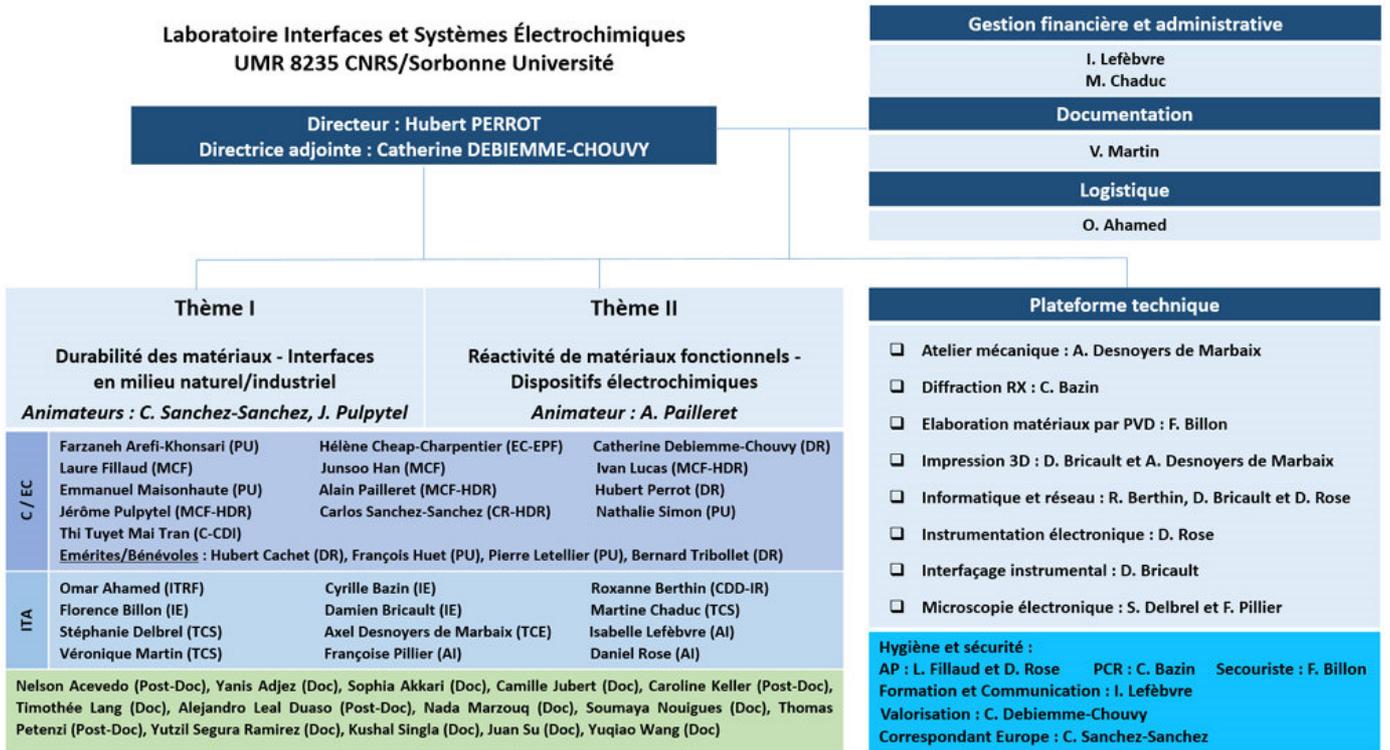
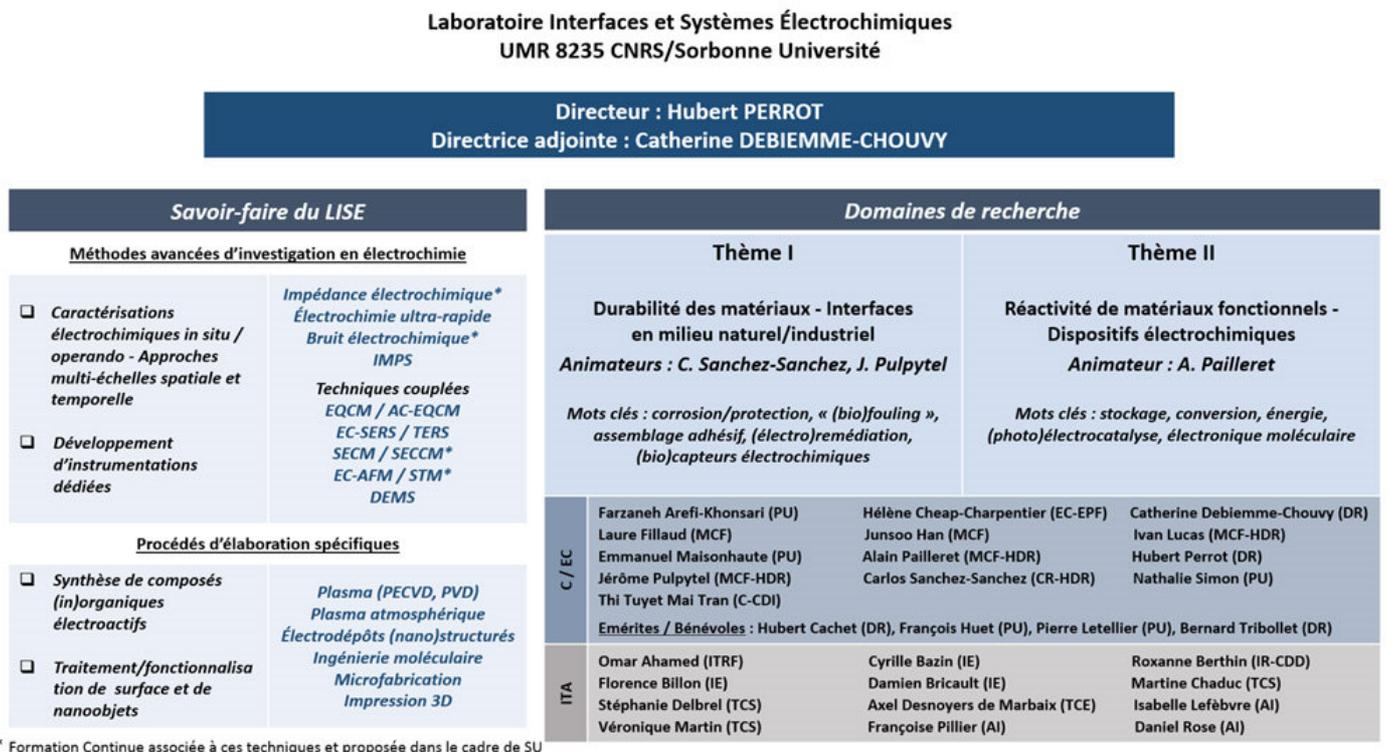


Figure 2 : Organigramme fonctionnel du LISE au 31 décembre 2022.



### 3- Les thématiques scientifiques et leurs enjeux

L'UMR 8235 mène ses travaux en **Électrochimie dans le contexte de la Physico-Chimie et de la Réactivité aux interfaces**. Les domaines concernés sont la corrosion et son inhibition, les traitements de surface, l'électrocatalyse, le stockage et la conversion de l'énergie sous divers aspects, auxquels se sont progressivement ajoutées des problématiques d'électrochimie et d'électronique moléculaires, d'autres relevant du domaine biologique, de la protection du patrimoine et plus généralement des thématiques liées au comportement des interfaces dans les milieux naturels. Ceci explique que le laboratoire se positionne à la charnière entre la recherche fondamentale, sa mission première, et des activités en partenariat avec différents secteurs économiques concernés par la mise en œuvre de concepts, de techniques et de procédés électrochimiques.

Les compétences et champs d'activité comportent :

- le développement de méthodes qui relèvent des concepts de la cinétique électrochimique et la mise au point **d'une instrumentation sophistiquée** permettant de les appliquer à une large palette de **processus physico-chimiques aux interfaces électrode-électrolyte**.
- **l'élaboration ou la modification, la caractérisation structurale et/ou chimique d'interfaces et de systèmes électrochimiques et la modélisation de leur comportement électrochimique**. Cette activité peut déboucher sur la mise en évidence de fonctionnalités et le développement d'applications associées.

**De janvier 2017 à juillet 2021** cette dualité s'articulait autour de trois thèmes :

- Thème 1. Microsystèmes et électrochimie multiéchelle pour la caractérisation des matériaux (Responsable : V. Vivier)
- Thème 2. Matériaux et interfaces : fonctionnalités et électrochimie (Responsable : C. Debiemme-Chouvy)
- Thème 3. De la réactivité électrochimique aux mécanismes moléculaires (Responsable : E. Maisonhaute puis I. Lucas)

et de 4 axes transversaux :

- Axe 1. Cinétique électrochimique et modélisation, spectroscopie d'impédance (Animateurs : K. Ngo, L. Fillaud)
- Axe 2. Développements instrumentaux et couplage de techniques (Animateurs : K. Ngo, I. Lucas)
- Axe 3. Stockage électrochimique et conversion de l'énergie (Animateurs : O. Sel, C. Sanchez-Sanchez, I. Lucas)
- Axe 4. Couches minces, traitement de surface et corrosion (Animateurs : J. Pulpytel, M. Tran, A. Pailleret)

Suite au départ de 4 C/EC vers le laboratoire LRS (Laboratoire de Réactivité des Surfaces de Sorbonne Université), l'unité a dû se réorganiser rapidement et de manière collective. Cette réorganisation a été examinée et validée en juillet 2021 par un comité à mi-parcours. Pour ce faire, de nombreux CS ont eu lieu au printemps 2021 afin de refondre complètement l'organisation du LISE avec comme objectif une meilleure lisibilité, une réorganisation basée sur des critères scientifiques, une place prépondérante pour les jeunes et une simplification de l'organisation en adéquation avec la taille de l'unité.

Dans cette nouvelle configuration, deux thèmes apparaissent :

- Thème I. Durabilité des matériaux – Interfaces en milieu naturel/industriel (Animateurs : C. Sanchez-Sanchez et J. Pulpytel)
- Thème II. Réactivité de matériaux fonctionnels - Dispositifs électrochimiques (Animateur : A. Pailleret)

## 4- Profil d'activités liées à la recherche

Le positionnement du LISE dans les grandes catégories d'activité est donné dans le Tableau 2. L'activité de l'unité est clairement orientée vers **la recherche et l'encadrement**.

**Tableau 2 : Positionnement du LISE dans ses grandes catégories d'activité.**

<b>Activités</b> (Répartir 100 points sur ces 7 items)	
<b>Administration et animation de la recherche</b> : pilotage de la recherche (VP, direction d'institut, DAS, par exemple), participation à des instances d'évaluation (CNU, CoNRS, CSS, Hcéres, par exemple), responsabilité de dispositifs Idex ou Isite, direction de projets (ANR, Horizon Europe, ERC, CPER, PIA, France 2030, par exemple), responsabilités éditoriales dans des revues ou collections nationales et internationales.	20
<b>Aide aux politiques publiques et expertise technique</b> : pouvoirs publics aux niveaux européen, national et régional, entreprises, instances internationales comme FAO, OMS, etc.	10
<b>Contribution à l'adossement d'enseignements innovants à la recherche</b> : EUR, SFRI, etc.	/
<b>Dissémination de la recherche</b> : partage de connaissances avec le grand public, médiation scientifique, interface sciences et société.	10
<b>Recherche et encadrement de la recherche.</b>	50
<b>Valorisation, transfert, innovation.</b>	10
<b>Autres activités.</b>	0

## 5- Environnement de recherche

L'unité fait partie de deux fédérations de Sorbonne Université : initialement IMPC (Instituts des Matériaux de Paris Centre) maintenant FCMat (Fédération de Chimie et Matériaux de Paris-Centre) et PLAS@PAR (Fédération de recherche en physique des plasmas).

Le laboratoire a émergé auprès de deux labex portés par SU jusqu'en 2019 : d'une part, le labex MATISSE (MATériaux, InterfaceS, Surfaces, Environnement) porté par l'IdEx Sorbonne Universités, composé de 16 partenaires de Sorbonne-Université, du CNRS, du Muséum National d'Histoire Naturelle, du Collège de France, de l'ENS, de l'ESPCI-ParisTech, de Chimie-ParisTech, de l'IRD, du Ministère de la Culture et de la Communication et d'IFP Energies nouvelles et d'autre part, le labex MICHEM (Laboratoire d'Excellence de Chimie Intégrée Multi-Echelles) porté par l'IdEx Sorbonne Universités, composé de 13 laboratoires de chimie physique, chimie moléculaire, et chimie théorique réunis autour de projets transdisciplinaires. Depuis 2019, l'IDEX SUPER (Sorbonne Universités à Paris pour l'Enseignement et la Recherche), l'Alliance Sorbonne Université promeuvent la recherche interdisciplinaire et la structuration de la formation par la recherche. Pour ce faire, 9 instituts universitaires et 11 initiatives structurantes ont été créés pour fédérer les communautés de chercheurs et d'enseignants-chercheurs de l'Alliance autour d'un projet collectif. L'unité émerge à certains de ces Instituts comme iMAT (Institut des MATériaux) ou certaines initiatives comme iSIM (Initiative Sciences et Ingénierie Moléculaires).

L'unité dépend du SPV (Service Partenariat et Valorisation) de la délégation régionale du CNRS-Paris Centre (DR02) et de la SATT (société d'accélération du transfert de technologies) Lutech.

## 6- Prise en compte des recommandations du précédent rapport

**Conclusion du rapport HCERES 2017-2018** : « Incontestablement l'unité a su maintenir sa position de leader national et international dans le domaine de l'électrochimie interfaciale tout en abordant le moment charnière de la valorisation de son domaine historique, celui de l'instrumentation pure, et du développement de la caractérisation de matériaux d'électrodes.

L'unité a continué ses travaux de recherche dans le domaine de l'électrochimie interfaciale et plus particulièrement du couplage de différentes techniques instrumentales, TERS, SAXS-EQCM, AFM-EQCM, ICP-EQCM,... (cf Portfolio, article 3).

*La corrosion est un thème très bien maîtrisé par l'unité dont les objectifs doivent cependant être réactualisés et mieux adaptés aux enjeux sociétaux.*

L'unité a orienté ses travaux de recherche vers la durabilité des matériaux et notamment vers des procédés originaux de protection : travail collaboratif sur des dépôts de films minces réalisés par voie PLASMA (cf Portfolio, article 5), de films anti-bactériens (N-halamines) et d'inhibiteurs d'entartrage (cf Portfolio, article 4).

*Celui de l'énergie est très compétitif car il existe de nombreuses équipes étudiant les matériaux d'électrodes. Cette thématique énergie est présente dans tous les thèmes structurant l'organisation du LISE et elle devra nécessairement s'appuyer sur des interactions entre les membres du laboratoire.*

De nombreux projets ont été menés autour de la thématique énergie (ANR JCJC, ANR PRC SPICS et MOVEYOURION, thèse ED388...) et ont été concrétisés par de nombreuses publications (cf Portfolio, article 1). Ce dernier article fait intervenir 2 permanents du LISE et 3 non permanents du LISE.

*En pratique, l'unité est organisée selon un schéma pragmatique pour conduire une recherche efficace, qui s'appuie sur un socle scientifique solide, dans un contexte de mise en compétition et de renouvellement générationnel important »*

## 2- INTRODUCTION DU PORTFOLIO

Cinq publications représentatives du positionnement scientifique de l'unité ont été retenues compte tenu de la taille du laboratoire et du nombre de permanents. Ce choix est représentatif des différentes activités de recherche du laboratoire : stockage électrochimique de l'énergie, électroremédiation (réduction des nitrates), couplage de techniques avec des dispositifs non conventionnels et durabilité des matériaux (tartre et protection contre la corrosion) :

Article 1. Cette première publication dans le domaine de l'énergie a fait l'objet de la couverture de **la revue ACS Energy Letters** située dans le premier quartile pour les cinq domaines couverts par celle-ci. Il s'agissait d'un travail collaboratif avec la SAFT, dans le cadre d'une thèse CIFRE sur une thématique à fort impact sociétal et qui a impliqué plusieurs permanents (2) et non permanents (3) du LISE.

« Solid Electrolyte Interphase Instability in Operating Lithium-Ion Batteries Unraveled by Enhanced-Raman Spectroscopy », A. Gajan, C. Lecourt, B. Torres Bautista, L. Fillaud, J. Demeaux, I. T. Lucas, ACS Energy Letters, 6 (2021) 1757–1763 (DOI: 10.1021/acsenerylett.1c00436).

Article 2. Cette publication illustre l'activité de l'unité dans le domaine de **l'électrocatalyse** et la revue correspondante est située dans le premier quartile pour les trois domaines retenus. Sur deux mois en 2022, cet article a reçu un grand nombre de citations ce qui l'a conduit à être classé par WEB of Science-Clarivate dans les 1 % des papiers les plus cités dans le domaine de la chimie. Enfin,

ce travail correspond **au projet Européen NITRATE (Marie Skłodowska-Curie Actions)** en collaboration avec Arizona State University (USA).

« Earth-abundant elements a sustainable solution for electrocatalytic reduction of nitrate », A. S. Fajardo, P. Westerhoff, C. M. Sanchez-Sanchez, S. Garcia-Segura, *Applied Catalysis B: Environmental*, 281 (2021) 119465 (DOI : 10.1016/j.apcatb.2020.119465).

Article 3. Cette publication illustre l'activité de l'unité dans le domaine du développement de **méthodes couplées et non conventionnelles** (QCM-SAXS). La revue est située dans le premier quartile pour les trois domaines couverts. Cette étude a été menée dans le cadre d'une thèse cofinancée par le LABEX MATISSE de SU et le BRGM d'Orléans. Ce travail s'est déroulé dans le cadre d'un projet au Synchrotron SOLEIL. Quatre permanents du LISE sont impliqués, dont un ingénieur d'étude CNRS.

"Operando XRD and electrogravimetry coupling to analyze species transfers during redox processes in Ni/Fe-layered double hydroxide", E. Duquesne, S. Betelu, A. Seron, D. Bricault, M. Goldmann, I. Ignatiadis, D. Limagne, A. Vlad, A. Resta, H. Perrot, O. Sel, et C. Debiemme-Chouvy, *J. Mater. Chem. A*, 10 (2022) 24783-24792 (DOI : 10.1039/d2ta07397h).

Article 4. Cette publication représente l'activité du LISE dans le domaine de **l'environnement et de la durabilité des matériaux**. La revue est présente dans le premier quartile selon trois domaines de recherche. Cet article illustre l'implication des personnels EPF (École Polytechnique Féminine-École d'Ingénieur) dans l'activité de recherche de l'unité avec trois permanents du LISE comme co-auteurs dont deux de l'EPF.

"Study of the influence of the supersaturation coefficient on scaling rate using the pre-calcified surface of a quartz crystal microbalance", H. Cheap-Charpentier, O. Horner, J. Lédion et H. Perrot, *Water Research*, 142 (2018) 347-353 (DOI : 10.1016/j.watres.2018.05.052).

Article 5. Cette publication représente l'activité du LISE dans le domaine de **la durabilité des matériaux** et plus spécifiquement de **la protection contre la corrosion**. La revue est dans le premier quartile pour le domaine «Materials Science, Coatings & Films». Il s'agit d'un travail collaboratif au sein de l'unité qui implique cinq permanents avec des intervenants spécialistes de la caractérisation électrochimique et d'autres de l'élaboration de matériaux protecteurs par voie PLASMA.

« Nanocomposite coatings based on graphene and siloxane polymers deposited by atmospheric pressure plasma. Application to corrosion protection of steel », A. Anagri, A. Baitukha, C. Debiemme-Chouvy, I. T. Lucas, J. Pulpytel, T. T. M. Tran, S. Tabibian, F. Arefi-Khonsari, *Surface & Coatings Technology*, 377 (2019) 124928 (DOI : 10.1016/j.surfcoat.2019.124928).

6. Dans le domaine de la reconnaissance internationale, l'unité a organisé plusieurs congrès/workshop internationaux dont le 10<sup>ème</sup> « International Workshop on SECM and Related Techniques » en septembre 2019 à Fontainebleau avec 120 participants. Celui-ci a été co-présidé par C. Sanchez-Sanchez et deux membres du LISE ont aussi participé au comité d'organisation de ce workshop, A. Pailleret et L. Fillaud. Ce workshop a été géré par la subdivision électrochimie de la SCF (Société Chimique de France).

Un autre congrès, PSE (PLASMA Surface Engineering), a été présidé par F. Arefi-Khonsari. Ce Congrès qui a regroupé 800 participants a eu lieu en septembre 2018 à Garmisch-Partenkirchen en Allemagne (<https://www.pse-conferences.net/pse2018-programm.html>). Plus récemment, l'unité a organisé le Congrès TERS 8 qui s'est tenu à Paris en novembre 2022 et a regroupé une centaine de

participants. Il était présidé par I. Lucas et E. Maisonhaute et a été géré par la DCP (Division de Chimie Physique) de la SCF.

7. L'unité est aussi reconnue pour **ses formations continues** (FC) notamment en ce qui concerne les impédances électrochimiques, niveau débutant et avancé. Ces FC existent depuis de nombreuses années et restent **une formidable vitrine du savoir-faire du LISE**. H. Perrot est responsable de ces deux formations qui impliquent des émérites et des bénévoles du LISE avec un renouvellement des acteurs avec la participation de D. Rose (AI CNRS), E. Maisonhaute (PU SU) et J. Han (MCF SU). Les deux liens ci-dessous permettent d'accéder au détail de ces deux FC affichées sur le site de Sorbonne Université.

<https://fc.sorbonne-universite.fr/nos-offres/mesures-dimpedance-appliquees-a-lelectrochimie-niveau-1-debutant/>

<https://fc.sorbonne-universite.fr/nos-offres/mesures-dimpedance-appliquees-a-lelectrochimie-niveau-2-avance/>

8. Le LISE a été très actif dans les opérations de communication envers la société. Tous les ans, un stand sur « l'oxydoréduction » est mis en place lors de **la fête de la science**, un Youtube live a été réalisé en 2022. Deux podcasts destinés à la promotion de l'électrochimie ont été réalisés l'un par I. Lucas et L. Fillaud pour Sorbonne Université avec la participation de Binge audio (<https://www.binge.audio/podcast/7escience/comment-brancher-son-cerveau-comme-dans-matrix/?uri=comment-brancher-son-cerveau-comme-dans-matrix%2F>), l'autre par L. Fillaud avec la SCF et la fondation Gay Lussac (<https://20ecolesdechimie.com/podcasts/podcast-vis-ma-chimie-avec-laure-figliaud/>).

Par ailleurs, le confinement a été l'occasion de lancer la playlist Youtube "Le courant passe", playlist qui compte 13 vidéos sur des expériences d'électrochimie réalisées à la maison (<https://www.youtube.com/playlist?list=PL4-5RJd2oIUwrvTe3DuxuikS14xa0iJpy>), ce projet a été mené par E. Maisonhaute. Il a aussi lancé un projet sur la réalisation de mesures électrochimiques à bas coût pour les pays en voie de développement (projet MITI ELABORE 2021-2022). Enfin, un stagiaire de L3, R. Meng, a également réalisé un film sur son stage effectué au LISE 'Supercondensateur au graphène LIG' (<https://www.youtube.com/watch?v=8OlwVH88uQ>).

## 3- AUTOÉVALUATION DU BILAN

### 3-1 Autoévaluation de l'unité

#### Domaine 1. Profil, ressources et organisation de l'unité

Référence 1. L'unité s'est assigné des objectifs scientifiques pertinents.

Une des particularités du LISE repose sur **le développement instrumental autour de l'électrochimie** avec des couplages de différentes techniques associées à des mesures résolues en temps et spatialement. Ceci est une caractéristique de l'unité qui est certainement unique en France. Plus récemment, **des procédés d'élaboration spécifiques de matériaux** ont été développés via des méthodes PLASMA ou électro-assistées. L'objectif clairement affiché est de favoriser l'émergence de projets communs entre les différents membres de l'unité et basés sur leurs points forts spécifiques.

### Adaptation à la politique des tutelles en matière de recherche et de valorisation :

L'unité répond aux différents AAP des tutelles et des différentes agences de moyens comme les LABEX, les Instituts/Initiatives de Sorbonne Université, l'ANR ou les PEPR. Le DU transmet à l'ensemble des personnels les différents AAP pour que chacun puisse en prendre connaissance. Suite à la réorganisation de l'unité en 2021, il est plus facile de cibler et d'identifier les acteurs de l'unité capables de répondre à ces AAP et le cas échéant les choix stratégiques sont discutés lors des différents CS. Par exemple, un grand nombre de projets ont été financés auprès des deux LABEX MATISSE et MICHEM et des Initiatives de l'Alliance Sorbonne Université lors de cette mandature (19). Au niveau local, le LISE est dans la Fédération Chimie et Matériaux (ex IMPC) et émerge maintenant à différents instituts de Sorbonne Université comme iMAT (Institut de science des MATériaux de l'Alliance Sorbonne Université) et iSIM (Initiative Sciences et Ingénierie Moléculaires de l'Alliance Sorbonne Université).

Tous les contrats sont établis avec l'aide du SPV du CNRS de la délégation régionale Paris Centre (DR02) et éventuellement de la SATT LUTECH.

### Stratégie scientifique et association des personnels à l'élaboration de cette politique :

Les différentes structures complémentaires dans l'organisation du laboratoire (cf figures 2 et 3) doivent permettre à toutes les personnes du laboratoire de se sentir impliquées dans la recherche ou dans les services d'appuis techniques en soutien de la recherche. La politique de recherche est discutée, à partir de 2021, au sein du Conseil Scientifique (CS) auquel l'ensemble des membres permanents est convié. Cela permet notamment d'avoir un consensus sur les sujets de thèse déposés à l'ED388 et sur les demandes de postes et les candidats potentiels EC à l'université et C au CNRS.

La réorganisation du laboratoire a été menée au printemps 2021 dans le cadre de différentes réunions de type Conseil Scientifique. Cela a permis d'élaborer **un organigramme qui convient à tout le personnel** (cf Figure 2 et 3). Par exemple, les domaines de compétence des PAR sont parfaitement identifiés dans l'organigramme.

**Les NEWS hebdomadaires** du laboratoire, accessibles à tout le personnel via le site internet du laboratoire, indiquent les différents projets déposés auprès des différents AAP nationaux et internationaux en indiquant le sujet et les participants. De plus, tous les nouveaux arrivants, non permanents et permanents, sont annoncés dans ces NEWS.

### Analyse des impacts économiques et sociétaux :

Le laboratoire se positionne prioritairement sur le développement de recherches académiques visant à acquérir de nouvelles connaissances. Toutefois, comme en témoignent les activités contractuelles, nous restons très attentifs aux demandes sociétales et valorisons nos résultats dès que possible dans le domaine applicatif. L'unité a adopté une stratégie de recherche de financements diversifiée la conduisant, en plus d'une activité soutenue de réponse aux appels d'offres de type public (contrats et subventions), à travailler **en étroite collaboration avec des partenaires industriels**, sans pour autant changer la finalité de ses activités qui reste axée sur le développement des connaissances et la participation à la formation de chercheurs. Ceci s'est traduit par la signature de contrats industriels, 34 sur la période pour 1,5 M€, dont 6 associés à des thèses CIFRE. Nos relations avec les industriels devront perdurer.

Au cours de ce contrat, 9 brevets/enveloppes Soleau ont été déposés, impliquant respectivement 4 C, 6 EC et 1 ITA de l'unité.

En parallèle, il convient de mentionner l'implication de nombreux membres de l'unité dans des actions de formation tournées vers l'extérieur. D'une part, le LISE accueille chaque année une quinzaine d'étudiants/stagiaires en provenance des filières de formation Licence, Master, IUT, BTS et

écoles d'ingénieurs, dont les stages donnent tous lieu à la rédaction d'un rapport et à une soutenance devant un jury. D'autre part, l'unité organise deux formations sur les impédances électrochimiques chaque année depuis plus de 10 ans dans le cadre de la formation continue de Sorbonne Université.

Une vingtaine d'expertises ont été réalisées pour différents organismes nationaux et internationaux (ADEME, ANSES, ANRT, CARNOT... Académie des Sciences tchèques, National Science Centre (Pologne)...).

## Référence 2. L'unité dispose de ressources adaptées à son profil d'activités et à son environnement de recherche et les mobilise.

### Analyse des ressources financières récurrentes et mobilisées :

Le budget consolidé de l'unité et les ressources financières (hors masse salariale des permanents et doctorants MESRI (Ministère de l'Enseignement Supérieur de la Recherche et de l'Innovation) et CSC (China Scholarship Council)) pour les années 2017 à 2022 sont illustrés dans le Tableau 3. Il ressort de l'analyse des ressources financières que la part issue des activités contractuelles est largement dominante par rapport aux crédits de type soutien de base du CNRS et de Sorbonne Université qui ne représentent que 17,5 % en moyenne. Sur la période 2017-2022, la moyenne annuelle des ressources financières propres est de 530 k€. Le détail des ressources financières est donné dans le fichier Excel de données de caractérisation et de production de l'unité dans l'onglet 6. Par exemple, le nombre de projets ANR financés a été de 14, pour un budget de 2,4 M€ et le nombre de projets collaboratifs avec le privé de 34, pour un budget de 1,5 M€. **Cette diversité de financement** maintient les moyens de l'unité à un niveau nous autorisant à développer au mieux notre projet scientifique. Il est à noter que le budget total de l'unité est stable malgré le départ de plusieurs C et EC au cours de la mandature et de la période COVID.

Les Tableaux 3 et 4 montrent l'évolution des crédits par origine de 2017 à 2022 et celle des dépenses sur la même période. L'analyse des ressources montre une augmentation importante des crédits provenant de l'ANR depuis 2014 et la mise en place de l'évaluation des projets en deux tours : la moyenne annuelle sur 2012-2016 s'établissait à 154 k€ alors que sur la période 2017-2022 celle-ci est de 286 k€, ce qui correspond à une augmentation de 86 %. En ce qui concerne les contrats industriels, les ressources sont équivalentes à la période 2012-2016 (180 k€/an en moyenne). Pour le poste dépenses, valeurs données dans le Tableau 4, nous constatons que le poste « fonctionnement » est assez stable sur cette mandature sauf pour 2020 qui correspond au début de la pandémie. Les dépenses d'équipement sont assez élevées, avec une moyenne de 112 k€, pour une unité de taille modeste, et représentent en moyenne 19 % du budget. La part salaire est en augmentation sur cette mandature mais constante par rapport à la précédente période 2012-2016.

### Mutualisation des ressources :

**L'unité mutualise ses ressources propres** (non allouées) ce qui permet de financer des équipements pour des thématiques novatrices et non pourvues de financements en propre. A titre d'exemple, le LISE a investi dans plusieurs imprimantes 3D. Cela a permis de fabriquer des cellules électrochimiques qui n'étaient pas réalisables avec les outils de la mécanique conventionnelle. Deux projets de recherche ont été menés à bien avec ces imprimantes : un projet MATISSE-BRGM, pour lequel des mesures couplées électrochimie-gravimétrie-SAXS ont été menées au synchrotron SOLEIL (Article 3 du Portfolio) et un autre projet avec TotalEnergies pour le couplage microbalance à cristal de quartz-AFM. Cela permet aussi d'acheter des équipements communs accessibles à l'ensemble des membres du laboratoire. Certains équipements mi-lourds de l'unité sont gérés par des PAR et ne sont pas soumis à facturations internes.

### Politique en matière de locaux et d'infrastructures scientifiques ou de ressources documentaires :

Les locaux du LISE se situent principalement sur deux étages, entre les tours 13 et 14, au sein du campus Pierre et Marie Curie de Sorbonne Université. Toutefois, quelques équipements (mi)-lourds, en propre, sont situés dans des pièces annexes en rez-de-chaussée ou au sous-sol (DRX, SEM-FEG, bâtis PLASMA, TERS...). L'atelier de mécanique est aussi localisé au rez-de-chaussée entre les tours 23 et 33.

Les ressources documentaires sont principalement gérées par une PAR de l'unité qui, plus spécifiquement, s'occupe de la gestion de la liste des publications/brevets/communications de l'unité ainsi que des dépôts sur HAL.

Les non permanents disposent tous d'un bureau hors des salles de manipulations. Les bureaux des permanents ne sont pas individuels et sont partagés avec 3 permanents au maximum. Par ailleurs, une grande pièce permettant la mise en commun d'appareillage de caractérisations et de préparation d'échantillons/solutions (spectro IR, UV/visible, angle de contact, soudeuse, balances de précision...) a été aménagée récemment. Cette pièce accueille aussi les deux imprimantes 3D de l'unité.

**La plateforme interne** comprenant le SEM-FEG et la DRX offre un soutien incontournable pour l'étude physico-chimique des différents matériaux d'étude. Elle nous procure un support technique de pointe pour la recherche tout en favorisant une jouvence d'équipements et de maintenance grâce aux prestations externes (SEM-FEG). Cette plateforme est gérée par 3 PAR.

**Tableau 3 :** Analyse des ressources du LISE sur la période 2017-2022.

(montants en k€)	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Moyenne
Report année antérieure	164,4	544,1	598,2	867,1	1269,6	671,1	685,7
Dotation CNRS	55,2	57	57	52	62	56	56,5
Dotation UPMC/SU	55	55	50	50	58	67	55,8
ANR et Europe	63	259,4	452,4	452,2	0	493,6	286,7
AAP Nationaux (type Labex)	154,2	44,7	29,8	10,5	18,8	18	46,0
Contrats industriels (CNRS)	342,1	73,1	194,9	292,3	83,1	144,5	188,3
Formation Continue SU	16,4	8,0	11,1	2,4	0	10,7	8,1
<b>Total</b>	<b>686,0</b>	<b>497,2</b>	<b>795,2</b>	<b>859,4</b>	<b>221,9</b>	<b>789,8</b>	<b>641,5</b>
<b>Total avec report</b>	<b>850,4</b>	<b>1041,3</b>	<b>1393,4</b>	<b>1726,5</b>	<b>1491,5</b>	<b>1460,9</b>	<b>1327,3</b>

**Tableau 4 :** Analyse des dépenses du LISE sur la période 2017-2022.

(montants en k€)	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Moyenne
Fonctionnement	153,1	192,8	193,7	128,6	189,5	187,3	174,1
Équipement	116,7	71,3	143	146,9	121,7	72,3	111,9
Missions	69,5	83	78,8	9,3	20,2	52,1	52,1
Salaires, vacations	154,6	146,9	126,4	182	592,4	244,1	241,0
<b>Total</b>	<b>493,9</b>	<b>494,0</b>	<b>541,9</b>	<b>466,8</b>	<b>923,8</b>	<b>555,8</b>	<b>579,3</b>

Référence 3. Les pratiques de l'unité sont conformes aux règles et aux directives définies par ses tutelles en matière de gestion des ressources humaines, de sécurité, d'environnement, de protocoles éthiques et de protection des données ainsi que du patrimoine scientifique.

Gestion des ressources humaines, parité, santé, sécurité et prévention des risques psycho-sociaux :

Au 31 décembre 2022, le LISE présente **un ratio femme/homme équilibré** aussi bien chez les PAR (6 F / 5 H) que chez les EC/C (6 F / 7 H). Concernant les postes à responsabilités au laboratoire, 6 au

total (directeur, directeur-adjoint (DUA), responsables de thème, responsable administratif/financier) deux femmes sont présentes en tant que DUA et responsable administrative/financière.

Dans un souci constant d'améliorer d'une part, la technicité des EC/C, des IT/BIATSS et d'acquérir d'autre part, de nouvelles compétences nécessaires pour mener à bien son projet scientifique, le laboratoire s'appuie sur son **Plan de Formation de l'Unité (PFU)** annuel. Celui-ci est opérationnel depuis 1998 pour le CNRS et est très apprécié par les membres de l'unité. Établi et animé par I. Lefèbre, responsable administrative/financière du LISE et en étroite concertation avec les personnels de l'unité et en liaison avec le directeur, le PFU est soumis à l'approbation du conseil de laboratoire chaque année. Le PFU inclut aussi **les formations continues proposées par le LISE** : mesures d'impédances électrochimiques niveau I et II, mesures de bruit électrochimique appliquées à la corrosion et aux systèmes diphasés, imagerie et mesures par AFM aux interfaces électrochimiques et détection des gaz formés à l'interface électrode/solution (DEMS).

L'unité ne dispose pas de Comité Spécial d'Hygiène et de Sécurité (CSHS) en propre mais fonctionne avec deux APs (Assistant de Prévention) nommés par le DU pour la période 2017-2022. L'un des deux APs est spécialisé dans la gestion des problèmes électriques (D. Rose, AI CNRS et électronicien du laboratoire) et l'autre AP dans la gestion des risques chimiques (L. Fillaud, MCF à Sorbonne Université). Enfin, **le Document Unique d'Évaluation des Risques (DUER)** est renseigné annuellement par les deux APs en association avec le DU. Ce DUER est soumis tous les ans à l'approbation de nos deux tutelles (CNRS et SU). Dans ce cadre, plusieurs actions ont été menées comme la mise en place de deux sorbonnes autonomes dans des pièces qui ne disposaient pas de sorbonnes à évacuation classique ou le déplacement des bureaux des étudiants hors des pièces d'expérimentation.

Pour le risque d'exposition aux rayonnements ionisants, C. Bazin a été habilité **«Personne Compétente en Radioprotection»** (PCR, sources scellées) après avoir suivi la formation ad hoc. I. Lucas a été nommé aux fonctions de Référent Sécurité Laser (RSL) au sein de l'unité après avoir suivi la formation ad hoc fin 2019. Les opérations de gestion des produits chimiques et des déchets issus des expériences sont prises en charge respectivement par L. Fillaud (AP) et C. Bazin. Le directeur est tenu informé des problèmes rencontrés (9 incidents mineurs depuis 2017). Ceux-ci sont immédiatement pris en considération, analysés pour correction et répertoriés dans le registre de sécurité. Afin de limiter au maximum les incidents, chaque nouvel entrant est accueilli selon un protocole comportant une formation aux principaux risques potentiellement présents via le site en ligne NEO et la présentation des moyens mis à disposition concernant l'hygiène et la sécurité notamment pour la «pièce de chimie». Il est également informé sur le mode de gestion des produits chimiques et des déchets au laboratoire (local de stockage des produits, classement des déchets, évacuation hebdomadaire...).

La mise en place du **PCA (Plan de Continuité des Activités)** lors de la pandémie Covid-19 a favorisé largement le développement du télétravail pour le personnel du laboratoire. Cela a permis de limiter autant que possible l'impact négatif sur la recherche grâce au maintien des postes clés et la mise en place de calendriers rigoureux, en ligne, permettant à chacun d'avoir le maximum de temps de présence en lien avec ses activités. Nous avons en particulier donné priorité aux personnels nécessitant une présence sur site pour effectuer des expériences de laboratoire incompatibles avec le télétravail, comme les doctorants et post-doctorants. Soulignons en particulier une excellente réactivité des APs et du staff administratif dans la mise en place/œuvre des différents plans de continuité/reprise d'activités élaborés par la direction dans le cadre de la crise sanitaire liée à la pandémie.

## Protection du patrimoine scientifique et des systèmes informatiques :

La protection du patrimoine scientifique s'appuie sur une parfaite traçabilité des non permanents qui viennent au LISE. Celle-ci s'appuie sur un travail rigoureux et conséquent des deux gestionnaires du LISE notamment au niveau des documents demandés à chaque non permanent qui vient travailler au sein de l'unité : fiche de bienvenue, fiche de présence, formation NEO.... Un autre exemple concerne la clé attribuée à chaque non permanent. Elle est nominative et assortie d'une caution afin de pouvoir la récupérer avec certitude à la fin du stage/contrat. Les missions des agents ou des non permanents dans des pays dits à risques sont systématiquement soumises à l'approbation du FSD (Fonctionnaire de Sécurité et Défense) associé au CNRS. Aucune mission ne peut être validée en cas d'opposition de sa part. Depuis quelques mois, les embauches de doctorant sont filtrés par le HFDS (Haut Fonctionnaire de Défense et de Sécurité) de Sorbonne Université et notamment pour les candidatures des étudiants avec des bourses CSC. Enfin, H. Perrot participe à un groupe de travail (GT) depuis quelques mois sur la PPST (Protection du Potentiel Scientifique et Technique) au sein de Sorbonne Université. Ce GT doit proposer des actions concrètes dans le cadre de cette politique de protection à la présidence de Sorbonne Université.

L'unité s'appuie sur la Politique de Sécurité et des Systèmes d'Information (PSSI) préconisée par le CNRS et Sorbonne Université pour mettre en œuvre les procédures de gestion et de prévention des risques via A. Loret puis D. Bricault qui assure la fonction de Correspondant SSI.

## Synthèse de l'autoévaluation

Forces	Faiblesses
Nombreux PAR au sein de l'unité avec des compétences identifiées et complémentaires	Déséquilibre C/EC
Prises de décisions collectives (CoDir, CL, CS) avec CS ouvert à tous les permanents	Départs de 5 C et EC en 2021
Mise en commun du budget non alloué	Nombre de C et EC au sein de l'unité
Activités contractuelles diversifiées (ANR/UE/AAP type LABEX ou initiatives/instituts, émergences SU, TREMLIN SU/industrielles)	
Opportunités	Menaces
Réorganisation du laboratoire en juillet 2021	Départ en retraite de 1 C et 1 EC en 2023 Départ en retraite de PAR lors du prochain mandat
Capacité d'adaptation aux défis/enjeux sociétaux majeurs : énergie, environnement, durabilité des matériaux	Difficultés de promotions locales des EC et des promotions des PAR

## Domaine 2. Attractivité

Référence 1. L'unité est attractive par son rayonnement scientifique et s'insère dans l'espace européen de la recherche.

### Conférences invitées dans congrès nationaux et internationaux :

Un grand nombre de conférences ou de séminaires invités atteste du rayonnement international incontestable du LISE. Durant le mandat, les membres du LISE ont été invités à **118 séminaires, conférences nationales et internationales**. Ces invitations concernaient la quasi-totalité des C/EC de l'Unité.

### Organisation ou co-organisation de congrès nationaux et internationaux :

Le leadership international dans l'utilisation des techniques électrochimiques pour étudier la réactivité à l'interface électrode/électrolyte s'est renforcé avec l'organisation de **6 congrès internationaux** par les différents membres du LISE entre 2017 et 2022. En 2019, certains membres du LISE ont participé à l'organisation de 3 congrès : « *10<sup>th</sup> International Workshop on SECM and Related Techniques* » à Fontainebleau, le « *11<sup>th</sup> International Symposium on Electrochemical Impedance Spectroscopy* » à Lège-Cap-Ferret et le « *5<sup>th</sup> International Conference on Ionic Liquid-based Materials à Paris* ». En 2020, le congrès « *online ElecNano 9* ». En 2021, le congrès hybrid « *Current Trends in Electrochemistry* » a été organisé à Paris. En 2022, le « *8<sup>th</sup> International Conference on Tip-Enhanced Raman Spectroscopy* » s'est tenue à Paris.

Au niveau national, des journées thématiques ont été organisées dans le cadre de la subdivision électrochimie de la SCF (2 à Paris et 1 à Rennes) et une journée de la division de chimie physique de la SCF a aussi été organisée à Paris. Plusieurs C/EC de l'unité étaient présidents/membres accueils du CO ou du CS de plusieurs congrès nationaux (Journées d'Électrochimie Francophones, Journées Information Eaux).

### Responsabilités éditoriales :

Trois personnels du LISE ont été éditeurs invités de numéros spéciaux :

O. Sel : Éditeur scientifique d'un numéro spécial de *Nanomaterials* (MDPI) en 2020.

J. Han : co-guest éditeur scientifique d'un numéro spécial « *Corrosion and Passivation of Compositionally Complex and High Entropy Alloys* » en 2021 (CMD | Special Issue : Corrosion and Passivation of Compositionally Complex and High Entropy Alloys (mdpi.com)) ; éditeur : Prof Kevin Ogle

E. Maisonhaute : Éditeur scientifique d'un numéro spécial de « *Current Opinion in Electrochemistry, Innovative Methods in Electrochemistry* » à paraître en 2023.

### Instances de pilotage de la recherche :

#### *i) Comités d'expert nationaux/internationaux*

- Comité HCERES : H. Perrot président du comité HCERES du laboratoire PCM2E, Université de Tours, en 2022/2023 et C. Debiemme-Chouvy membre du comité HCERES du laboratoire LCPME, Université de Lorraine, en 2022.
- H. Perrot responsable axe 3 « Interfaces, Transport, Réactivité » du Labex MATISSE de 2014 à 2017, A. Pailleret membre axe 3 « Interfaces, Transport, Réactivité » du Labex MATISSE de 2017 à 2018 et C. Debiemme-Chouvy responsable axe 2 « Matériaux multifonctionnels et environnement » du Labex MATISSE de 2017 à 2019.
- E. Maisonhaute membre du conseil de l'Initiative pour les Sciences et l'Ingénierie Moléculaire à Sorbonne Université et membre du bureau du GDR Nanooperando.
- A. Pailleret membre du comité de revues du CE09 "DS03-Axe 5 : Nanomatériaux et nanotechnologies pour les produits du futur" (AAPG2017) de l'ANR (2021), membre des panels de revue mi-parcours CES09-2015 (en 2017) et CES09-2016 (en 2018) de l'ANR et membre du comité d'évaluation ANR-appel à projets génériques (2017: CEP et CES09 "DS03-Axe 5 : Nanomatériaux et nanotechnologies pour les produits du futur").
- E. Maisonhaute président du jury du Prix d'Instrumentation de la Division de Chimie Physique jusqu'en 2021.
- H. Perrot président du jury de prix en électrochimie de la SCF de 2016 à 2021 (Prix de la subdivision électrochimie de la SCF « jeune chercheur » et prix enseignement de l'électrochimie au niveau L3M1M2).

## ii) Expertises de projets

Les membres du LISE ont expertisé de nombreux projets pour diverses institutions : ANR, ADEME, ANRT (thèses CIFRE), IDEX de l'Université Grenoble Alpes, Institut CARNOT, Académie des Sciences tchèques, Heyrovski Institute, Université de Milan, ETH Zürich et agences nationales de recherche néerlandaise (NWO), chilienne (FONDECYT) et argentine (FONCYT).

### Membres d'institutions :

- Société Chimie de France (SCF) : H. Perrot président de la subdivision électrochimie de la SCF de 2016 à 2022 et vice-président de la Division de Chimie Physique de la SCF depuis 2022. A. Pailleret vice-président du bureau de l'interdivision énergie de la SCF depuis 2022. C. Sanchez-Sanchez membre du bureau de la subdivision électrochimie de la SCF depuis 2022. E. Maisonhaute président du jury du Prix d'Instrumentation de la Division de Chimie Physique jusqu'en 2021.
- Comité National du CNRS : C. Debiemme-Chouvy membre élue du conseil scientifique de l'Institut de Chimie du CNRS depuis 2018, membre élue de la CID 54 du CoNRS (2018-2021) et membre nommée de la Section 13 du CoNRS depuis 2021. I. Lucas membre élu de la Section 14 du CoNRS depuis 2021.
- Sorbonne Université : H. Perrot et C. Sánchez-Sánchez membres du conseil de l'UFR de Chimie de 2017 à 2022, A. Pailleret membre du conseil scientifique de l'UFR de chimie depuis 2022, E. Maisonhaute membre du bureau de l'UFR de Chimie de 2017 à 2022, E. Maisonhaute membre Chargé de Mission puis Chargé du Suivi de la Politique de la Recherche à la Faculté Sciences et Ingénierie, E. Maisonhaute membre du conseil de l'Initiative pour les Sciences et l'Ingénierie Moléculaire depuis 2021 et J. Pulpytel, vice-doyen délégué Aménagement des campus et Suivi des projets immobiliers à la Faculté Sciences et Ingénierie depuis 2021.

### Lauréats de prix :

- **Prix « Enseignement Pratique de l'Électrochimie » - ORIGALYS** en 2017 pour L. Fillaud.
- **Prix Jeune Chercheur ISE France en 2019** pour I. Lucas.
- Prix poster lors de la 7<sup>ème</sup> Journée des Doctorants du BRGM à Orléans et de la 8<sup>ème</sup> conférence internationale sur l'Électrochimie dans les Nanosciences à Nancy pour E. Duquesne en 2018, de la Journée de l'école doctorale ED 388 à A. Fiocco en 2019 et de la NACE 2021 catégorie « Mars Fontana Prize for Corrosion Engineering » à H. Wang en 2021.
- Prix annuel de la subdivision Électrochimie de la Société Chimique de France pour la promotion de l'électrochimie au niveau de l'enseignement Licence et Master : G. Zenasni (L3, 2017), M. Qi (M1, 2018), F. Wassolua (M1, 2022) et R. Meng (L3, 2022).
- Prix de la meilleure communication orale lors des Journées d'Électrochimie à Mons, Belgique, en 2022 pour G. Boitel-Aullen.
- Prix de la communication scientifique de la section Île-de-France de la SCF à E. Maisonhaute en 2021.
- Prix de la meilleure recherche décerné par l'École doctorale de Carthage, pour S. Ben Latifa, pour sa recherche réalisée au LISE en 2022.

### Projets européens et internationaux :

Un seul projet européen a été financé, il s'agit du projet NITRATE (H2020-MSCA-IF-2018). Un contrat international a été signé avec l'université de l'Ohio (USA) pour l'accompagnement de deux thèses, K. Singh et H. Wang, pour la période 2019-2022 pour des travaux de recherche dans le domaine de la protection contre la corrosion.

Il est aussi à noter que deux projets ECOS ont été retenus : l'un avec le Chili (2018-2021) et l'autre avec le Pérou (2020-2024). Trois partenariats Hubert Curien (PHC) ont été financés : PHC Utique avec la Tunisie (2020-2021), PHC Bosphore avec la Turquie (2020-2021) et un PHC Balaton avec la Hongrie

(2022-2023). Enfin, un financement via l'organisation Face Foundation (collaboration France-États Unis) a été obtenu pour la période 2022-2023.

## Référence 2. L'unité est attractive par la qualité de sa politique d'accompagnement des personnels.

### Accueil/intégrations des non permanents :

L'unité est très attractive pour des étudiants désirant travailler dans le domaine de l'électrochimie. Ainsi sur la période 2017-2022, la formation par la recherche s'est traduite par l'accueil de 54 stagiaires de Master (17 M1 et 37 M2) ainsi que de 32 stagiaires d'autres formations (2 L1, 3 L2, 18 L3 et 9 Ing.), et de 64 doctorants. Au cours de cette période 46 thèses ont été soutenues au LISE. De plus, le LISE est impliqué dans des thèses en cotutelle et des thèses dans des universités étrangères (10).

L'accueil des non-permanents s'appuie sur un travail rigoureux et conséquent des deux gestionnaires du LISE notamment au niveau des documents demandés à l'avance à chaque non permanent qui vient travailler au sein de l'unité : fiche de bienvenue, fiche de présence, formation en sécurité et hygiène online (NEO). En plus, plusieurs documents sont fournis à l'arrivée comme une fiche sur la vie pratique au sein du LISE, les deux organigrammes du LISE (scientifique et fonctionnel), le trombinoscope des membres du LISE, le plan de l'unité comprenant la localisation des pièces et des équipements, la charte d'utilisation de la pièce des produits chimiques, la charte informatique et une fiche individuelle d'exposition aux préparations et produits dangereux à compléter. Les encadrants font visiter le laboratoire y compris les pièces excentrées avec des équipements milourds (DRX, SEM-FEG, bâtis PLASMA, TERS), ainsi que l'atelier de mécanique. Le pack nouvel arrivant comprend un bureau avec un PC équipé et connecté à internet dans une pièce partagée, mais séparé des pièces d'expérimentation (changement par rapport au mandat précédent), ainsi que l'accès à la restauration du personnel de Sorbonne Université pour les doctorants et postdoctorants. Les non-permanents sont représentés au Conseil du Laboratoire du LISE par deux représentants élus. Les non-permanents ont accès aux NEWS du LISE, et organisent, participent aux séminaires des non-permanents remis en place depuis 2021.

### Accompagnement mis en place pour les personnels d'appui à la recherche :

Les personnels d'appui à la recherche (PAR) ont à leur disposition un bureau avec un ordinateur dans une pièce partagée avec d'autres membres permanents. Le laboratoire s'appuie sur son Plan de Formation de l'Unité (PFU) annuel pour accompagner le personnel d'appui à la recherche lorsqu'il prend son poste de travail en main.

### Capacité à accueillir des chercheurs invités :

Le large réseau de collaborations construit par le LISE lui permet d'attirer des doctorants et postdoctorants nationaux et internationaux (Chili, Pérou, États-Unis, Espagne, Brésil, Canada, Tunisie...) qui viennent avec leur propre financement dans la plupart des cas. Ainsi sur la période 2017-2022, 64 doctorants et 21 postdoctorants ont été accueillis au LISE pour des périodes de 3 à 12 mois. Des chercheurs dans les laboratoires partenaires étrangers sont aussi accueillis au LISE pour une période de quelques mois afin d'affiner leurs recherches avec un équipement du LISE ou dans le cadre de projets communs. Ainsi le LISE a pu accueillir 25 chercheurs durant la période 2017-2022.

### Stratégie en matière d'intégrité scientifique et de science ouverte :

Les recommandations des tutelles (CNRS et SU) en matière de science ouverte sont mises en œuvre par une gestionnaire-documentaliste au LISE qui est chargée de mettre à jour le catalogue de publications et de communications de l'unité dans HAL (<https://cnrs.hal.science/LISE>). De plus, nous publions également en accès libre en profitant de notre affiliation à Sorbonne Université, qui fait partie de l'accord Couperin avec l'éditeur Wiley.

### Référence 3. L'unité est attractive par la reconnaissance de ses succès à des appels à projets compétitifs.

#### Appels à projets internationaux, nationaux et locaux :

La politique du LISE en matière de réponse à des appels à projets (AAP) est très ouverte et les membres du LISE disposent d'une grande liberté d'action. Seule la convocation annuelle de l'école doctorale (ED388) fait l'objet d'un consensus préalable au sein du conseil scientifique du LISE (10 contrats doctoraux entre 2017 et 2022).

72 projets ANR ont été déposés avec la participation des membres du LISE (AAP ANR 2017 – 2022) dont 21 dépôts portés par des EC et C du LISE (29 % du total). 12 projets ont été retenus par l'ANR dont 4 portés par des EC et C du LISE (33 %).

11 projets dans le programme européen H2020 ont été déposés avec la participation des membres du LISE dont 7 projets portés par des EC et C du LISE (63 % du total). 1 projet porté par le LISE a été retenu par La Commission Européenne (NITRATE (MSCA-IF-2018)).

6 projets de collaboration bilatérale entre le LISE et des institutions internationales ont été retenus : 1) Projet ECOS-Sud avec le Chili (2018-2021), 2) Partenariat Hubert Curien (PHC) Utique avec la Tunisie (2020-2021), 3) Partenariat Hubert Curien (PHC) Bosphore avec la Turquie (2020-2021), 4) Projet ECOS-Nord avec le Pérou (2020-2024) 5) PHC Balaton avec la Hongrie (2022-2023), 6) Face Foundation et l'ambassade de France aux États-Unis (2022-2023).

L'unité répond aussi aux appels à projets CSC (China Scholarship Council) et aux appels à projets doctoraux et post-doctoraux de Sorbonne Université (Génie des procédés, ED388, iMat, iSiM...).

#### Financements de contrats doctoraux et post-doctoraux, contrats d'ingénieur et de technicien :

Entre 2017 et 2022, 12 contrats permettant le financement de thèses ont été signés : 9 thèses CIFRE et 2 thèses CEA. Les ressources propres sont parfois utilisées pour compléter des bourses de doctorat étrangères, comme les 6 doctorants chinois financés par le China Scholarship Council (CSC) et 4 doctorants de pays du Maghreb (EMMAG, ERASMUS-PLUS).

Dans de nombreux cas, les contrats postdoctoraux sont négociés avec les entreprises privées qui les financent. A titre d'exemple, le contrat de N. Acevedo (2022-2023) pour le développement du couplage QCM + AFM est financé par l'entreprise TotalEnergies et le contrat d'A. Asserghine (2020-2021) pour le développement de mesures SECM sur des alliages d'aluminium utilisés dans l'industrie aéronautique est financé par l'entreprise SAFRAN.

Le laboratoire finance partiellement un CDD de niveau IR CNRS, R. Berthin, en tant qu'ingénieure informatique.

Une partie des ressources propres disponibles au LISE est réservée pour l'achat d'équipements mi-lourds, notamment nécessaires pour lancer la recherche des nouveaux entrants EC et C.

### Référence 4. L'unité est attractive par la qualité de ses équipements et de ses compétences techniques.

#### Plateformes, équipements et démonstrateurs de pointe :

L'unité dispose d'équipements de routine mi-lourds (SEM-FEG et DRX) en plateforme « interne » et ouverts à d'autres utilisateurs laboratoires extérieurs à SU. Ces deux équipements ont des contrats de maintenance financés sur les ressources propres du LISE, prestations de service notamment. Le laboratoire possède aussi des équipements d'analyse tels qu'un spectromètre infrarouge à transformée de Fourier et un spectromètre UV-Visible. Le LISE possède également des équipements pour caractériser les surfaces d'électrode, tels que l'angle de contact et un spectromètre RAMAN. Le laboratoire est également équipé d'imprimantes 3D, ce qui lui permet de réaliser des cellules

électrochimiques spécifiques (Projet Synchrotron SOLEIL avec le BRGM, collaboration avec TotalEnergie...).

Le LISE dispose de nombreux équipements spécifiques comme des dispositifs de mesure d'impédance électrochimique (EIS), de microbalance électrochimique à cristal de quartz (EQCM), de microscopie électrochimique à balayage (SECM) et AFM couplé à l'électrochimie. Un système de spectroscopie Raman exalté par pointe (TERS) a été développé au LISE. L'ouverture à des tiers de ces techniques de pointe se fait généralement par le biais de collaborations de recherche. Ces équipements ont pu être acquis en répondant à des appels à projets comme des ANR, des projets TREMLIN ou en bénéficiant de collaborations industrielles.

#### Équipe technique et administrative engagée dans la gestion de ces équipements :

Deux personnes ITA CNRS, dont une à mi-temps, sont en charge du SEM-FEG au niveau des observations/analyses et de l'entretien du microscope. En complément, l'une d'elles est en charge de la gestion des prestations de service liées à cet équipement. Pour la DRX, un IE CNRS est chargé de faire les analyses et s'occupe de la maintenance du diffractomètre. Le laboratoire dispose d'un mécanicien ITA CNRS qui est capable de créer des « objets », telles que des cellules qui peuvent s'adapter aux équipements comme la DRX ou l'AFM. Au sein du laboratoire, un électronicien ITA CNRS est capable de concevoir et réaliser des appareils électroniques spécifiques, comme des bi-potentiostats, ou de résoudre les problèmes électroniques de certains équipements du laboratoire. Il y a également un IE, ITA CNRS, qui peut élaborer des programmes pour interfacer et récupérer les données de différents équipements. L'équipe administrative, deux ITA CNRS, gère les commandes afférentes à l'achat ou à l'entretien de ces différents équipements.

Forces	Faiblesses
Laboratoire de référence dans le domaine de l'électrochimie et plus particulièrement de l'instrumentation	Nombreux sujets abordés pouvant pénaliser la reconnaissance dans un domaine spécifique
Compétences techniques des PAR	Manque de C et EC ayant l'HDR
Visibilité internationale et nationale via la production scientifique	Communication de l'activité de l'unité à optimiser via des réseaux actuels
Bon équilibre entre les projets fondamentaux et appliqués - Diversité des financements	
Équipements spécifiques en chimie-physique	
Opportunités	Menaces
Localisation à Paris (attractivité d'une capitale, accès facile)	Localisation à Paris (coût de la vie)
Nombreuses sollicitations par partenaires académiques et industrielles	Obsolescence des équipements
Compétences pour répondre à des problématiques très actuelles	Futurs départs en retraite de C, EC et ITA

### Domaine 3. Production scientifique

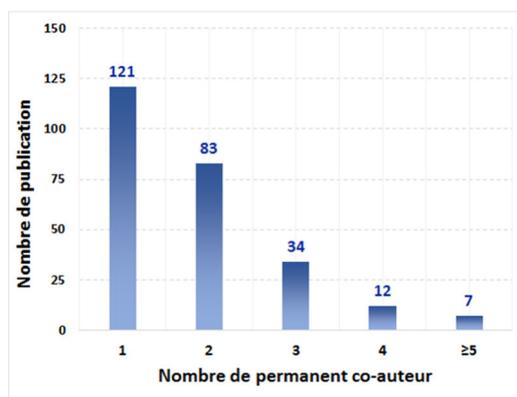
Référence 1. La production scientifique de l'unité satisfait à des critères de qualité.

#### Positionnement et bilan :

Le nombre de publications dans les journaux à comité de lecture répertoriés dans les bases internationales est de **256 ACL sur la période 2017-2022** dans un grand nombre de journaux (96) dont, dans le domaine de l'électrochimie, 10 journaux qui rassemblent 34 % des publications du LISE (Electrochim. Acta : 34, J. Electrochem. Soc. : 9, Corrosion Science : 8, J. Phys. Chem. C : 3, J.

Electroanal. Chem. : 5, J. Solid State Electrochem. : 4 et Electrochem. Commun. : 5). Un IF pondéré de 5,5 a été calculé pour les publications du domaine électrochimique. Au global, pour l'ensemble des thématiques et de l'unité un IF pondéré de 6,2 a été déterminé.

Au total, 17 publications sont signées exclusivement par des membres du LISE, ce qui signifie que 93 % des publications proviennent de collaborations extérieures au LISE. La Figure 4 présente le nombre de publication sur la période 2017-2022 en fonction du nombre de permanents de l'unité auteurs de l'article. Plus de la moitié de ces publications implique plus d'un permanent auteur de la dite publication.



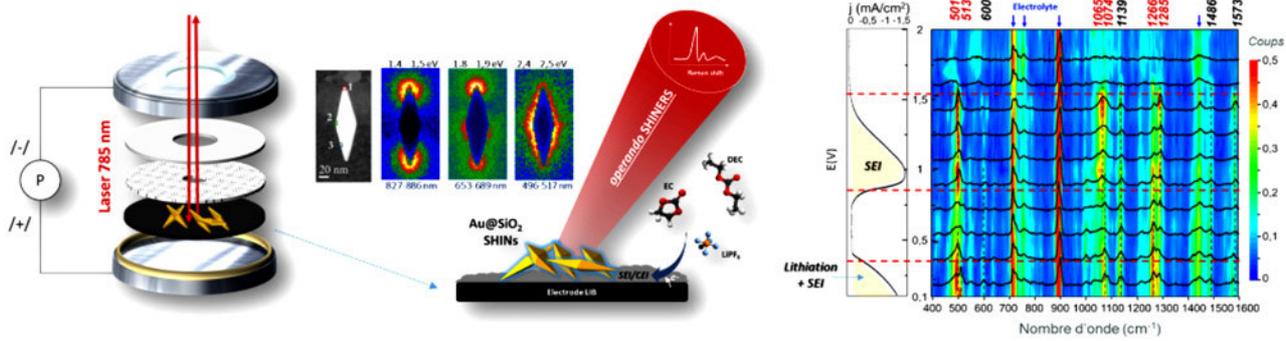
**Figure 4** : Nombre de publications versus nombre de permanents du LISE co-auteurs.

Le nombre de participations à des congrès nationaux/internationaux ou séminaires sur la période de 2017 à 2022 pour l'ensemble des C/EC de l'unité est de **353**. Ces présentations ont été faites soit sous forme de communications orales (298) soit sous forme d'affiches (55), le membre du LISE étant soit le présentateur soit l'un des co-auteurs. Sur les 298 communications orales, 118 représentent des communications invitées. 258 communications orales ont été présentées dans des congrès internationaux ou lors de séminaires à l'étranger et 40 au niveau national. Il est à noter que tous les C et EC ont participé à un congrès au moins une fois par an.

Dans la partie suivante, l'unité présente les activités de recherche les plus marquantes au regard de la communauté scientifique.

#### 1. Étude de la SEI pour des batteries de type lithium-ion par une approche *operando* SHINERS (Portfolio, article 1)

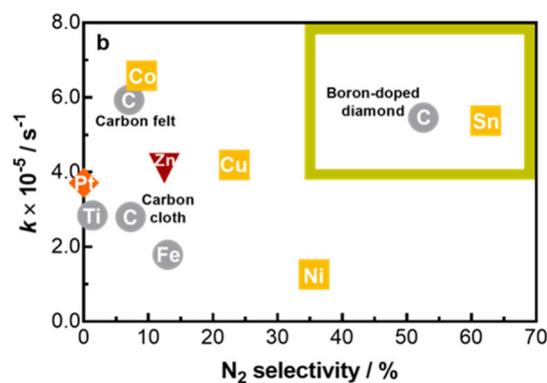
La compréhension fondamentale des processus interfaciaux électrode/électrolyte dans les batteries lithium-ion (LIB) et de leur dynamique pendant le cyclage est d'une importance capitale pour le développement de matériaux d'électrode de nouvelle génération. Les analyses *operando* impliquant des techniques sensibles et optimales sont nécessaires pour produire une description précise des processus sous-jacents à l'origine de la baisse de performance des batteries. Bien que la spectroscopie Raman exaltée type SERS utilisant des nanoamplificateurs du signal présente la sensibilité requise, sa mise en œuvre dans des conditions opératoires et en particulier sur des matériaux fonctionnels en contact avec des électrolytes organiques constitue un défi important. Ce travail proposait une optimisation de la spectroscopie Raman exaltée par des nanoparticules métalliques à structure cœur-coquille (Au@SiO<sub>2</sub>) pour le diagnostic *in situ* des matériaux LIB, incluant la conception d'amplificateurs actifs dans le proche infrarouge (minimisation d'autofluorescence des électrolytes LIB) et le contrôle de la dose de photons comme montré sur la Figure 5. Il a été mis en évidence qu'il était possible de suivre la dynamique de composition de l'interface électrode/électrolyte pendant le cyclage des batteries LIB (Figure 5) et d'expliquer l'origine de la capacité irréversible des électrodes d'étain proposées comme alternative aux anodes de graphite.



**Figure 5 :** Operando SHINERS - L'électrode est décorée avec des nanoparticules à structure coeur-coquille puis, assemblée dans une cellule spectro-électrochimique de type pile-bouton. Lorsqu'ils illuminés par une sonde Raman proche-infrarouge, les SHINs anisotropes agissent comme des amplificateurs plasmoniques locaux du signal (mode plasmonique proche-IR révélé par STEM-EELS) à l'interface électrode/électrolyte, ce qui permet d'extraire la signature chimique de l'interface (interphase d'électrolyte solide SEI). La dynamique de la composition interfaciale peut être suivie lors du cyclage de l'électrode (ici, l'électrode négative d'étain dans EC/DEC LiPF<sub>6</sub>).

## 2. Réduction électrocatalytique des ions nitrate (Portfolio, article 2)

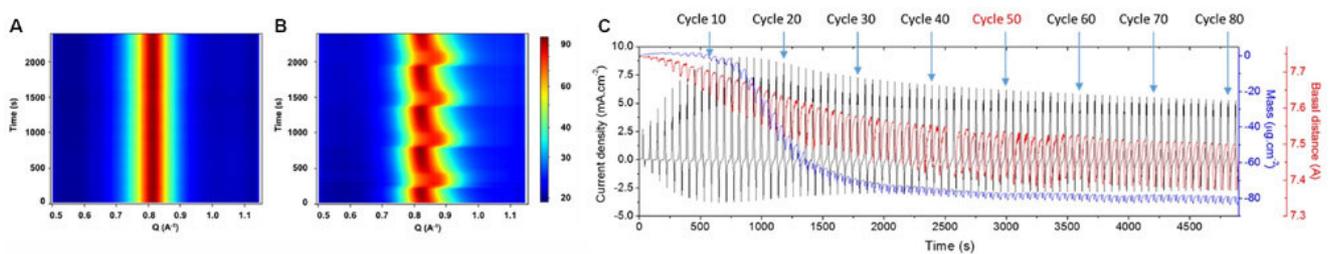
L'identification d'alternatives durables aux éléments du groupe du platine (EGP) est un challenge majeur à l'application de l'électrocatalyse pour dégrader les nitrates dans l'eau potable et les transformer en produits inoffensifs tels que le N<sub>2</sub>. Ce travail porte sur la sélection de matériaux d'électrodes basés sur des éléments abondants sur terre afin d'identifier des matériaux électrocatalytiques plus durables, mais également capables d'éliminer efficacement le nitrate des eaux polluées. Cela doit permettre le développement de systèmes de traitement de l'eau à base d'électrocatalyseurs à faible coût. Par exemple, la Figure 6 montre que le carbone (sous forme de diamant dopé au bore) et l'étain présentent la sélectivité moyenne la plus élevée pour la production d'azote gazeux (55 % et 64 %, respectivement), surpassant le Pt, qui n'a qu'une sélectivité de 1 %, et dont l'énergie électrique pour éliminer le nitrate est comparable.



**Figure 6 :** Cinétique du pseudo-premier ordre obtenue en fonction de la sélectivité envers N<sub>2</sub> pendant la réduction électrochimique de 100 mg L<sup>-1</sup> de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> dans 50 mM Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> à 20 mA cm<sup>-2</sup>. Les électrocatalyseurs inclus dans le quadrant supérieur présentent la cinétique de réduction la plus rapide et la sélectivité la plus élevée vis-à-vis de l'azote gazeux. La disponibilité des éléments sur terre est codée par couleur : gris forte abondance, jaune disponibilité limitée, orange menace croissante et rouge menace sérieuse dans les 100 prochaines années.

### 3. Couplage *operando* XRD EQCM, étude des transferts d'espèces à l'interface Ni:Fe-HDL / LiOH (Portfolio, article 3)

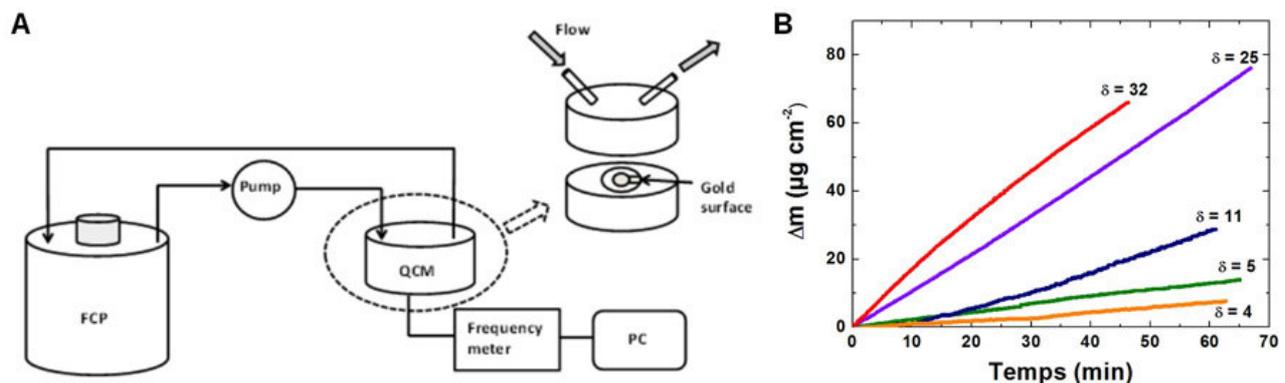
Dans le cadre d'une thèse co-financée par le Labex MATISSE et le BRGM, les transferts d'espèces au sein d'un hydroxyle double lamellaire (HDL) Ni/Fe polarisé en milieu aqueux ont été étudiés par un couplage EQCM - DRX (synchrotron Soleil). La connaissance de la variation de la distance interfeuillet du HDL, de la variation de masse du matériau d'électrode et du courant traversant l'électrode (Figure 7) a permis de préciser les mécanismes réactionnels au sein des films HDLs Ni/Fe. Il a été montré qu'après 'activation', remplacement des carbonates interfeuillets par des OH<sup>-</sup> au fur et à mesure des cycles de polarisation (oxydation/réduction de Ni(II)), la variation du pH interfacial conduit également à l'électro-adsorption/désorption de Li<sup>+</sup> à la surface des nanoplaquettes de LDHs.



**Figure 7 :** HDL Ni/Fe dans une solution aqueuse de LiOH 1 M. A, B) Position du pic  $Q_{003}$  du HDL en fonction du temps A) en circuit ouvert, B) lors de 4 cycles de polarisation entre 0,44 V/SHE et 0,73 V/SHE, à une vitesse de balayage de 1 mV·s<sup>-1</sup>. C) Couplage *operando* EQCM/GIAXRD, mesures pendant 81 cycles de polarisation entre 0,44 V/SHE et 0,73 V/SHE, à une vitesse de balayage de 10 mV·s<sup>-1</sup>.

### 4. Étude des mécanismes d'entartrage par QCM sensibilisée par du tartre (Portfolio, article 4)

Les phénomènes d'entartrage posent de nombreux problèmes techniques et économiques au sein des industries quand ils surviennent dans les circuits faisant circuler de l'eau. L'entartrage est dû à la précipitation de composés minéraux, principalement du carbonate de calcium (CaCO<sub>3</sub>). La microbalance à cristal de quartz avec une surface pré-entartrée (SQCM, Scaling Quartz Crystal Microbalance), couplée à la méthode de précipitation rapide (FCP, Fast Controlled Precipitation) est un outil très sensible pour détecter les germes de carbonate de calcium en solution et évaluer ainsi la vitesse d'entartrage dans une eau donnée (Figure 8A). Cela permet d'accéder aux mécanismes d'entartrage et d'évaluer les performances de différents inhibiteurs de tartre avec des temps de mesure très courts (< 1 jour).

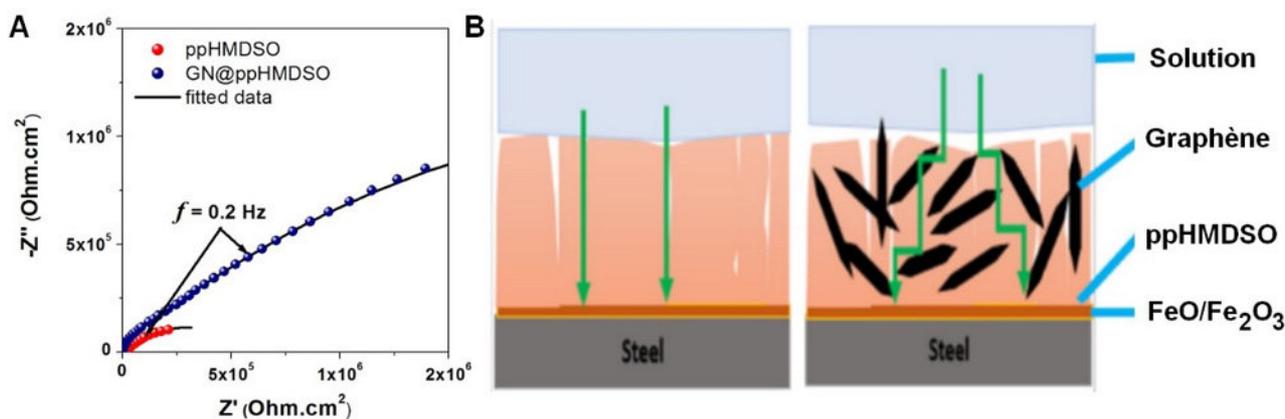


**Figure 8 :** A) Montage expérimental de la SQCM et B) Variation de masse au cours du temps en fonction du degré de sursaturation d'une eau synthétique.

Dans un premier temps, une couche de  $\text{CaCO}_3$  est formée sur la surface active d'or de la microbalance à cristal de quartz (EQCM) en imposant un potentiel de  $-1 \text{ V/ECS}$ . Les germes de carbonate de calcium sont formés par la méthode FCP, où la solution d'étude est portée à un degré de sursaturation donné. Sans pré-entartrage de la surface d'or par une couche de  $\text{CaCO}_3$ , il n'y a pas de variation de masse observée au cours du temps, ce qui signifie que les germes de  $\text{CaCO}_3$  ne se fixent pas sur la surface d'or nue. Lorsque la surface active est recouverte d'une couche de  $\text{CaCO}_3$ , les germes formés par la méthode FCP, s'accrochent sur cette surface et une augmentation de masse est observée au cours du temps par SCQM (Figure 8B). La détermination de la pente de la courbe  $\Delta m = f(t)$  permet ainsi d'évaluer la vitesse d'entartrage pour une qualité d'eau donnée.

##### 5. Films anti-corrosion déposés par plasma atmosphérique (Portfolio, article 5)

Dans ce travail, une méthode voie sèche plasma froid à la pression atmosphérique a été utilisée pour préparer un revêtement composite mince à base de graphène incorporé dans des polymères siloxanes pour la protection contre la corrosion de l'acier. Les revêtements nanocomposites ont été élaborés par une décharge à barrière diélectrique en utilisant une suspension colloïdale nébulisée de nanofeuillets de graphène (GN) dispersés dans de l'hexaméthylsiloxane (HMDSO). Après avoir obtenu une solution colloïdale stable, celle-ci a été nébulisée dans le réacteur plasma à la pression atmosphérique pour former un revêtement de polymère plasma (pp) à partir d'HMDSO (ppHMDSO) dans lequel des GN ont été incorporés (GN@ppHMDSO) sur un substrat d'acier doux. L'analyse chimique et la morphologie des revêtements hybrides obtenus ont été caractérisées par XPS, FTIR et SEM-FEG. Cela confirme la synthèse de micro/nanocomposites avec une dispersion assez homogène des GN dans la matrice polymère. La résistance à la corrosion des échantillons, évaluée par impédance électrochimique (Figure 9A), a montré que les revêtements hybrides GN@ppHMDSO déposés en une seule étape (Figure 9B), présentaient d'excellentes performances anticorrosion avec une efficacité de protection de 99,99%.

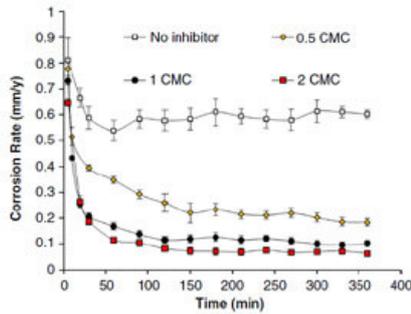


**Figure 9 :** A) Mesures d'impédance électrochimique sur acier doux avec revêtement contenant ou non du graphène B) Structure des films PPHMDSO et GN@ppHMDSO, intérêt du graphène.

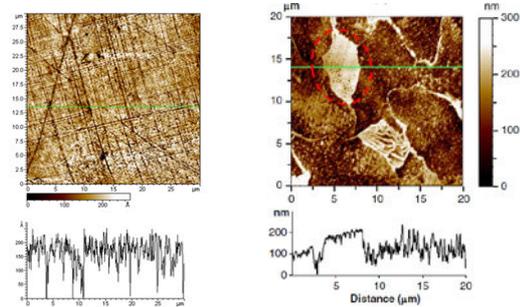
##### 6. Couplage AFM-électrochimie pour la caractérisation des performances d'inhibiteurs moléculaires de corrosion

Au cours de ces dernières années, un nouvel exemple de couplage AFM-électrochimie associant l'imagerie *in situ* en mode contact (ou tapping) de l'AFM avec la LPR (Linear Polarization Resistance) a été développé. Il a été appliqué à l'étude d'inhibiteurs moléculaires de corrosion sur acier au carbone en milieu aqueux corrosif sous atmosphère de  $\text{CO}_2$  afin d'approcher les conditions de corrosion rencontrées dans les pipelines. Ce couplage a permis d'établir une corrélation entre les vitesses de corrosion déterminées à l'échelle globale par LPR et les mécanismes de corrosion et d'inhibition caractérisés à l'échelle nanométrique (donc locale) pour différentes concentrations en

inhibiteurs. Ces travaux ont été réalisés au LISE dans le cadre d'une collaboration avec un laboratoire américain spécialisé en corrosion (ICMT, Ohio University, Athens, Ohio, USA) et financés pour l'essentiel par TotalEnergies (TE) grâce à deux contrats de collaboration liant l'ICMT, le LISE et TE pour le premier, et le LISE et TE pour le second.



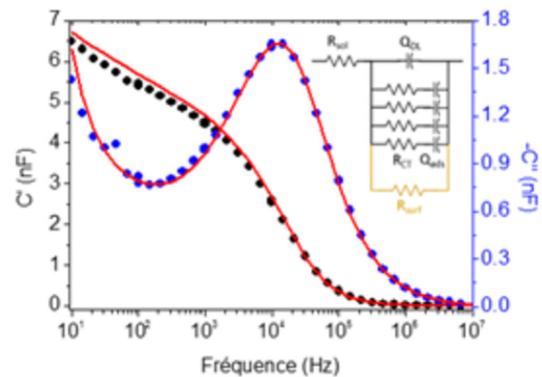
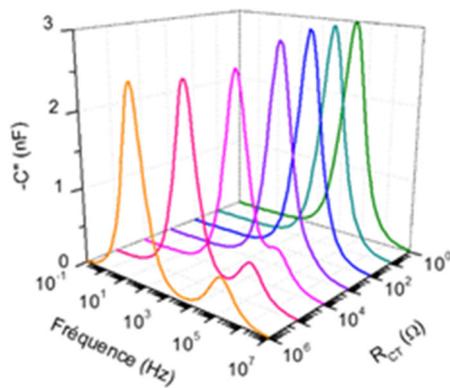
**Figure 10 :** Vitesses de corrosion estimées par LPR en fonction du temps pour différentes concentrations en inhibiteur, dans une solution aqueuse de NaCl à 1 wt% saturée en  $\text{CO}_2$ .



**Figure 11 :** Imagerie par AFM de la topographie d'un échantillon d'acier au carbone poli avant immersion (gauche), dans une solution aqueuse 1 wt% NaCl saturée en  $\text{CO}_2$  après une heure d'exposition (droite). Conditions expérimentales :  $25^\circ\text{C}$ , pH initial :

## 7. Electrochimie moléculaire et électrochimie rapide/impédance électrochimique

Dans le cadre de la thèse de G. Boitel-Aullen, une nouvelle approche électrochimique pour étudier les monocouches autoassemblées a été initiée. Celle-ci croise les résultats d'électrochimie ultra-rapide et d'impédance électrochimique (Figure 12A) jusqu'à 10 MHz, afin de remonter aux distributions de potentiels standards et aux constantes de vitesse. En particulier, une représentation en capacitance complexe (Figure 12B) permet de mettre en évidence une légère inhomogénéité dans des couches de rotaxanes géants (Projet ANR FastGiant).



B)

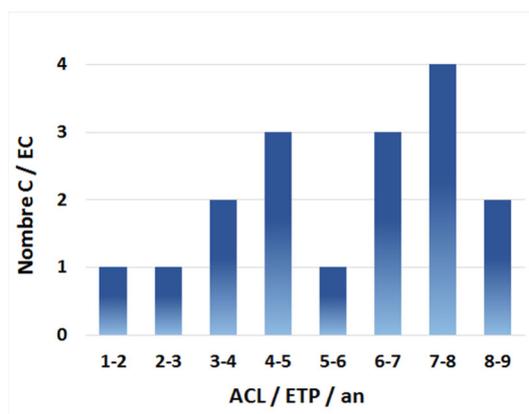
A)

**Figure 12 :** A) Capacitance complexe simulée en fonction de la fréquence et de la résistance de transfert de charge et B) Résultats expérimentaux et simulés pour une monocouche de rotaxanes géants.

Référence 2. La production scientifique de l'unité est proportionnée à son potentiel de recherche et correctement répartie entre ses personnels.

La liste des publications est mise à jour régulièrement par une PAR de l'unité et cette liste est accessible à tous via le site WEB du LISE. Comme indiqué précédemment, au cours de la période examinée, les membres de l'unité ont signé ou co-signé 256 articles dans des revues internationales à comité de lecture (ACL). Parmi ces articles, 25 sont co-signés par un ou une PAR du laboratoire et 6 PAR sont publiants (9 ACL F. Billon, 1 ACL S. Delbrel, 6 ACL F. Pillier, 2 ACL D. Rose, 4 ACL C. Bazin et 3 ACL D. Bricault). Pour les non-permanents, la majorité des thésards ou postdocs de l'unité ont au moins une publication avec une participation à un congrès national et international.

Pour les C et EC le taux de publication, pour 1 ETP, varie entre 1,7 et 8,3 ACL par an, avec une moyenne de 15 ACL par ETP sur la période (cf Figure 13).



**Figure 13** : Nombre de C ou EC selon le nombre d'ACL par an, pour un ETP.

Référence 3. La production scientifique de l'unité respecte les principes de l'intégrité scientifique, de l'éthique et de la science ouverte. Elle est conforme aux directives applicables dans ce domaine.

L'unité a mis en place des procédures permettant de garantir le caractère honnête et rigoureux de ses résultats scientifiques. Le laboratoire a par exemple généralisé l'utilisation du cahier de laboratoire pour tous les non permanents depuis plusieurs années avec une gestion de ces cahiers par la responsable administrative du LISE. D'une manière générale la quasi-totalité de nos résultats sont publiés dans des revues internationales à comité de lecture pour soumettre nos travaux à nos pairs avant toute publication. Les personnels permanents de l'unité ont accès au logiciel anti-plagiat « COMPLILATIO » sur le site internet de Sorbonne Université. L'information concernant l'existence de certaines revues prédatrices a été évoquée en conseil scientifique de manière à diminuer la diffusion de nos résultats dans ces revues.

Sur les principes de la science ouverte, l'unité privilégie une diffusion des résultats aussi ouverte que possible et aussi fermée que nécessaire. En accord avec la politique de certains AAP dans lesquels l'unité a obtenu des succès (ANR), le laboratoire favorise la publication en « open access ». Cela représente un surcoût important et pour cette raison, le LISE incite ses chercheurs à le prévoir dans la demande de financement. Par ailleurs, toutes les publications de l'unité sont maintenant référencées sur la base de données ouvertes HAL. Une PAR est en charge de ce travail et y ajoute aussi les différentes communications et séminaires des membres de l'unité.

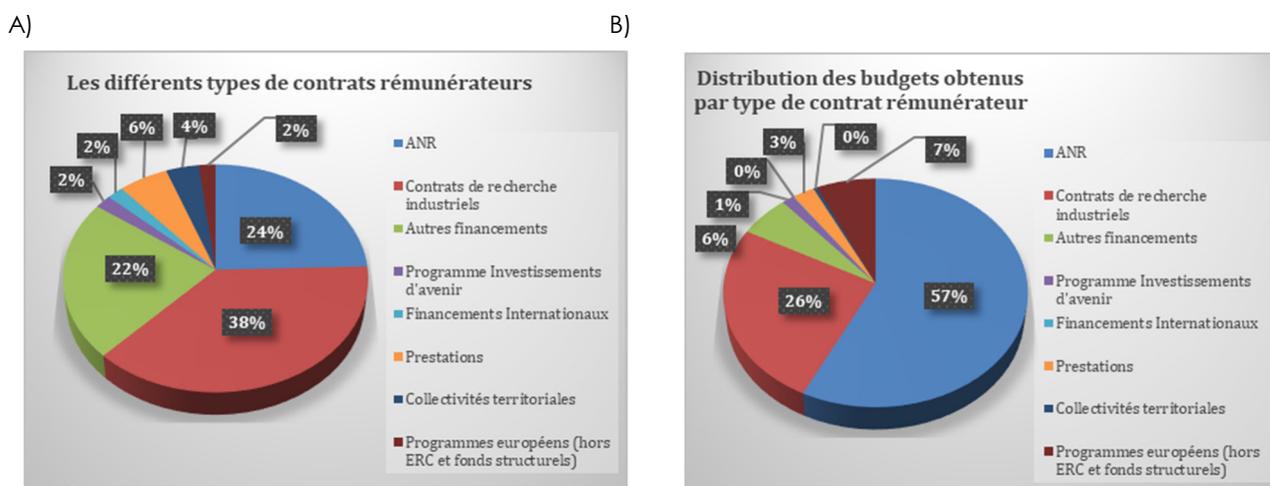
## Synthèse de l'autoévaluation

Forces	Faiblesses
Production scientifique quantitative et qualitative en rapport avec le nombre d'ETP	Peu de publications dans des journaux généralistes
Compétences reconnues en méthodes avancées d'investigation en électrochimie	
Opportunités	Menaces
Grand nombre de séminaires, conférences nationales et internationales invités	Temps consacré et incertitudes liés à la recherche de contrats/réponse à AAP
Aucun non publiant	

#### Domaine 4. Inscription des activités de recherche dans la société

Référence 1. L'unité se distingue par la qualité et la quantité de ses interactions avec le monde non-académique.

Le LISE mène une partie de ses activités de recherche en partenariat avec le secteur industriel (TotalEnergies, Hutchinson, Lafarge-Holcim, Air Liquide, Dassault, Safran, etc...), avec des organismes publics (IFPEN, CEA, SU (voir « Autres financements »)) et avec des collectivités territoriales (SIAAP, 4%). La Figure 14A montre que, sur un total de 53 contrats (3,78 M€), la part des contrats de recherche industriels (38 %) est la plus importante en nombre devant celle des projets ANR (24%) et des « autres financements » (22 %). En termes de budget (Figure 14B), les contrats de recherche industriels rapportent 26% du montant total des contrats, derrière les projets ANR (57 %) et devant tous les autres types de contrats (« Autres financements » : 6 %, collectivités territoriales : < 1%).



**Figure 14 :** A) Répartition en nombre des contrats de l'unité et B) répartition en budget de ces mêmes contrats.

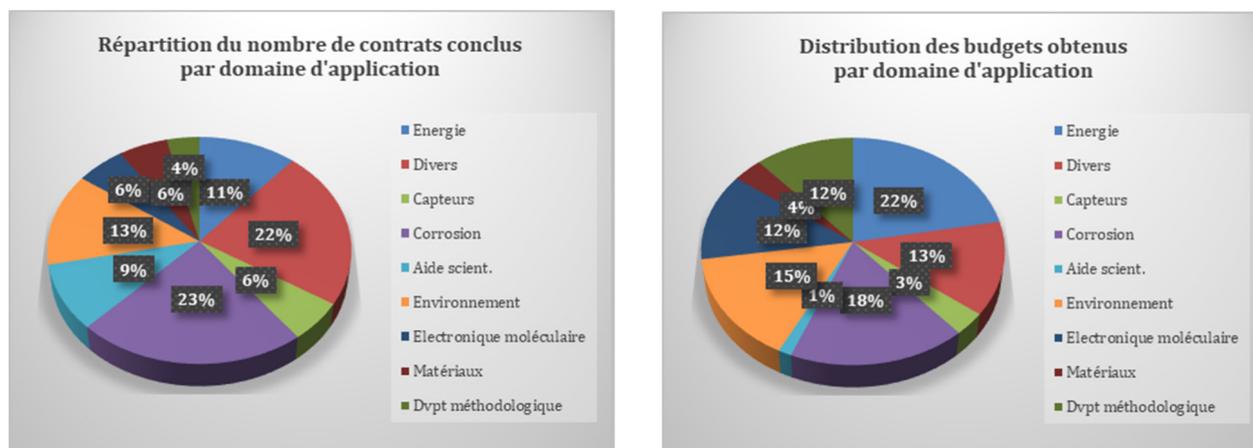
Cette attractivité du LISE vis-à-vis des différents partenaires s'explique d'une part, par sa visibilité et d'autre part, par la pertinence des orientations de recherches sélectionnées depuis de nombreuses années et ré-évaluées régulièrement au sein de l'unité. Cette attractivité repose également sur une expertise scientifique reconnue par le monde non-académique, et sur le développement d'instrumentation spécifique dans les domaines de l'électrochimie, comme le couplage de techniques (ex. impédance-QCM, AFM-électrochimie, Raman-champ proche-électrochimie) et des procédés plasma. Le LISE est régulièrement contacté par des industriels afin de discuter de leurs problématiques de recherche et d'identifier les solutions ou les études que le LISE pourrait leur

proposer. Ces échanges conduisent le plus souvent à des contrats de collaboration de recherche, et plus rarement à d'autres types de partenariats (prestations de service : 6 % en nombre et 3 % du budget des contrats signés).

La décision d'établir un contrat de collaboration de recherche ou plus rarement de prestation de service est toujours prise en adéquation avec les activités de recherche du laboratoire et doit permettre d'appliquer des savoirs ou des savoir-faire développés ou maîtrisés au LISE (élaboration de matériaux spécifiques, diagnostics électrochimiques, etc...) à une problématique technologique, sociétale ou environnementale d'intérêt pour le LISE (corrosion des matériaux, énergie/stockage électrochimique, entartrage/biosalissures, etc...) tel que décrit dans le domaine précédent. En retour, ces collaborations avec les industriels permettent également d'approfondir nos connaissances et de faire évoluer nos différents moyens d'élaboration ou de caractérisation via les moyens financiers obtenus. Elles nous aident également à intégrer certaines contraintes du monde industriel (coût, performances, viabilité économique, développement durable) dans nos objectifs de recherche.

A)

B)



**Figure 15 :** A) Répartition en nombre des contrats conclus selon le domaine d'activité et B) répartition en budget correspondant.

Les graphes de la Figure 15 permettent d'identifier les principaux domaines de recherche dans lesquels s'inscrivent les activités du LISE. Une part importante de celles-ci s'inscrit parfaitement dans les défis sociétaux jugés majeurs au niveau mondial que sont la transition énergétique (stockage et conversion de l'énergie principalement, 11 % des contrats en nombre, 22 % en part du budget), la protection de l'environnement dans le cadre du traitement de l'eau (13% des contrats en nombre, 15 % en part du budget), ou les nouveaux matériaux (6 % en nombre, 4 % en part du budget). L'unité s'investit également dans le domaine de la durabilité des matériaux (23 % des contrats en nombre, 18 % en part du budget) qui demeure un point clé pour l'économie mondiale, et le développement de capteurs pour une meilleure maîtrise des procédés (6% des contrats en nombre, 3 % en part du budget). Afin de préserver ou de développer de nouveaux savoirs et savoir-faire spécifiques, l'unité s'investit beaucoup dans le développement méthodologique en électrochimie (4 % des contrats en nombre et 12 % en part du budget) et l'étude de systèmes moléculaires complexes (6 % des contrats en nombre et 12 % en part du budget). Le LISE veille ainsi à maintenir un équilibre entre recherche fondamentale pure financée le plus souvent par des contrats ANR ou des organismes publics nationaux ou européens, et recherche appliquée développée le plus souvent en partenariat avec le secteur industriel. Il est important de noter qu'il n'existe pas de scission réelle entre ces deux types de recherche au sein du LISE car les développements méthodologiques et les objets nouveaux (systèmes moléculaires ou matériaux en couches minces) qui font aujourd'hui l'objet de recherches

fondamentales sont destinés le plus souvent à répondre à plus ou moins moyen terme aux types de problématiques qui nous sont fréquemment soumis par le milieu industriel.

Le LISE propose également une formation continue « Impédance Electrochimique » depuis plus de 20 ans qui s'adresse aux chercheurs, ingénieurs ou techniciens désirant se former à cette technique essentielle au suivi des processus électrochimiques. Cette formation théorique et pratique de 70 h, inédite en France, et divisée en 2 niveaux (débutant ou avancé) permet de s'adresser à un large public. Chaque année, elle accueille une dizaine de participants au maximum, soit plus de 300 participants depuis sa création. Les C/EC du laboratoire ont à cœur de la faire perdurer car elle contribue à entretenir et à créer des interactions privilégiées entre le LISE et le monde non-académique industriel, et elle demeure l'un des piliers du laboratoire en termes d'expertise.

### Référence 2. L'unité développe des produits à destination du monde culturel, économique et social.

Pour appliquer sa politique de valorisation de ses résultats, le LISE travaille en collaboration étroite avec le Service Partenariat et Valorisation du CNRS (DR02 Paris-Centre) en charge de la gestion de ses contrats, ainsi qu'avec la SATT-Lutech. Ainsi, sur la mandature 2017-2022, le LISE a déposé 9 brevets/enveloppe Soleau. Lorsqu'il est impliqué dans des discussions susceptibles de porter sur ses savoirs et ses savoir-faire les plus importants, le LISE se protège en faisant établir des NDA par le SPV de la DR02 et en les faisant signer par ses interlocuteurs en préambule de tout échange même succinct de connaissances sensibles. Lorsque le produit d'une opération de recherche (ou développement instrumental) est susceptible de faire l'objet d'un transfert de technologie (TT) vers une entreprise privée identifiée, une déclaration d'invention est déposée auprès du SPV afin de lui permettre de déléguer l'étude du projet de TT à la SATT Lutech. Une telle démarche a été initiée fin 2022 suite au développement d'un potentiostat haute puissance pour l'électrohydrogénation du CO<sub>2</sub> sous haute pression et haute température.

Lorsque le LISE souhaite porter à la connaissance du secteur industriel ceux de ses résultats de recherche qui peuvent les intéresser, il soumet des présentations orales ou par affiches dans des conférences très fréquentées par le secteur industriel (ex NACE devenu AMPP) ou bien il les publie dans des journaux destinés notamment au secteur industriel (exemple : « Corrosion NACE/AMPP »). Il lui arrive également de proposer des formations dans ce même type de conférences.

### Référence 3. L'unité partage ses connaissances avec le grand public et intervient dans des débats de société.

L'unité s'implique tous les ans, depuis 2017, sur **le village des sciences de Sorbonne Université à l'occasion de la Fête de la science**. Ainsi, grâce à un investissement très important des EC/C et des doctorants/post-doc, un stand intitulé « L'oxydo-réduction dans tous ses états » est proposé à tous les participants à partir de l'âge de 5 ans notamment des classes de primaire, collège ou lycée. Les thèmes abordés sont les processus spontanés d'oxydoréduction et leur utilisation dans la vie quotidienne, la corrosion et les moyens de s'en prémunir, les réactions forcées d'oxydoréduction, l'électrochromisme, les piles, le stockage de l'énergie. Ces thèmes sont illustrés par 14 expériences (miroir d'argent, bouteille bleue, pile Daniell, etc...) très visuelles permettant même aux plus jeunes d'appréhender l'oxydoréduction.

Forts de cette expérience, des membres de l'unité sont allés à la rencontre de classes d'écoles élémentaires inscrites dans le dispositif ULIS (Unité Localisée pour l'Inclusion Scolaire) afin de partager ses savoir-faire autour de l'électrochimie.

L'unité s'est également beaucoup impliquée dans le partage des connaissances autour de l'électrochimie via une chaîne Youtube ('le courant passe', cf Portfolio, Élément 8), animée par un EC du LISE, et affiliée à la Société Chimique de France et l'enregistrement de deux podcasts et un

Youtube live. Ces différentes opérations traduisent une volonté importante des personnels du LISE, permanents ou non, à faire connaître nos activités et à partager notre passion pour la recherche avec le grand public.



### Synthèse de l'autoévaluation

Forces	Faiblesses
Existence de liens pérennes avec les industriels Partenariats et consultances conventionnés (SPV CNRS)	Unité absente des réseaux sociaux
Formations continues proposées aux industriels (et académiques)	
Opportunités	Menaces
Contrats de collaboration privilégiés par rapport aux contrats de prestation	Difficultés d'établissement des NDA et des contrats de collaborations
Communications vers le grand public au travers de « Youtube »	Maintenance du site web du LISE
	Partenariats industriels à pérenniser

## 4- TRAJECTOIRE DE L'UNITÉ

### Dynamique et ambition de recherche :

Le LISE restera structuré en deux thèmes de recherche : **I - Durabilité des matériaux - Interfaces en milieu naturel/industriel** (corrosion/protection, «(bio)fouling», assemblage adhésif, (électro)remédiation, capteurs électrochimiques) et **II - Réactivité de matériaux fonctionnels - Dispositifs électrochimiques** (stockage, conversion, énergie, (photo)électrocatalyse, électronique moléculaire).

Ces deux thèmes correspondent aux domaines d'expertise de l'unité et la majorité des projets scientifiques du LISE seront en accord avec ces thèmes qui pour la plupart s'identifient à des sujets d'intérêts sociétaux.

Dans le domaine de **la durabilité des matériaux** s'inscrivant dans le thème I, de **nouvelles approches couplées** sont en cours de développement afin de caractériser la réactivité de différents matériaux au contact d'un électrolyte et de proposer des solutions pour remédier à la dégradation de ceux-ci à l'aide de films inhibiteurs. Dans ce cadre, un couplage inédit QCM-AFM-Mesures électrochimiques est en cours de développement en collaboration avec le groupe TotalEnergies et l'Université de l'Ohio (Prof. S. Netic). Il s'agira d'étudier la formation de films à base de composés azotés et le mécanisme de protection sur des aciers au carbone. Pour ce faire, un nouveau montage AFM spécifique a été financé en partie sur contrat par le groupe TotalEnergies, des moyens humains sont aussi impliqués dont 3 non permanents (2 thèses et 1 post-doctorant) et 4 permanents de l'unité (1 C, 1 EC et 2 PAR). Toujours dans ce domaine, un couplage ICP-EQCM (plasma à couplage inductif)

ou AESEC-EQCM (Atomic Emission SpectroElectroChemistry) est en cours de développement grâce à une ANR JCJC QUEENE (Quantitative analysis during surface pretreatment by coupling in situ elementally resolved electrochemistry and electrogravimetry) et un projet TREMLIN-SU (surface layer formation and its reactivity during different surface pretreatment procedures using a novel coupling between elementally resolved electrochemistry and electrogravimetry). Il s'agira de développer l'analyse quantitative des éléments libérés lors de la corrosion de matériaux recouverts d'un film protecteur. En effet les mécanismes de formation de ce dernier ou de protection ne sont pas toujours bien compris en raison de la complexité (électro)chimique des systèmes mis en jeu. Il est à noter que cette étude est d'une grande importance car la formulation conventionnelle de la couche de protection implique le plus souvent du Cr(VI), élément interdit en Europe et dans le monde en raison de sa toxicité. Il est donc important de trouver des alternatives pour remplacer ces films protecteurs comme par exemple des hydroxydes doubles lamellaires (HDL) ou des films de  $ZrO_2$ . Ce projet implique 8 permanents du LISE (1 MCF, 1 C, 5 PAR et 1 émérite). Enfin, un autre couplage est envisagé entre l'AESEC et le bruit électrochimique, méthode très largement développée au LISE, afin de comprendre les mécanismes de corrosion d'aciers décarbonés siège de dégagements gazeux. Ainsi un projet de collaboration industriel sera élaboré en 2023-2024 avec la société Saint Gobain localisée à Cavaillon et il impliquera 1 EC, 1 PAR et 1 émérite du LISE.

**La durabilité des matériaux** nécessite également de développer et étudier **des procédés innovants de traitements de surface** contre la corrosion, c'est dans cette optique qu'un projet ANR PRCE pour la protection des métaux par procédé PLASMA a déjà été soumis et sera déposé à nouveau. Par ailleurs, une étude de la corrosion galvanique au sein de composites à matrice métallique (Al), en collaboration avec l'ICMCB (Institut de Chimie de la Matière Condensée de Bordeaux, UMR5026), sera entreprise et impliquera 2 C et 1 PAR de l'unité. Enfin, l'étude approfondie des mécanismes de dissolution de la plaque bipolaire pour les systèmes de type pile à combustible (PAC) est un point clé dans le développement durable de ces dispositifs. Le mécanisme de dissolution élémentaire des plaques bipolaires dans l'acide sulfurique sera étudié par l'AESEC pour comprendre les mécanismes de dégradation et aussi afin de proposer des conditions optimisées de fonctionnement comme la gamme de potentiel utile des PAC. Un projet ANR sera déposé en collaboration avec la société APERAM spécialisée dans l'acier inoxydable et les matériaux pour PAC. Plusieurs personnels de l'unité seront impliqués dont 2 EC et 1 C.

Toujours dans le domaine de **la durabilité des matériaux**, la compréhension des mécanismes de formation du carbonate de calcium ( $CaCO_3$  plus communément appelé tartre) sur acier représente un enjeu industriel majeur. Il s'agira d'étudier la précipitation de composés minéraux, majoritairement à base de carbonate de calcium, en présence d'un inhibiteur de tartre soit en solution, soit immobilisé au sein de films élaborés par des méthodes sol-gel et d'en évaluer les performances. Ce travail est mené en collaboration avec le LCMCP (Laboratoire de Chimie de la Matière Condensée de Paris, UMR 7574) et implique 1 EC du LCMCP, 1 EC et 1 C du LISE.

Dans le cadre **des interfaces en milieu naturel/industriel**, la mise au point de procédés de traitement d'eau de mer pour obtenir de l'eau douce est un challenge majeur et d'actualité. Il s'agira de concevoir et de développer des matériaux innovants, pour cette application, capables de récupérer les ions en solution par électrosorption. Ce procédé de dessalement se rapproche fortement des dispositifs de stockage électrochimique de type supercondensateur. En effet, différents matériaux ont été élaborés et étudiés au sein de l'unité comme des HDL ou des oxydes de graphène réduits. Les différents mécanismes électrochimiques associés au stockage ont été examinés par des méthodes d'EQCM avancées et de mesures SAXS couplées. Il s'agira de reprendre la même approche scientifique mais avec une finalité différente par rapport à celle du stockage de

charge. L'unité va déposer des projets auprès de différents organismes (AAP de SU via les Instituts, ANR...). En interne, ce projet sera mené conjointement par 2 EC et 2 C du LISE.

En rapport avec **l'électroremédiation appliquée aux milieux naturels**, plusieurs projets et collaborations faisant appel à **l'électrocatalyse** sont en cours. L'un d'entre eux porte sur la mesure et le contrôle du pH local à la surface du catalyseur qui doit permettre de moduler la sélectivité des produits formés lors des réactions de réduction du CO<sub>2</sub> et des ions nitrate. Dans ce cadre, le projet ANR pHSELECT (2022-2026) en collaboration avec les laboratoires parisiens ITODYS (UMR 7086, Université Paris Cité) et LPPI (EA 2528, Cergy Paris Université), ainsi que le projet PHC BALATON (2022-2023) en collaboration avec l'Université de Pecs (Hongrie) vont permettre de mettre au point une mesure potentiométrique du pH local par microscopie électrochimique à balayage (SECM). Une autre approche en développement au LISE est basée sur l'immobilisation de molécules organiques type liquides ioniques à la surface des électrodes pour créer des interfaces hybrides. Cette méthodologie a été développée et appliquée avec succès à la réduction du CO<sub>2</sub> pendant la thèse d'E. Vichou (2018-2021) en collaboration avec le Collège de France. Cette approche sera étendue à d'autres types de réactions comme la réduction des ions nitrate et l'oxydation de l'urée. Dans ce cadre, les projets PEPS Cellule Energie du CNRS et FACE Foundation en collaboration avec l'Arizona State University (ASU) sont en cours. Enfin, d'autres matériaux comme les nitrures de carbone amorphes seront évalués pour la réduction électrochimique des ions nitrate.

Dans le cadre du thème II, les activités de recherche liées à **la réactivité de matériaux fonctionnels** porteront notamment sur l'étude approfondie des matériaux dédiés **au stockage électrochimique de l'énergie** qui reste encore un challenge majeur d'intérêt sociétal.

Deux projets ANR PRC sont en cours sur ce sujet : ANR SPICS et ANR MOVEYOURION. Elles impliquent différents laboratoires comme PHENIX (SU), le laboratoire CSE (Collège de France), un laboratoire de Toulouse (CIRIMAT UMR CNRS 5085) et un laboratoire du CEA Grenoble (SyMMES)

Deux projets ANR sur la thématique du stockage électrochimique sont en phase II d'évaluation : un PRC (ASYA) avec le LCMCP de SU et le CEMTHI d'Orléans et un PRCE (DEEPSSENS) avec le CSE (Collège de France) et la société Biologics.

Une thèse dans le cadre de l'ED388 a débuté sur la mise au point de matériaux d'électrodes pour supercondensateur : d'une part, à base d'un composite rGO/POM et d'autre part, à base de MXènes obtenus par voie électrochimique à partir de phase MAX. Une autre thèse est en cours sur le développement de matériaux composites pour le stockage électrochimique de l'énergie à partir de nanotubes de carbone (CNTs) fonctionnalisés avec de l'EDOT et immobilisés dans une matrice PEDOT. Il s'agit de remplacer le liant de type polymère non conducteur (PVDF-HFP) par un matériau électroactif comme le PEDOT. D'autres matériaux polymères seront élaborés par électropolymérisation d'objets moléculaires organométalliques électro-commutables. La caractérisation des processus électrochimiques mis en jeu à l'interface matériau en couche mince/électrolyte sera menée avec des outils électrochimiques poussés (EQCM, EIS). Une thèse financée par l'ED388, débutant en septembre 2023, permettra de démarrer ce sujet de recherche. Il impliquera 2 EC et 1 C de l'unité. Ces matériaux seront ensuite appliqués au développement de **dispositifs électrochimiques** tels que des (micro)pseudocondensateurs ou des jonctions moléculaires memristives efficaces et robustes.

Un grand nombre de **matériaux fonctionnels** de type semi-conducteur peut être employé dans les domaines de **la photoélectrocatalyse et du photovoltaïque**. Le LISE tirera partie de son expertise dans l'élaboration de matériaux semi-conducteurs en couches minces par électrochimie (oxydes de métaux de transition, pérovskites) ou par voie plasma (pulvérisation réactive magnétron). Cette dernière voie sera largement exploitée au cours de ces prochaines années pour la synthèse d'oxydes de métaux de transition semi-conducteurs (TiO<sub>2</sub>, Cu<sub>2</sub>O, WO<sub>3</sub>) mais aussi de nitrures de carbone amorphes. L'évaluation rapide des performances électrocatalytiques nécessitent le

développement de nouvelles méthodologies de caractérisation électrochimique. Ainsi, la microscopie photoélectrochimique à balayage (SPECM) permet d'évaluer simultanément et de façon locale l'activité et la sélectivité de différents matériaux semi-conducteurs à l'aide d'une double pointe. Cette approche a été appliquée avec succès à l'évaluation de différents matériaux de photocathode pour la réduction du CO<sub>2</sub> en vue de sa valorisation dans le domaine de l'énergie. L'intérêt sociétal actuel porté sur **la production d'hydrogène décarboné** va orienter les prochains projets soumis vers l'application de la SPECM à l'identification de nouvelles photocathodes plus actives et plus stables pour la production d'H<sub>2</sub>. Dans un autre volet de nos activités, des couches minces constituées de matériaux semi-conducteurs cités précédemment seront associées entre elles pour développer de nouvelles jonctions de semi-conducteurs appliquées au développement de **cellules photovoltaïques originales**. La caractérisation de ces couches minces de semi-conducteurs fera intervenir des techniques électrochimiques non conventionnelles mais aussi des modes de fonctionnement de l'AFM qui sont spécifiques des semi-conducteurs. Cet axe impliquera 2 EC, 1 C et 1 émérite de l'unité et une collaboration avec le LPPI de Cergy Paris Université.

### Organisation et vie du laboratoire :

Suite au départ de plusieurs C/EC de l'unité au cours de cette mandature, le laboratoire se doit d'avoir une stratégie volontaire afin d'augmenter/renouveler ses effectifs aussi bien au niveau des C/EC que des PAR. Une réflexion à ce sujet est menée au sein du CS et discutée en amont entre le DU, la DUA et les 3 animateurs de thème.

Trois possibilités s'offrent dans le cadre de l'organisation de l'unité :

**i)** Le laboratoire est renouvelé à l'identique. Dans ce cas, il est envisagé de recruter au minimum un EC et un C sur la prochaine mandature. Cette année, notre demande de poste MCF sur le sujet « Matériaux à propriétés (photo)électrocatalytiques synthétisés par voie plasma » est placée en première position au niveau de la FCMAT de SU (section 31 et/ou 62). L'unité recherche activement un candidat CRCN ou DR externe susceptible d'apporter une contribution innovante et complémentaire aux activités de recherche du laboratoire. Enfin, le LISE reste un pôle d'attraction en électrochimie et espère pouvoir intégrer par mutation des chercheurs franciliens experts en électrochimie. Au niveau des PAR, suite au départ probable de trois PAR (deux gestionnaires et une documentaliste) lors du prochain mandat, l'unité espère pouvoir recruter au minimum un(e) gestionnaire administratif(ve). En cas de difficulté pour réaliser ce recrutement, le LISE est disposé à mutualiser ce poste avec une autre entité de SU. Il est à noter que deux PAR sont déjà mutualisés entre le LISE et d'autres unités de SU (PHENIX et LCPMR pour l'informatique et IMPMC pour le MEB).

**ii)** Une autre alternative serait une association avec un laboratoire hors Sorbonne Université. Sur la base d'une excellente complémentarité scientifique, concrétisée par des projets communs (ANR, AAP Emergence Cergy Paris Université) et des participations croisées à des jurys de thèse, des discussions ont eu lieu entre le LISE et le LPPI (Laboratoire de Physicochimie des Polymères et des Interfaces) de Cergy Paris Université. Elles ont démontré une volonté de mener à bien cette association d'autant plus qu'il existe déjà une telle association entre des unités de SU et de Cergy Paris Université (LERMA).

**iii)** Enfin, des discussions informelles avec des unités de l'UFR de chimie de Sorbonne Université (MONARIS) ont été initiées sans permettre de dégager pour l'instant des perspectives évidentes. D'autres laboratoires ont également été approchés mais n'ont pas donné suite pour le moment. Ce type d'association devra se faire dans la concertation et avec une échelle de temps raisonnable.

### Historique scientifique :

L'unité mène des travaux en Électrochimie dans le contexte de la Physico-Chimie et de la Réactivité aux interfaces depuis sa création dans les années 1960. Les domaines concernés sont la corrosion et son inhibition, les traitements de surface auxquels se sont progressivement ajoutés, le stockage et la conversion de l'énergie sous divers aspects, des problématiques d'électrochimie et d'électronique moléculaires, d'autres relevant du domaine biologique, de la protection du patrimoine et plus généralement des thématiques liées au comportement des interfaces dans les milieux naturels et enfin, plus récemment le domaine de la (photo)électrocatalyse. Ceci explique que le laboratoire se positionne à la charnière entre la recherche fondamentale, sa mission première, et des activités en partenariat avec différents secteurs économiques concernés par la mise en œuvre de concepts, de techniques et de procédés électrochimiques.

La maîtrise et le développement de méthodes de caractérisation originales restent un axe fort du LISE pour étudier la cinétique de phénomènes électrochimiques complexes. Les compétences du LISE sont reconnues dans le monde entier dans le domaine des mesures d'impédance électrochimique, globale et/ou locale, et la définition de fonctions de transfert multiples (électriques, gravimétriques, flux de matière,...). Plus récemment, le laboratoire a renforcé ses compétences dans le domaine de l'élaboration de matériaux fonctionnels par voie électrochimique ou Plasma.