

RAPPORT D'ÉVALUATION DE L'UNITÉ  
CSE - Chimie du solide et de l'énergie

SOUS TUTELLE DES ÉTABLISSEMENTS ET  
ORGANISMES :

Collège de France - Membre associé de  
l'Université PSL

Sorbonne Université

Centre national de la recherche scientifique -  
CNRS

---

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

Rapport publié le 26/02/2024



Au nom du comité d'experts<sup>1</sup> :

Maryline Guilloux-Viry, présidente du comité

Pour le Hcéres<sup>2</sup> :

Stéphane Le Bouler, président par intérim

En application des articles R. 114-15 et R. 114-10 du code de la recherche, les rapports d'évaluation établis par les comités d'experts sont signés par les présidents de ces comités et contresignés par le président du Hcéres.

Pour faciliter la lecture du document, les noms employés dans ce rapport pour désigner des fonctions, des métiers ou des responsabilités (expert, chercheur, enseignant-chercheur, professeur, maître de conférences, ingénieur, technicien, directeur, doctorant, etc.) le sont au sens générique et ont une valeur neutre.

Ce rapport est le résultat de l'évaluation du comité d'experts dont la composition est précisée ci-dessous. Les appréciations qu'il contient sont l'expression de la délibération indépendante et collégiale de ce comité. Les données chiffrées de ce rapport sont les données certifiées exactes extraites des fichiers déposés par la tutelle au nom de l'unité.

## MEMBRES DU COMITÉ D'EXPERTS

**Présidente :** Mme Maryline Guilloux-Viry, Université de Rennes (représentante du CoNRS)

**Experts :** M. Hubert Girault, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Suisse  
M. Philippe Guionneau, Université de Bordeaux (représentant du CNU)  
M. Olivier Proux, CNRS Grenoble

## REPRÉSENTANTE DU HCÉRES

Mme Corinne Champeaux

## REPRÉSENTANTS DES ÉTABLISSEMENTS ET ORGANISMES TUTELLES DE L'UNITÉ DE RECHERCHE

M. Philippe Agard, Sorbonne Université (FSI)  
Mme Françoise Combes, Collège de France  
Mme Franques-Hug, Collège de France  
M. Alexandre Legris, CNRS

## CARACTÉRISATION DE L'UNITÉ

- Nom : Chimie du solide et de l'énergie
- Acronyme : CSE
- Label et numéro : UMR 8260
- Composition de l'équipe de direction : M. Jean-Marie Tarascon

## PANELS SCIENTIFIQUES DE L'UNITÉ

ST Sciences et technologies  
ST4 Chimie

## THÉMATIQUES DE L'UNITÉ

Organisée en une équipe, l'unité Chimie du Solide et de l'Énergie (CSE) comprend une trentaine de personnes dont six personnels permanents (deux chargées de recherche CNRS, l'une en section 15 du CoNRS, à laquelle l'unité est rattachée et l'autre en section 14, deux professeurs dont le directeur membre du Collège de France (CdF) et une professeur de Sorbonne Université (SU) en section CNU 28, section de rattachement de l'unité, un ingénieur de recherche CNRS en BAP B et ½ personnel CdF en BAP J). Les non permanents sont pour 1/3 environ des post-doctorants, 2/3 des doctorants, auquel s'ajoute un ingénieur de recherche CdF en CDD.

L'unité CSE se caractérise par une thématique de recherche principale « stockage et conversion d'énergie » qui se décline dans de nombreux projets, sous des aspects fondamentaux et appliqués, avec l'objectif principal d'apporter des solutions innovantes dans le domaine des batteries.

Les problématiques scientifiques couvrent les différents volets des sciences des matériaux : synthèse, caractérisations et compréhension des phénomènes d'interfaces.

Elles sont structurées en quatre axes : (i) nouveaux matériaux d'électrodes et électrolytes et éco-compatibilité de leur synthèse ; (ii) développement et amélioration des batteries du point de vue de la chimie et de leur technologie ; (iii) contrôle des réactions parasites aux interfaces ; (iv) développement de nouveaux outils d'analyse, essentiellement capteurs optiques, pour assurer un suivi diagnostique des batteries.

## HISTORIQUE ET LOCALISATION GÉOGRAPHIQUE DE L'UNITÉ

L'unité de Chimie du Solide et de l'Énergie est localisée sur un seul site géographique, au Collège de France (CdF). Elle a été créée en 2013, avec la nomination de Jean-Marie Tarascon titulaire de la chaire Chimie du Solide et Énergie. Associée au CNRS tout d'abord en Formation de Recherche en Évolution (FRE 3677) en 2014, le CSE devient début 2016 Unité Mixte de Recherche (UMR 8260) du CdF et du CNRS. L'unité relève également des universités Sorbonne Université (par l'UFR de Chimie) et Paris Sciences & Lettres (PSL).

L'unité CSE est fondée sur la chaire occupée par son directeur au CdF, ce qui lui confère un caractère particulier dans le paysage national des unités mixtes de recherche.

## ENVIRONNEMENT DE RECHERCHE DE L'UNITÉ

L'unité de Chimie du Solide et Énergie (CSE) fait partie de l'institut de chimie du Collège de France qui comprend deux unités, les laboratoires CSE et LCPB (Laboratoire de Chimie des Procédés Biologiques, dirigé par le professeur Marc Fontecave). L'unité est affiliée à l'école doctorale chimie et physique des matériaux-Sorbonne Université.

Au niveau régional, l'unité est impliquée dans le réseau Île-de-France DIM Respore (Domaine d'Intérêt Majeur sur les solides poreux), dont un membre de l'unité assurait la co-coordination. Renouvelée dans le cadre du DRIM « MaTerRE » (Advanced Materials Eco-friendly), l'unité fait partie du réseau national RS2E sur le stockage électrochimique de l'énergie, créé en 2011 par le ministère de l'Enseignement supérieur et de la recherche et le CNRS, et dirigé par le directeur du CSE. Elle est impliquée dans le Labex Storex II qui prendra fin en décembre 2025.

L'unité est également impliquée dans le PEPR d'accélération Batteries, « Soutenir l'innovation pour développer les futures générations de batteries », copiloté par le CNRS et le CEA, qui a été lancé en janvier 2023, dans le cadre du plan « France 2030 ».

Outre des équipements scientifiques internes au CSE, l'unité bénéficie des infrastructures mutualisées au sein du CdF, en particulier l'atelier de mécanique, le service informatique, le service de valorisation de la recherche et

le pôle hygiène et sécurité. Elle a également accès à un équipement de RMN à l'état liquide de l'institut de chimie du CdF (dans l'unité LCPB).

Le CSE accède également aux équipements des plateformes analytiques du RS2E, de Sorbonne Université, ainsi qu'aux grands instruments nationaux et à des infrastructures spécifiques dans le cadre de collaborations internationales.

## EFFECTIFS DE L'UNITÉ : en personnes physiques au 31/12/2022

Catégories de personnel	Effectifs
Professeurs et assimilés	2
Maitres de conférences et assimilés	0
Directeurs de recherche et assimilés	0
Chargés de recherche et assimilés	3
Personnels d'appui à la recherche	3
<b>Sous-total personnels permanents en activité</b>	<b>8</b>
Enseignants-chercheurs et chercheurs non permanents et assimilés	0
Personnels d'appui non permanents	2
Post-doctorants	7
Doctorants	16
<b>Sous-total personnels non permanents en activité</b>	<b>25</b>
<b>Total personnels</b>	<b>33</b>

## RÉPARTITION DES PERMANENTS DE L'UNITÉ PAR EMPLOYEUR : en personnes physiques au 31/12/2022. Les employeurs non tutelles sont regroupés sous l'intitulé « autres ».

Nom de l'employeur	EC	C	PAR
CNRS	0	3	1
Coll de France	1	0	2
Sorbonne Université	1	0	0
<b>Total personnels</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>3</b>

## AVIS GLOBAL

L'unité de Chimie du Solide et de l'Énergie (CSE) se singularise par son positionnement au Collège de France associé à la chaire éponyme dont est titulaire son directeur et fondateur.

L'unité est resserrée autour de cinq personnels scientifiques permanents, dont deux professeurs, deux chargés de recherche, un ingénieur de recherche CNRS et un ingénieur de recherche en CDD. Le fonctionnement de l'unité est articulé autour de nombreux projets auxquels sont associés en moyenne plus de vingt non permanents, doctorants (2/3) et post-doctorants (1/3).

Cette unité se caractérise par son excellence scientifique et son rayonnement exceptionnel.

Ses activités de recherche, centrées dans le domaine du stockage électrique de l'énergie, sont déclinées suivant quatre axes : (i) nouveaux matériaux d'électrodes et électrolytes et éco-compatibilité ; (ii) développement et amélioration des batteries du point de vue de la chimie et de leur technologie ; (iii) contrôle des réactions parasites aux interfaces ; (iv) développement de nouveaux outils d'analyse, essentiellement capteurs optiques, pour assurer un suivi operando des batteries.

La synthèse originale de nouveaux matériaux et la compréhension de l'ensemble des mécanismes liés au fonctionnement des batteries, au regard de leur composition et de leur structure sont autant de points forts de l'unité au même plan que les objectifs d'innovation qui sont associés avec un équilibre remarquable.

L'ensemble de ces travaux a conduit, au cours de la période de référence, à une production scientifique exceptionnelle, comprenant plus de 200 articles parus dans des revues de large audience pour la plupart, vingt-trois brevets déposés et plus d'une soixantaine de conférences invitées.

L'analyse operando de la chimie associée à la vie des batteries est un des résultats remarquables faisant l'objet d'articles de haut niveau tels que « Unlocking cell chemistry evolution with operando fibre optic infrared spectroscopy in commercial Na(Li)-ion batteries » dans *Nature Chemistry* (2022), ainsi que d'une large communication dans la communauté scientifique et auprès du grand public.

L'unité s'impose par son leadership national et international, comme en attestent le pilotage du réseau RS2E, son implication majeure dans le Labex Storex II et le PEPR Batteries, ainsi que dans la définition de l'initiative européenne Batteries 2030+.

L'unité est à l'origine d'actions remarquables auprès de la société. On peut souligner la création de la start-up Tiamat, avec cession de licences de brevets et la commercialisation grand public d'appareils équipés de batteries au sodium, ainsi que celle de la start-up Sphere Energy qui développe des instruments de tests de batteries.

L'action pluridisciplinaire « Avenir Commun Durable », associant des professeurs du Collège de France à la rencontre de la société et du grand public dans plusieurs régions françaises à l'initiative du directeur de l'unité CSE, est à souligner.

L'organisation de l'unité, basée au premier ordre sur les compétences scientifiques, lui assure une très grande efficacité et une agilité remarquable dans son fonctionnement. Il en émane une forte cohésion, une capacité exceptionnelle de réussite aux appels à projets et un grand dynamisme.

Avec un budget de près de 1 M€/an, l'unité dispose de ressources instrumentales et financières importantes, contribuant, avec son fort rayonnement scientifique et le prestige d'une chaire au Collège de France, à sa forte attractivité (près de 60 % de non permanents internationaux).

L'unité a accès à un parc d'équipements de haute qualité en interne et à de nombreuses plateformes dans les réseaux régionaux, nationaux et internationaux qui constituent son environnement de recherche.

La formation et le fonctionnement liés aux équipements en interne à l'unité reposent sur l'investissement personnel de chacun, permanents et non permanents. Dans ce cadre, un axe d'amélioration concerne les aspects formation et prévention-sécurité des non permanents, en leur proposant des formations scientifiques disciplinaires complémentaires, indispensables au cours de la thèse.

L'unité de Chimie du Solide et Énergie, dont le niveau des activités est exceptionnel, soulève de façon plus générale la question de l'articulation entre recherche sur projets à un niveau d'excellence, menée dans un continuum depuis les aspects scientifiques les plus fondamentaux jusqu'aux succès en innovation, avec une structuration ad hoc.

# ÉVALUATION DÉTAILLÉE DE L'UNITÉ

## A - PRISE EN COMPTE DES RECOMMANDATIONS DU PRÉCÉDENT RAPPORT

La principale recommandation du précédent rapport mentionnait que « *Compte tenu du nombre limité de permanents, le comité recommande que le nombre de projets de recherche soit limité, en privilégiant ceux du labex Store-EX pour appuyer sa prolongation et ainsi faciliter la pérennisation de la structure* ».

Le succès des nouveaux développements scientifiques, ainsi que le renouvellement du labex Store-EX en Store-EX II jusqu'en 2025, l'implication forte de l'unité dans le réseau RS2E coordonné par un membre de l'unité, et la création du PEPR Batteries confortent les projets de recherche de l'unité et ses initiatives scientifiques, malgré son nombre limité de permanents.

## B - DOMAINES D'ÉVALUATION

### DOMAINE 1 : PROFIL, RESSOURCES ET ORGANISATION DE L'UNITÉ

#### Appréciation sur les objectifs scientifiques de l'unité

Les objectifs scientifiques de l'unité s'inscrivent dans les défis sociétaux majeurs liés à la transition énergétique et écologique. Les objectifs de performances pour le stockage électrique de l'énergie avec la mise au point de nouvelles formulations de matériaux, intégrant la dimension de durabilité, la gestion des ressources et l'écocompatibilité sont ambitieux dans le contexte international extrêmement compétitif. L'unité se donne les moyens de les atteindre par une organisation et un fonctionnement adaptés, basés sur les compétences et les exigences scientifiques requises en matière de développement de connaissances et d'innovations à un niveau d'excellence.

#### Appréciation sur les ressources de l'unité

L'unité a accès à toute une gamme d'outils de synthèse de nouveaux matériaux, de caractérisation structurale de ces mêmes matériaux et de caractérisation électrochimique des piles et accumulateurs. L'unité démontre une excellente aptitude à obtenir des ressources financières, notamment grâce à son succès aux appels à projets nationaux et européens et à une forte activité contractuelle avec des partenaires industriels. Ces projets financés associent des ressources humaines nombreuses en doctorants et post-doctorants.

#### Appréciation sur le fonctionnement de l'unité

L'unité montre une très bonne efficacité dans la mise en œuvre de ses travaux de recherche. Son organisation et son fonctionnement, basés sur les compétences et les exigences scientifiques requises en matière de développement de connaissances et d'innovations à un niveau d'excellence, semblent adaptés au regard de la qualité des résultats obtenus.

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

#### Points forts et possibilités liées au contexte

Les objectifs de l'unité se déclinent en trois points principaux, sur lesquels elle est positionnée au meilleur niveau mondial, à savoir synthétiser de nouveaux matériaux pour augmenter les performances des batteries lithium ion, développer des outils de caractérisation du fonctionnement des batteries pour améliorer leurs usages et étudier de façon plus fondamentale les interfaces électrochimiques et l'électrocatalyse.

Ils s'inscrivent pleinement dans une recherche de réponses à des défis sociétaux majeurs associés aux transitions énergétiques et écologiques, avec des objectifs de performances des batteries pour le stockage de l'énergie électrique, en prenant en compte la soutenabilité en matière de ressources en matériaux et l'impact écologique des procédés de synthèse.

L'unité se positionne clairement dans le contexte national et international hautement compétitif, par son rôle majeur dans les réseaux nationaux et dans la définition de la feuille de route scientifique européenne du programme Batteries 2030+.

L'organisation interne de l'unité repose sur les expertises scientifiques complémentaires de ses chercheurs et enseignants-chercheurs en impliquant dans les échanges scientifiques les doctorants et post-doctorants, qui sont de quatre à cinq fois plus nombreux que les personnels permanents. Des séminaires scientifiques de discussion et de réflexion ont lieu très régulièrement, en plus des échanges informels quotidiens facilités par la taille limitée de l'unité. Il en ressort un dynamisme à la hauteur des nombreux projets et une agilité de fonctionnement qui permet de les mettre en œuvre.

## Points faibles et risques liés au contexte

Le risque majeur de l'unité menaçant son ambition scientifique est d'être dépassée par le développement rapide des batteries « solid state » pour véhicules électriques dans les pays asiatiques et aux États-Unis. Ce risque est lié au contexte extrêmement compétitif et à la difficulté de maintenir des moyens adaptés au meilleur niveau auquel se situe actuellement l'unité. En particulier, le départ de chercheurs au cours des années passées, certes compensé en nombre par des arrivées, fragilise le fonctionnement de l'unité dans ce contexte international, en apportant des incertitudes sur son socle de compétences.

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

## Points forts et possibilités liées au contexte

L'unité a accès en interne au laboratoire à un parc d'équipements utilisés au quotidien, auquel s'ajoute un spectromètre RMN à l'état liquide positionné dans la seconde unité de l'institut de chimie du CdF. L'unité a également accès en externe à de très nombreux appareillages, grâce à son positionnement unique au cœur de réseaux aux niveaux régional et national, à travers des collaborations internationales et l'accès régulier à de grandes infrastructures de recherche (sources synchrotron et de neutrons). Le CSE a ainsi à disposition tous les outils de caractérisation nécessaires à ses travaux. Le flux des expérimentations est fluide, autant que nécessaire au bon déroulement des projets.

L'unité a une capacité exceptionnelle de ressourcements financiers grâce à une stratégie très efficace de réponses aux appels à projets et à un nombre important de contrats industriels, qui contribuent à près de 90 % de son budget. L'unité mène une politique très dynamique auprès de l'Europe (une bourse de l'ERC advanced grant, sept contrats européens), au niveau national public (quatre projets soutenus par l'ANR et des financements du Labex Storex), au niveau local (5 projets soutenus par le programme DIM Respire). Ceci se traduit par un budget d'environ cinq millions d'euros pour la période de 2017 à 2022.

## Points faibles et risques liés au contexte

Au regard à la fois du large panel de ressources techniques auxquelles l'unité a accès et du nombre important de financements obtenus, il n'apparaît pas de point faible sur ce poste.

### *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.*

## Points forts et possibilités liées au contexte

L'organisation de l'unité en une équipe, basée sur l'identification des compétences propres et complémentaires des permanents, facilite la gestion interne des ressources humaines.

La parité de genre est respectée, avec un nombre de femmes majoritaires parmi les permanents, tous corps confondus, et à l'inverse des non permanents majoritairement masculins, ce rapport fluctuant au gré des recrutements.

La promotion d'une maître de conférences vers le corps des professeurs marque la période. L'habilitation à diriger des recherches (HDR) soutenue et une autre programmée permettront à l'unité de bénéficier de 100 % d'enseignants-chercheurs et chercheurs habilités.

Ceci contribuera probablement à équilibrer le nombre de directions ou de co-directions de thèses assurées jusqu'à présent majoritairement par le directeur de l'unité.

La formation des doctorants et des non permanents aux bonnes pratiques de laboratoire et à l'utilisation des équipements est assurée majoritairement par l'ingénieur de recherche permanent, avec l'aide des chercheurs et enseignants-chercheurs selon leur disponibilité. Les non permanents sont impliqués avec un permanent dans la responsabilité des équipements, ce qui est positif du point de vue de leur formation technique et de l'apprentissage des tâches collectives. Les personnes référentes sont identifiées pour chaque équipement, pour plus d'efficacité.

L'unité bénéficie des services mutualisés du Collège de France en matière de prévention et de sécurité, informatique, entretien des locaux, et aide au montage de projets.

Elle déploie de nombreuses collaborations nationales et internationales en soulignant l'importance de la rédaction des accords de consortium, en particulier de ce qui relève des savoir-faire, pour protéger son patrimoine scientifique.

### Points faibles et risques liés au contexte

Le nombre restreint de personnels permanents, extrêmement sollicités au regard du grand nombre de projets, et de non permanents, doctorants et post-doctorants essentiellement, soulève un point de vigilance sur la formation des non permanents à l'utilisation des différents équipements de synthèse et de caractérisations. Concernant l'aspect prévention et sécurité, l'unité ne dispose pas en interne d'un assistant de prévention et le faible nombre de personnels d'appui à la recherche (un ingénieur de recherche permanent et un ingénieur de recherche en CDD) complexifie la formation des non permanents aux bonnes pratiques de laboratoire.

Le Cdf organise une réunion d'accueil des nouveaux entrants qui semble porter essentiellement sur les aspects administratifs. Il n'existe pas de réunion d'accueil des nouveaux entrants associés à des formations sur les bonnes pratiques de prévention et sécurité en interne à l'unité.

La formation à l'utilisation des équipements aux nouveaux arrivants est assurée par les binômes chercheur/doctorant ou post-doctorant : ceci peut s'avérer très efficace dans l'usage de routine mais l'approfondissement scientifique à partir des données d'analyses, par exemple, nécessite des formations en mode plus expert. Celles-ci pourraient être assurées par une participation accrue à des formations scientifiques proposées par l'école doctorale, à des écoles thématiques, ou encore par l'accès à des formations à distance telles que des Mooc. Toutes ces possibilités permettraient de couvrir les besoins en formation en cours de thèse mais également d'accompagner les jeunes docteurs aux nouvelles technologies en support de la recherche, expérimentales et numériques.

Les pratiques du laboratoire en matière de gestion et stockage des données, que ce soit par exemple au niveau de la mise en œuvre d'un plan de gestion des données ou de la forme des cahiers de laboratoire (papier ou électronique) ne semblent pas clairement établies.

## DOMAINE 2 : ATTRACTIVITÉ

### Appréciation sur l'attractivité de l'unité

L'unité est sans aucun doute un pôle d'attraction international extrêmement visible pour la recherche sur les accumulateurs et plus largement sur les matériaux pour le stockage électrochimique de l'énergie.

Le caractère international de l'unité, qui compte environ 50 % de membres étrangers (Asie, Europe, USA) ainsi que le nombre important de partenariats nationaux et internationaux, tant académiques qu'industriels, reflètent cette attractivité de l'unité guidée par l'excellence de sa recherche, ses capacités remarquables d'innovations et la qualité de son environnement.

- 1/ *L'unité est attractive par son rayonnement scientifique et s'insère dans l'espace européen de la recherche.*
- 2/ *L'unité est attractive par la qualité de sa politique d'accompagnement des personnels.*
- 3/ *L'unité est attractive par la reconnaissance de ses succès à des appels à projets compétitifs.*
- 4/ *L'unité est attractive par la qualité de ses équipements et de ses compétences techniques.*

#### Points forts et possibilités liées au contexte pour les quatre références ci-dessus

L'unité est attractive par son rayonnement scientifique exceptionnel illustré sur le plan quantitatif et surtout sur le plan qualitatif par ses publications scientifiques (plus de 200) et ses conférences invitées (une soixantaine). L'unité se distingue par les divers prix et distinctions prestigieuses reçues par ses membres (médaille d'or CNRS 2022, médaille Lavoisier 2022, prix Balzan 2020, médaille de l'innovation CNRS 2017, médaille Galvani délivrée par la société italienne de chimie 2017, la nomination d'un membre IUF junior, etc.). La visibilité de l'unité est aussi renforcée par le prestige du Collège de France.

L'unité s'insère parfaitement dans l'espace européen, d'une part, par le succès à des appels à projets hautement compétitifs (European Research Council, Horizon Europe, etc.), d'autre part, par sa contribution majeure dans la construction du programme Batteries 2030+ et la rédaction d'appels d'offres associés.

Les collaborations internationales, en Europe et hors Europe, illustrent le positionnement attractif de l'unité.

Chaque nouveau membre non permanent est recruté après un séminaire auquel participent tous les personnels de l'unité. Les équipements sont sous la responsabilité d'un permanent et d'un ou deux non permanents. Les référents des équipements et les compétences scientifiques de chacun sont identifiés de façon à fluidifier le fonctionnement quotidien. Ce mode de fonctionnement, associé à des réunions scientifiques mensuelles, favorise le développement d'un collectif et d'un sentiment d'appartenance à l'unité.

Le succès de l'unité à des appels à projets compétitifs, aux niveaux régional, national et international, constitue un élément d'attractivité important. Les moyens financiers associés aux recrutements des doctorants et post-doctorants apportent des conditions de travail privilégiées.

Il en est de même de la qualité des équipements mis à disposition en interne dans l'unité, au sein du collège de France, de Sorbonne Université et de Paris Sciences et Lettres, et dans le réseau national RS2E, ou encore dans le cadre des collaborations internationales. La qualité des locaux et des services disponibles au Collège de France favorise l'accueil dans l'unité. Un accompagnement aux démarches administratives et notamment à la recherche de logement est apporté par le Collège de France.

L'investissement fort des personnels permanents, chercheurs, enseignants-chercheurs et personnels d'appui à la recherche, est essentiel en matière d'attractivité. La visibilité de l'unité est aussi marquée auprès des étudiants, futurs jeunes chercheurs, par des enseignements en master de physique et de chimie.

Le caractère international et dynamique de l'unité, dans les locaux du Collège de France, en fait un lieu particulièrement attractif pour des jeunes scientifiques talentueux.

L'excellence scientifique et la capacité importante d'innovation (23 brevets) sont sources d'attractivité des entreprises, ce qui se traduit par un nombre important de partenariats publics-privés.

#### Points faibles et risques liés au contexte pour les quatre références ci-dessus

L'activité extrêmement riche de l'unité repose sur un faible nombre de personnels permanents (deux enseignants-chercheurs, deux chercheurs, un ingénieur de recherche en BAP B, une gestionnaire BAP J partagée avec la seconde unité de l'institut de chimie du CdF et prochainement une nouvelle gestionnaire partagée). Les objectifs scientifiques sont soutenus par de nombreux projets financés, associant des ressources humaines et des moyens de fonctionnement. L'implication conjointe des non permanents (doctorants et post-doctorants, un seul ingénieur en CDD) et permanents dans tous les aspects du fonctionnement de l'unité est

incontournable. La difficulté d'assurer la continuité des compétences techniques et scientifiques est un risque important, d'autant plus que la mobilité des permanents est également forte (trois départs, quatre arrivées entre 2017 et 2023, sur un total de cinq).

Un seul personnel d'appui à la recherche permanent sur les aspects purement techniques est faible au regard de l'activité très riche de l'unité. La mobilité importante des personnels non permanents en charge d'équipements est un risque pour le maintien de l'expertise scientifique à la hauteur des attentes des activités de pointe de l'unité.

L'absence d'un assistant de prévention dans l'unité, ainsi que l'absence d'une réunion d'accueil propre à l'unité des nouveaux arrivants apportant une formation aux bonnes pratiques de laboratoire sont des points faibles qui, à terme, peuvent impacter l'attractivité de l'unité.

Le besoin de davantage de formations disciplinaires au cours de la thèse, dispensées, par exemple, par l'école doctorale ou des écoles thématiques, a été noté. Ne pas proposer suffisamment la possibilité de faire de telles formations s'avère un risque potentiel pour continuer à attirer de nouveaux doctorants en particulier.

La gestion de la propriété intellectuelle est déléguée au RS2E pour toutes les activités afférentes. Toutefois, en interne à l'unité, les conditions d'accueil liées aux critères de protection du patrimoine scientifique de l'unité ne sont pas clairement définies, ce qui est source de risque potentiel en matière d'attractivité.

### DOMAINE 3 : PRODUCTION SCIENTIFIQUE

#### Appréciation sur la production scientifique de l'unité

La production scientifique de l'unité est exceptionnelle. Avec plus de 200 publications dans des journaux de stature internationale, pour la plupart à très large audience, l'unité fait honneur à la recherche française. La présentation des résultats en conférences internationales, avec plus d'une soixantaine de conférences invitées, est également remarquable et s'inscrit dans une démarche d'ouverture des sciences.

- 1/ La production scientifique de l'unité satisfait à des critères de qualité.*
- 2/ La production scientifique de l'unité est proportionnée à son potentiel de recherche et correctement répartie entre ses personnels.*
- 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.*

Points forts et possibilités liées au contexte pour les trois références ci-dessus

Avec plus de 200 publications dans des journaux de stature internationale au cours de la période 2017-2022, l'unité est extrêmement productive. Le choix des journaux, le plus souvent à large audience, souligne l'exigence de l'unité en matière de politique de publications de ses résultats de recherche originaux. Il est à noter de nombreux articles publiés dans les revues du groupe Nature (29 dont Nat. Energy (8), Nat. Mat. (7), Nat. Comm (9), Nature Chem., etc.), dans Chem. Rev. (2), Adv. Energy Mater. (21), Chem. Mater. (26), ACS Energy Lett. (5), ACS Appl. Mater. Interfaces (5), Angew. Chem. Int. Ed. (4), JACS (2), etc. La reconnaissance indéniable par la communauté confirme la visibilité du travail de pointe réalisé et valide pleinement la pertinence de la stratégie de publications de l'unité.

Les doctorants et post-doctorants sont impliqués dans la rédaction des articles, qui leur ouvre l'accès aux conférences.

Une centaine de conférences marque également l'excellente stratégie de communication des résultats de recherche de l'unité.

Le fondateur et directeur de l'unité, titulaire de la chaire du Collège de France, est majoritairement signataire de l'ensemble des parutions. L'ensemble des personnels sont auteurs de publications, dont la répartition est globalement proportionnée au temps de présence dans l'unité au cours de la période de référence.

À titre d'exemples attestant la qualité de publication, on peut citer parmi les thématiques renforcées ou engagées au cours de la période : l'analyse et le suivi *operando* des réactions chimiques en temps réel dans les batteries en fonctionnement dans le contexte des batteries intelligentes et de l'augmentation de leur durée de vie (Nature Chemistry, 2022), les études de l'oxydo-réduction anionique dans des sulfures lamellaires riches en lithium (Nature Energy, 2019), les études de conception de batteries éco-compatibles comme les batteries au sodium avec une augmentation de la densité d'énergie (multipliée par 2 entre 2017 et 2023), ou celle de batteries tout solide (ACS Energy Lett., 2022).

L'unité est engagée dans le respect de l'intégrité scientifique, sur laquelle une conférence a été présentée par le référent intégrité du Collège de France. Une démarche collaborative de relecture des publications par plusieurs membres de l'unité est mise en œuvre dans cette direction.

Points faibles et risques liés au contexte pour les trois références ci-dessus

Au regard de la qualité de la production scientifique, il n'apparaît aucun point faible pour ce domaine.

## DOMAINE 4 : INSCRIPTION DES ACTIVITÉS DE RECHERCHE DANS LA SOCIÉTÉ

### Appréciation sur l'inscription des activités de recherche de l'unité dans la société

Le positionnement des activités de recherche de l'unité est excellent, tant sur le plan de ses partenariats avec le monde socio-économique, que sur celui de la dissémination de la science et des résultats de la recherche auprès de la société.

La stratégie de protection des résultats par brevets, leur valorisation avec concession de sept licences à des entreprises témoignent de l'excellente maîtrise de l'unité quant aux outils de valorisation et de dissémination de ses recherches. La dynamique exceptionnelle de l'unité a conduit à des avancées notables dans le domaine à enjeu socio-économique crucial et fortement compétitif des batteries avec la création de deux start-up, qui commercialisent les premières batteries sodium-ion et des instruments de tests.

- 1/ L'unité se distingue par la qualité et la quantité de ses interactions avec le monde non-académique.*
- 2/ L'unité développe des produits à destination du monde culturel, économique et social.*
- 3/ L'unité partage ses connaissances avec le grand public et intervient dans des débats de société.*

Points forts et possibilités liées au contexte pour les trois références ci-dessus

L'unité se distingue par des partenariats nombreux avec le monde socio-économique. Trois contrats sont associés à des conventions Cifre (Sodium, Renault, Blue Solutions), et une dizaine de contrats avec des entreprises (Renault, Saint-Gobain, Umicore, EDF, Bolloré, Bio-Logic) ont été conclus au cours de la période.

La politique d'innovation de CSE est très dynamique avec 23 brevets, qui concernent les activités phares actuelles de l'unité, que sont le développement des batteries au Lithium (4), des batteries sodium-ion (8), les batteries tout-solide, les problématiques d'interface (5) et les technologies de tests *operando* (4). À ceci, s'ajoute la création de deux start-up, Tiamat et Sphere Energy, auxquelles ont été cédées, respectivement, six et une licences, traduisant la maîtrise de l'unité à valoriser les résultats de sa recherche.

La commercialisation par Tiamat des premières batteries sodium-ion ainsi que d'instruments de tests de batteries par Sphere Energy marque de remarquables succès de l'unité.

Du fait des sujets abordés, à l'issue de leur thèse ou de leur post-doctorat, de nombreux jeunes chercheurs de l'unité sont recrutés dans des entreprises.

L'impact des recherches de l'unité se traduit par de nombreuses interventions dans les médias nationaux : journaux (Usine nouvelle, Magazine industries et technologies, Midi Libre, Ouest France, Les Échos, Techniques de l'Ingénieur, etc.), radio (France Info, France Culture, RFI).

L'unité est également particulièrement investie dans une action vers la société, au travers de l'initiative « Avenir Commun Durable Énergie / Environnement / Société » fondée par le directeur de l'unité avec une approche totalement pluridisciplinaire impliquant une douzaine de professeurs du collège de France. Il s'agit de partager la vision des scientifiques à travers des workshops et des colloques, avec la société, dans ce domaine sociétal majeur, le collège de France souhaitant se positionner sur la transition énergétique. Deux à trois évènements annuels sont organisés, avec un financement par mécénat et le soutien d'une chaire ouverte évoluant chaque année. Ces évènements, qui peuvent, par exemple, être l'occasion de lecture de rapports du GIEC, initialement organisés à Paris, le sont également dans différentes villes en région.

Points faibles et risques liés au contexte pour les trois références ci-dessus

Le comité n'a pas identifié de point faible dans ce domaine.

## ANALYSE DE LA TRAJECTOIRE DE L'UNITÉ

Les grandes lignes scientifiques proposées pour les cinq prochaines années sont issues d'une démarche argumentée de l'unité, en phase avec la feuille de route issue de l'initiative européenne Batterie 2030+, à laquelle contribue l'unité. En cohérence avec les activités et les compétences de l'unité, il s'agit de poursuivre le design de nouveaux matériaux pour accroître le stockage électrique de l'énergie, dans une démarche éco-compatible. Les objectifs sont clairement : (1) de travailler sur le recyclage des batteries à base de sodium ou de zinc ; (2) de développer de nouvelles stratégies de batteries tout solide et (3) des batteries, à base de zinc, rechargeables ; (4) de rendre plus durables les batteries grâce à une approche intelligente intégrant des capteurs de suivi operando et, de façon plus exploratoire ; (5) d'étudier les phénomènes ultra-rapides dans les mécanismes de transfert de charges.

Du point de vue des compétences, l'unité priorise le souhait de recrutement d'un chargé de recherche CNRS en section 13, sur la thématique des batteries intelligentes, avec l'identification d'une candidature potentielle qui possède des compétences sur le volet capteurs/analyses complémentaires à celles de l'unité, faisant défaut aujourd'hui.

Le financement déjà assuré pour les cinq années prochaines est remarquable d'anticipation pour valider la définition des objectifs scientifiques, dans le contexte notamment du PEPR Batteries et du programme européen Batteries 2030+.

L'association des compétences scientifiques complémentaires des membres de l'unité constitue une force de frappe indispensable au regard de la compétition internationale et des enjeux en matière de stockage de l'énergie.

Un leader est également indispensable pour animer ce collectif de haut niveau. Le départ à la retraite du directeur actuel en 2027 pose question sur l'avenir à long terme de l'unité.

## RECOMMANDATIONS À L'UNITÉ

### *Recommandations concernant le domaine 1 : Profil, ressources et organisation de l'unité*

Le comité recommande de définir une stratégie pour renforcer le potentiel d'appui à la recherche, ce qui permettrait un meilleur équilibre des tâches associées à l'utilisation des équipements scientifiques et une optimisation de l'utilisation des données, confortant la formation des doctorants et post-doctorants.

Du fait du départ du directeur d'unité dans les prochaines années, le comité encourage l'unité à veiller à maintenir son excellente dynamique à tous niveaux et à veiller à pérenniser ses forces en recherche tout en accompagnant ses personnels.

### *Recommandations concernant le domaine 2 : Attractivité*

L'unité bénéficie de la forte attractivité de son domaine d'activités, de la remarquable visibilité de ses résultats scientifiques ainsi que de son positionnement au Collège de France. Le comité recommande à l'unité d'organiser une réunion d'accueil des nouveaux entrants incluant une formation à la prévention et la sécurité, et aux bonnes pratiques de laboratoires en général, en plus de la présentation du fonctionnement interne de l'unité. Il l'encourage à proposer aux doctorants de participer à davantage de formations scientifiques, en lien avec leur activité de recherche.

### *Recommandations concernant le domaine 3 : Production scientifique*

Du fait de l'excellente qualité de la production actuelle, il semble difficile de formuler une recommandation, autre que de continuer sur la même trajectoire.

### *Recommandations concernant le domaine 4 : Inscription des activités de recherche dans la société*

La forte dynamique de valorisation et collaboration de l'unité vers le monde socio-économique et vers la société pour partager les enjeux liés aux transitions énergétiques et écologiques est à souligner. Le comité ne peut qu'inviter l'unité à poursuivre ces actions.

## DÉROULEMENT DES ENTRETIENS

### DATES

**Début :** 14 novembre 2023 à 10h15

**Fin :** 15 novembre 2023 à 11h00

**Entretiens réalisés en distanciel**

### PROGRAMME DES ENTRETIENS

#### Mardi 14 novembre 2023

- 10:15 - 10:45 Réunion du comité (huis clos)
- 10:50 - 11:20 Entretien avec les personnels d'appui à la recherche (tout statut)  
Sans DU, sans responsables
- 11:25 - 11:55 Entretien avec les doctorants, post-doctorants, contractuels  
Sans DU, sans responsables
- 12:00 - 12:30 Entretien avec les personnels chercheurs et enseignants-chercheurs (tout statut)  
Sans DU, sans responsables
- 12:30 - 14:40 Repas et réunion comité (huis clos)  
*Et/ou entretiens personnalisés sur demande préalable de rendez-vous*
- 14:45 - 14:55 Présentation du comité  
Ouvert à l'ensemble de CSE
- 14:55 - 16:00 Présentation du directeur d'unité - Jean-Marie Tarascon : bilan/vie/trajectoire : 30'  
Discussion : 35'  
Ouvert à l'ensemble de CSE
- 16:00 - 16:20 Pause
- 16:20 - 17:20 Faits marquants  
Présentations : 30' - Discussion : 30'  
Ouvert à l'ensemble de CSE
- 17:25 - 18:00 Réunion comité membres du comité + CS (huis clos)

#### Mercredi 15 novembre 2023

- 08:20 - 08:40 Réunion du comité (huis clos)
- 08:45 - 09:15 Entretien du comité avec les représentants des tutelles
- 09:15 - 09:35 Réunion du comité (huis clos)
- 09:40 - 10:10 Entretien du comité avec le directeur d'unité
- 10:10 - 11:00 Réunion du comité (huis clos)

## OBSERVATIONS GÉNÉRALES DES TUTELLES



**Arnaud Roffignon**

*Directeur général des services*

Paris, le 9 février 2024

Monsieur Eric Saint-Aman  
Directeur du Département de l'évaluation  
de la recherche - Hcéres  
2, rue Albert Einstein  
75013 Paris

Monsieur le Directeur,

Je fais suite au courriel en date du 23 janvier 2024, par lequel vos services ont sollicité les observations des tutelles sur le rapport d'évaluation DER-PUR250024558 - CSE - Chimie du solide et de l'énergie (CSE, UMR 8260).

Je vous prie de bien vouloir noter que le Collège de France n'a pas d'observation de portée générale à formuler. Je vous précise que le CNRS, qui assume la cotutelle de l'unité, a répondu par courriel à notre sollicitation, nous indiquant qu'il n'émettrait pas de réponse institutionnelle de type « observations de portée générale ». Enfin, Sorbonne Université, également cotutelle du laboratoire, ne nous a pas non plus fait part d'observations de cette nature.

Remerciant le comité pour l'intérêt porté au Laboratoire de chimie du solide et de l'énergie et les recommandations formulées, je vous prie de recevoir, Monsieur le Directeur, l'assurance de mes sentiments les meilleurs.

Arnaud Roffignon

Les rapports d'évaluation du Hcéres  
sont consultables en ligne : [www.hceres.fr](http://www.hceres.fr)

Évaluation des universités et des écoles

Évaluation des unités de recherche

Évaluation des formations

Évaluation des organismes nationaux de recherche

Évaluation et accréditation internationales



2 rue Albert Einstein  
75013 Paris, France  
T.33 (0)1 55 55 60 10

[hceres.fr](http://hceres.fr)

[@Hceres\\_](https://twitter.com/Hceres_)

[Hcéres](https://www.youtube.com/Hceres)

