



HAL
open science

DMP du projet "Electrolixiviation-Electrodépôt pour la valorisation des métaux précieux contenus dans les déchets d'équipements électriques/électroniques"

Sophie Legeai

► To cite this version:

Sophie Legeai. DMP du projet "Electrolixiviation-Electrodépôt pour la valorisation des métaux précieux contenus dans les déchets d'équipements électriques/électroniques" : Version intermédiaire. Université de Lorraine. 2023, pp.7. hal-04248012

HAL Id: hal-04248012

<https://hal.univ-lorraine.fr/hal-04248012>

Submitted on 18 Oct 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

DMP du projet "Electrolixiviation-Electrodépôt pour la valorisation des métaux précieux contenus dans les déchets d'équipements électriques/électroniques"

Plan de gestion de données créé à l'aide de DMP OPIDoR, basé sur le modèle "ANR - Modèle de PGD (français)" fourni par Agence nationale de la recherche (ANR).

Renseignements sur le plan

Titre du plan	DMP du projet "Electrolixiviation-Electrodépôt pour la valorisation des métaux précieux contenus dans les déchets d'équipements électriques/électroniques"
Version	Version intermédiaire
Domaines de recherche (selon classification de l'OCDE)	Chemical sciences
Langue	fra
Date de création	2019-10-10
Date de dernière modification	2023-03-06
Identifiant	3786

Renseignements sur le projet

Titre du projet	Electrolixiviation-Electrodépôt pour la valorisation des métaux précieux contenus dans les déchets d'équipements électriques/électroniques
Acronyme	EE4Precious
Résumé	<p>EE4Precious (Electroleaching-Electrodeposition For the recovery of Precious metals from waste electrical and electronic equipments) est un projet de recherche collaboratif impliquant 3 partenaires académiques (IJL, LRGP, CEA) et 1 industriel (TND) aux compétences complémentaires dans le domaine de la mine urbaine. La production de métaux précieux (MP : Au, Pt, Pd) à partir de ressources primaires/secondaires se fait actuellement via des procédés complexes d'extraction utilisant des agents corrosifs et dangereux, et générant des émissions gazeuses nocives. EE4Precious vise à développer une alternative chimique douce pour la récupération de ces métaux stratégiques dans des déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE) en particulier les cartes de circuits imprimés (PCB). D'une production croissante, les DEEE sont beaucoup plus riches en MP que les ressources primaires. Ils représentent un énorme potentiel économique et un atout environnemental pour la préservation des ressources. Comme démontré par le consortium, la séparation efficace des métaux peut être réalisée dans une cellule électrochimique, avec lixiviation anodique et dépôt de métal pur à la cathode (procédé EE). Pour les MP, les liquides ioniques (LI), des solvants coordinants et de grande stabilité électrochimique, peuvent remplacer efficacement les solutions aqueuses de complexants nocifs, comme le montre la récupération du Pt des piles à combustible usagées par EE dans un mélange de LI par l'IJL et le CEA. EE4Precious porte sur un déchet plus complexe, contenant des MP, issu du traitement des PCB mis au point par TND permettant d'éliminer les métaux de base et la matière organique. Le processus d'EE nécessitera</p>

une sélectivité optimale des deux réactions EE pour éviter la dégradation du LI et obtenir des MP purs. Pour cela, la composition du LI sera optimisée en corrélant l'étude des interactions des ions métalliques avec l'environnement LI et les mécanismes/la cinétique des processus d'électrode. Une cellule pilote sera ensuite conçue et testée en vue du développement industriel. Le projet, basé sur des aspects fondamentaux et appliqués, est organisé en 4 WP en plus de WP0 pour la gestion de projet et la communication. Tout d'abord, une approche de l'échelle macroscopique à l'échelle moléculaire permettra une compréhension approfondie du comportement des métaux dans l'environnement LI. Le WP1 couvre ainsi les propriétés macroscopiques des milieux LI (viscosité, conductivité...), l'étude des interactions à l'échelle moléculaire entre les espèces ioniques, et la spéciation des métaux, en utilisant des techniques analytiques et spectroscopiques avancées (SAXS, RMN-HOESY, EXAFS-XANES). L'inter-corrélation des trois sources de données conduira à des lois physiquement significatives pour les propriétés de la phase LI. La réactivité et la capacité de transport des espèces métalliques solvatées par le LI forment le WP2, visant à déterminer les mélanges de LI optimaux en terme de composition, et à caractériser le comportement électrochimique des systèmes (métal-LI), en corrélation avec les données issues du WP1. Tirant profit des deux sources de données ci-dessus, un modèle mathématique sera élaboré (WP3). Les aspects critiques du processus pourront ainsi être établis, et une cellule de laboratoire entièrement surveillée/pilotée sera conçue, comprenant une anode sacrificielle à lit compact contenant le déchet et une cathode plate pour la récupération des métaux. La méthodologie d'extraction des métaux sera définie pour une sélectivité et des rendements optimaux avec des mélanges synthétiques, puis avec le déchet réel préparé en WP4. La viabilité de EE4Precious et son intégration dans la chaîne de traitement des DEEE sera étudiée sous la conduite du partenaire industriel (WP4), ainsi que la durabilité et la purification du LI. Enfin, l'analyse du cycle de vie du procédé EE et les estimations CAPEX/OPEX doivent confirmer son potentiel industriel et environnemental.

Sources de financement

- Agence Nationale de la Recherche : ANR-20-CE08-0035

Date de début 2021-04-01

Date de fin 2024-09-30

Partenaires

- Laboratoire Réactions et Génie des Procédés (201320573K)
- Systèmes Moléculaires et nano Matériaux pour l'Energie et la Santé (199712093M)
- TND ()

Produits de recherche :

1. Default research output (Jeu de données)

Contributeurs

Nom	Affiliation	Rôles
LEGEAI Sophie	Institut Jean Lamour (Matériaux - Métallurgie - Nanosciences - Plasmas - Surfaces)	<ul style="list-style-type: none"> • Coordinateur du projet
sophie legeai - https://orcid.org/0000-0002-0901-1799		<ul style="list-style-type: none"> • Personne contact pour les données • Responsable du plan de gestion de données

DMP du projet "Electrolixiviation-Electrodépôt pour la valorisation des métaux précieux contenus dans les déchets d'équipements électriques/électroniques"

1. Description des données et collecte ou réutilisation de données existantes

1a. Comment de nouvelles données seront-elles recueillies ou produites et/ou comment des données préexistantes seront-elles réutilisées ?

- Les données produites au cours du projet sont issues d'expériences réalisées en laboratoire à l'aide de différents appareillages d'analyse physico-chimique informatisés, pilotés par des logiciels dédiés et générant des fichiers de données automatiquement sauvegardés.
- Les données concernent :
 - les propriétés physico-chimiques macroscopiques des milieux liquides ioniques : (viscosité, densité, conductivité, hygroscopie)
 - la spéciation/analyse des métaux dans les milieux liquides ioniques (spectres EXAFS-XANES, Raman, RMN-HOESY, UV-visible, ICP-AES)
 - les interactions liquides ioniques-métaux à l'échelle moléculaire (mesures SAXS/WAXS, spectres RMN-PFG)
 - les caractéristiques électrochimiques des systèmes métaux/liquides ioniques (courbes de voltampérométrie, chronoampérométrie/potentiométrie, spectrométrie d'impédance)
 - la caractérisation des déchets traités et des métaux produits (SFX, XRD, MEB-EDS)
 - l'analyse des produits de dégradation des liquides ioniques (GC-MS, LC-MS)
- Les procédures d'acquisition des données brutes (modes opératoires) sont actuellement conservées sous forme papier (cahier de laboratoire) et sous forme électronique dans un espace commun de stockage accessible aux différents partenaires (.docx, .pdf, .xlsx, .txt).
- Un cahier de laboratoire électronique est en phase de test à l'Université de Lorraine (elabFTW). Les procédures et données expérimentales relatives aux analyses ICP-OES font actuellement l'objet de ce test au sein de l'IJL.
- Les données préexistantes utilisées au cours du projet sont de 2 types : des données déjà publiées par les pairs issues de la littérature scientifique (articles dans des journaux scientifiques, jeux de données en libre accès) et des données propres à chaque partenaire, acquises en amont du projet. Un accord de consortium établi en début de projet (M+6) régit de manière précise l'utilisation des données et connaissances propres de chaque partenaire par l'ensemble du consortium.

1b. Quelles données (types, formats et volumes par ex.) seront collectées ou produites ?

Les données produites sont principalement de type numérique. Seules les données MEB-EDS et les données d'imagerie plein champ EXAFS-XANES sont de type image.

Ces données brutes sont stockées durant le projet sous leur format original, qui dépend du logiciel de pilotage des différents appareillages utilisés. Le volume des données brutes qui sera généré au cours du projet est estimé à quelques centaines de Go. Les données brutes sont stockées dans l'espace de stockage PETA de l'Université de Lorraine (espace réservé pour l'ensemble des données du projet : 2 To).

A l'issue du projet, les données brutes numériques sélectionnées pour archivage et partage avec la communauté scientifique seront converties en format tableur (xls, csv ou txt) afin de pouvoir être traitées par n'importe quel logiciel de traitement de données. Les données image seront stockées/archivées dans leur format original (jpeg ou tif). Le volume de ces données sélectionnées est estimé à quelques Go.

L'analyse des données brutes (traitement mathématique, modélisation...) se fait via Origin ou le tableur excel (xlsx), format ouvert facilitant le partage et la réutilisation à long terme des jeux de données. Les données sélectionnées pour être partagées, lorsqu'elles auront été traitées sous Origin, seront exportées en format ouvert pour le partage dans l'entrepôt DOREL (xls, csv, txt).

2. Documentation et qualité des données

2a. Quelles métadonnées et quelle documentation (par exemple méthodologie de collecte et mode d'organisation des données) accompagneront les données ?

- Sur chaque appareillage/poste de traitement des données, les données brutes sont regroupées dans un dossier unique "EE4PRECIOUS", décliné si besoin en sous-dossiers correspondant au type de données recueillies (SAXS, DRX, ...).
- La convention de nommage des fichiers est celle recommandée sur le site DoRANum, en utilisant la date de la dernière version du fichier de données, au format "AAAAMMJJ", sans utiliser d'accents ou de caractères spéciaux mais le symbole "_" ou "underscore" en tant que séparateur de mots dans le nom du fichier et enfin en affichant l'élément important en premier dans le nom (ex. "ref_DRX_20210218.xls"). Dans le cas de documents pouvant être amenés à évoluer, nous précisons la version dans le nom du fichier (ex. "ref_DRX_20210218_v1.xls"). Une convention de nommage des fichiers a été définie avec l'ensemble des utilisateurs.
- Chaque fichier de données destiné au stockage et/ou au partage avec la communauté scientifique sera accompagné d'un fichier en format ouvert (xls, csv, txt, pdf) contenant les métadonnées correspondantes telles que : nom de l'expérimentateur, nom de la variable enregistrée, unités de mesure, appareillage utilisé, conditions expérimentales... Le standard de métadonnées est le standard Datacite, utilisé par l'entrepôt institutionnel DOREL dans lequel seront archivées les données à l'issue du projet. La langue utilisée sera l'anglais pour faciliter la réutilisation des données par l'ensemble de la communauté scientifique.
- Lorsque cela s'avère nécessaire, les procédures et méthodes d'analyse utilisées sont décrites dans un fichier pdf associé aux fichiers de données correspondantes (préparation des échantillons réels pour analyse, procédure d'analyse chimique...)

2b. Quelles mesures de contrôle de la qualité des données seront mises en œuvre ?

Les bonnes pratiques de laboratoire seront suivies pour le contrôle et la qualité des données recueillies.

Les appareillages d'analyse le nécessitant sont systématiquement calibrés (ICP-OES, viscosimètre, conductimètre, densimètre etc...) et plusieurs réplicats sont réalisés, que ce soit pour une opération de process ou pour une analyse chimique/physico-chimique.

Lors des analyses ICP-OES, un contrôle qualité est réalisé au début, au milieu et en fin de séquence d'analyse en mesurant la réponse d'un échantillon de référence de concentration connue, afin de vérifier l'absence de dérive de l'appareil et ainsi de garantir la fiabilité des résultats.

3. Stockage et sauvegarde pendant le processus de recherche

3a. Comment les données et les métadonnées seront-elles stockées et sauvegardées tout au long du processus de recherche ?

- Le stockage des données (brutes et analysées) acquises en cours de projet et des métadonnées correspondantes est réalisé sur la plateforme PETA de l'Université de Lorraine (espace IJL, dossier EE4Precious), à laquelle les différents partenaires du projet ont accès (espace dédié au projet : 2 To, extensible si besoin).
- Les partenaires du projet peuvent déposer/consulter les documents administratifs, supports de réunions, compte-rendus et rapports scientifiques, ... liés au projet via le cloud de l'Université de Lorraine, B'UL, dans lequel un dossier EE4Precious a été créé.
- Un disque dur externe est dédié chez chaque partenaire au stockage périodique des données/documents relatives au projet (1 fois par mois).
- Les partenaires académiques bénéficient également de dispositifs internes à leurs structures de recherche pour la sauvegarde régulière de leur données :

- IJL : sauvegarde automatique (toutes les 4 heures) du contenu des ordinateurs de bureau via l'application Atempo (IJL). A court terme, mise en place d'une solution de sauvegarde automatique des ordinateurs pilotant les appareillages de laboratoire sur un serveur interne sécurisé. Le dépôt des fichiers volumineux (de type image principalement) est réalisé manuellement sur un serveur sécurisé interne à l'IJL, avec accès restreint.

- LRGP : sauvegarde manuelle du contenu des ordinateurs sur le serveur Ferrari du LRGP (1 fois par semaine)

- CEA : sauvegarde du contenu des ordinateurs de bureau et des fichiers de données volumineux sur les serveurs sécurisés Shiva (SyMMES) et Katmandou (LITEN) du CEA.

- TND : sauvegarde manuelle du contenu des ordinateurs sur le serveur NAS TND (1 fois par mois)

3b. Comment la sécurité des données et la protection des données sensibles seront-elles assurées tout au long du processus de recherche ?

PETA est un outil permettant de stocker des données à caractère confidentiel. Les données sont uniquement accessibles par le logiciel Storage Made Easy donc soit par https ou via un client lourd. Outre la sécurité très forte du datacenter d'une part et de l'authentification SSO/CAS d'autre part, SME gère en interne sa gestion des droits. Enfin, concernant les données en cours d'acquisition, l'accès au cahier de laboratoire électronique elabFTW est sécurisé par une authentification CAS (Université de Lorraine).

4. Exigences légales et éthiques, codes de conduite

4a. Si des données à caractère personnel sont traitées, comment le respect des dispositions de la législation sur les données à caractère personnel et sur la sécurité des données sera-t-il assuré ?

Aucune collecte de données à caractère personnel n'est envisagée sur la durée du projet.

4b. Comment les autres questions juridiques, comme la titularité ou les droits de propriété intellectuelle sur les données, seront-elles abordées ? Quelle est la législation applicable en la matière ?

La titularité et les droits de propriété intellectuelle sur les résultats et les données sont régies par l'accord de consortium établi entre les différents partenaires dans le cadre du projet. Le consortium s'appuie sur le document produit par l'INRAe : [Guide d'application de la Loi pour une République numérique pour les données de la recherche](#)

4c. Comment les éventuelles questions éthiques seront-elles prises en compte, les codes déontologiques respectés ?

Aucune donnée sensible n'étant traitée dans le cadre de ce projet, il n'est pas concerné par les codes déontologiques.

5. Partage des données et conservation à long terme

5a. Comment et quand les données seront-elles partagées ? Y-a-t-il des restrictions au partage des données ou des raisons de définir un embargo ?

Les résultats scientifiques obtenus et les données achevées, acquis au cours du projet, seront partagés avec la communauté scientifique autant que possible via l'entrepôt DOREL (entrepôt institutionnel). Le partage ou non des données et des résultats sera discuté entre les responsables scientifiques au cas par cas, avec le souci d'un juste équilibre entre la protection (brevet) et la valorisation (publication) du savoir-faire et des connaissances acquis au cours du projet.

Les résultats publiés seront valorisés au cours du projet sous forme d'articles scientifiques dans des revues à comité de lecture et sous forme de communications écrites ou orales dans des congrès nationaux et internationaux. Le libre accès aux articles sera garanti soit par la publication dans des revues en libre accès, soit par le dépôt du post-print dans une archive ouverte et libre d'accès (HAL) en respectant les 6 mois d'embargo prévus par la "Loi pour une République numérique".

5b. Comment les données à conserver seront-elles sélectionnées et où seront-elles préservées sur le long terme (par ex. un entrepôt de données ou une archive) ?

La sélection des données à conserver sur le long terme se fera en concertation avec l'ensemble des chercheurs impliqués dans le projet, sur la base de la pertinence, la reproductibilité et la fiabilité des données.

Le partage des jeux de données avec la communauté scientifique se fera via l'entrepôt institutionnel DOREL de l'Université de Lorraine. Les données entreposées dans DOREL migreront à court terme automatiquement vers l'entrepôt national Recherche Data Gov. Chaque jeu de données se verra attribuer automatiquement un DOI lors du dépôt dans DOREL, permettant de l'associer à une publication le cas échéant. La publication de data papers sera également envisagée lorsque les données ne se prêteront pas à une valorisation sous forme d'article scientifique.

Le partage de certains résultats et jeux de données pourra être différé pour des raisons de publication, ou limité pour protéger la propriété intellectuelle ou le dépôt de brevets. Dans ce cas, les données seront déposées dans l'entrepôt DOREL avec un embargo jusqu'au 01/01/2027, en

accord avec l'accord de consortium conclu entre les différents partenaires.
En complément, chaque partenaire procèdera à l'archivage de ses données sur un disque dur externe en fin de projet.

5c. Quelles méthodes ou quels outils logiciels seront nécessaires pour accéder et utiliser les données ?

Les données déposées dans l'entrepôt DOREL seront converties en formats ouverts (xlsx, txt, csv, pdf, jpg, gif)

5d. Comment l'attribution d'un identifiant unique et pérenne (comme le DOI) sera-t-elle assurée pour chaque jeu de données ?

L'entrepôt de données DOREL attribue automatiquement des DOI aux jeux de données déposés.

6. Responsabilités et ressources en matière de gestion des données

6a. Qui (par exemple rôle, position et institution de rattachement) sera responsable de la gestion des données (c'est-à-dire le gestionnaire des données) ?

La rédaction du plan de gestion des données (PGD) a été réalisée par Sophie Legeai, coordinatrice du projet (Maître de Conférences à l'Université de Lorraine, membre de l'IJL), en concertation avec l'équipe "données" du projet et avec le soutien technique de Laetitia Bracco, "data librarian" à l'Université de Lorraine.

L'équipe "données" est constituée d'un représentant par partenaire scientifique, le "data contact", qui est responsable du suivi de la qualité des données et des métadonnées, de leur stockage sur la plateforme PETA, et de la mise en forme des jeux de données pour le dépôt dans l'entrepôt DOREL. S'ajoutent aux data contacts les chercheurs expérimentateurs directement impliqués dans l'acquisition des données expérimentales. En tant que "data manager", Sophie Legeai est responsable de la gestion des données du projet, de la coordination des "data contacts" et de l'archivage des données dans DOREL.

L'équipe "données" a été constituée en début de projet, et comporte au moins un membre de chaque partenaire du projet, ainsi que les chercheurs directement impliqués dans l'acquisition des données expérimentales :

- H. Mendil Jakani (data contact) et V. Mba Ekomo (CDD 12 mois 11/21-10/22), CEA ;
- F. Lapique (data contact), LRGP ;
- C. Bertoloni, S. Michel et S. Legeai (data manager), IJL ;
- M. Balva (10/21-09/22) puis J. Comel (data contact, depuis 10/22), TND.

Le PGD est régulièrement révisé en cours de projet. Une version a été fournie à l'ANR en début de projet, puis 24 mois après le démarrage du projet, et une version définitive sera rédigée à l'issue du projet.

6b. Quelles seront les ressources (budget et temps alloués) dédiées à la gestion des données permettant de s'assurer que les données seront FAIR (Facile à trouver, Accessible, Interopérable, Réutilisable) ?

4 hommes.mois seront alloués à la gestion des données et à la dissémination des résultats au cours du projet. Les recrutements de Calogera Bertoloni, doctorante IJL-LRGP et de Vitalys Mba Ekomo, post-doctorant CEA, tous deux impliqués à 100% sur le projet EE4Precious, permettent d'assurer que les données générées par le projet seront FAIR (Facile à trouver, Accessible, Interopérable, Réutilisable).

La plateforme de stockage PETA ainsi que l'entrepôt DOREL sont des outils institutionnels que l'Université de Lorraine met à la disposition de ses chercheurs. L'espace de stockage sur PETA est gratuit dans la limite de 30 To par laboratoire. Des incréments sont possibles par tranche de 5 To moyennant une participation financière. 2 To sont actuellement alloués au projet EE4Precious, cet espace dédié pouvant être étendu si besoin. L'entrepôt DOREL est quant à lui totalement gratuit. Des crédits spécifiques pour la gestion des données et la publication d'articles dans des revues en libre accès ont été prévus dans le budget du projet (10 k€).