

PROFIL DE POSTE DE POST-DOCTORAT A CENTRALESUPELEC

Eco-conception et éco-innovation de dispositifs médicaux

Durée : 3 ans (1^{er} janvier 2025-31 décembre 2027)

Lieux :

- Poste basé à Gif_sur-Yvette (91, Essonne) au Laboratoire Génie Industriel (LGI), CentraleSupélec (www.lgi.centralesupelec.fr), Université Paris-Saclay
- Lieu secondaire : Hôpital Marie Lannelongue à Le Plessis-Robinson (92, Hauts de Seine)

Statut : Chercheur contractuel associé à l'équipe *Ingénierie de la Conception* du Laboratoire Génie Industriel (LGI) de CentraleSupélec

Domaines : Ingénierie de la conception, éco-conception, éco-innovation, économie circulaire, dispositifs médicaux

Salaire : 2300€ net/mois + prise en charge à 75% du titre de transports en commun ; interventions en enseignement à CentraleSupélec possibles avec complément de salaire (statut de vacataire)

Contexte général du post-doctorat :

Le Génie Industriel est la science du diagnostic, de la modélisation, de la simulation, de la conception, de l'exploitation et de la conduite du changement des systèmes d'activités des organisations (notamment des entreprises ou encore des centres hospitaliers). Le **Laboratoire Génie Industriel** (LGI, <http://www.lgi.centralesupelec.fr/>) de **CentraleSupélec**, membre de l'**Université Paris-Saclay**, a donc pour objets d'étude (1) les systèmes de produits-services mis sur le marché par les entreprises et (b) les systèmes de production ou d'activité des entreprises. Ces systèmes, et les processus qui en découlent, sont déclinés tout au long de leur cycle de vie. Il s'agit de savoir les observer, diagnostiquer, concevoir ou améliorer, opérer (exploiter, réguler, maintenir) et recycler. Le LGI est composé de 100 personnes, dont 30 enseignants-chercheurs et 60 doctorants, couvrant les disciplines des sciences de la conception, du génie industriel, de l'automatique, des sciences informatiques, des sciences économiques et de gestion. Le LGI est organisé en 4 équipes de recherche, 5 thèmes transversaux et 5 chaires industrielles. Les 4 équipes sont (IC) Ingénierie de la Conception, (MO) Management des Opérations, (R3) Risques, Résilience, Fiabilité, (ED) Economie Durable. Les 5 thèmes transverses industriels et sociétaux sont : systèmes de mobilité, systèmes énergétiques, systèmes de santé, industrie du futur et économie circulaire.

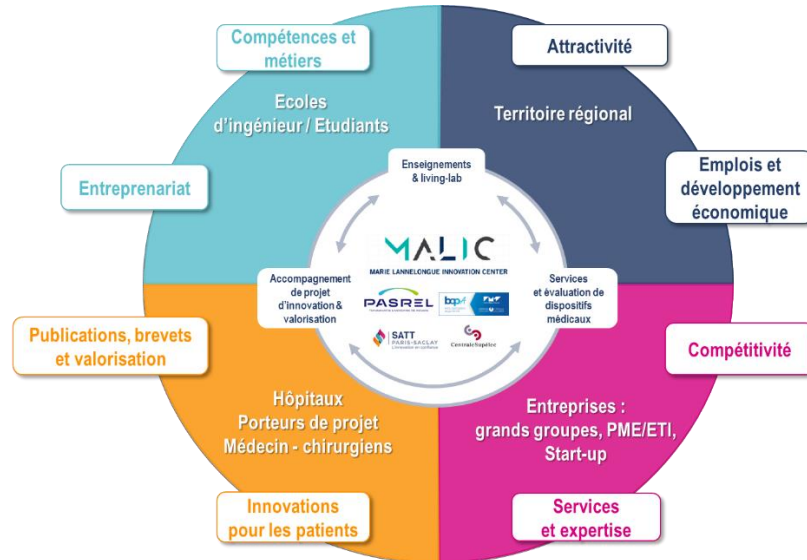
Le présent projet s'inscrit au sein de l'**équipe Ingénierie de la Conception**, au croisement des **thèmes Economie Circulaire** et **Systèmes de santé**. En Economie Circulaire (EC), le LGI a développé une expertise reconnue en Analyse de Cycle de Vie, Analyse de Flux Matière, Eco-Conception, indicateurs de circularité, etc., et a développé l'Alliance CircularIT (<https://alliance-circularit.com/>). Le LGI est par ailleurs membre fondateur du réseau national de chercheurs en éco-conception EcoSD (www.ecosd.fr). Sur les systèmes de santé, le LGI contribue depuis de nombreuses années à des travaux autour de l'organisation des parcours de soins ou la gestion des données de santé, par exemple avec l'AP-HP.

Le travail de post-doctorat s'appuiera sur l'expérience et les activités de l'**Hôpital Marie Lannelongue** (HML), qui a développé une expertise particulière dans la **conception, le développement et l'évaluation de nouveaux dispositifs médicaux**. HML est un établissement de santé privé à but non-lucratif (ESPIC), spécialisé dans la prise en charge chirurgicale et interventionnelles des pathologies cœur-poumon-vasseaux, de l'enfant à l'adulte. HML dispose d'une équipe de chercheurs-ingénieurs et de blocs opératoires dédiés à la recherche expérimentale localisés au cœur de l'hôpital.

Dans le cadre de l'appel à projet SESAME – Filières France 2030, le **projet MALIC (Marie Lannelongue Innovation Center)** vise à proposer des services d'accompagnement pour la conception, le développement et l'évaluation préclinique et clinique de nouveaux dispositifs médicaux chirurgicaux et interventionnels. Véritable « Tiers-lieux d'expérimentation médecins-ingénieurs », il sera ouvert aux acteurs clé de la filière : start-up, PME et industriels, mais également médecins et chirurgiens des hôpitaux du territoire de l'Université Paris-Saclay.

Le projet MALIC capitalise sur l'expérience de l'Hôpital Marie Lannelongue qui, depuis sa création, a développé un savoir-faire dans le développement d'outils et concepts chirurgicaux innovants dans le domaine des pathologies cœur-poumon-vaisseaux de l'enfant à l'adulte. Ces activités s'appuient sur l'affiliation de l'équipe médico-chirurgicale d'HML à l'Unité U999 INSERM / Université Paris Saclay.

Avec le support de nouveaux partenaires, tels que la SATT Paris-Saclay et CentraleSupélec, MALIC est l'opportunité de consolider cette expertise existante et reconnue, et de la déployer plus largement auprès des acteurs de la filière. Par la mise à disposition de moyens humains et matériels, MALIC stimulera l'innovation et les collaborations public-privé, et accélérera le développement de nouveaux dispositifs médicaux par l'écoconception et l'innovation centrées utilisateurs et l'expérimentation.



Vue globale du projet MALIC

Le candidat de post-doctorat sera embauché par CentraleSupélec en tant que chercheur contractuel au Laboratoire Génie Industriel de CentraleSupélec, à plein temps sur le projet MALIC.

Contexte scientifique du post-doctorat :

Le **secteur des dispositifs médicaux (DM)** est particulièrement dynamique en termes de R&D, avec une forte implication des praticiens qui participent au développement de ces nouvelles solutions pour le bénéfice de leurs patients. L'innovation est aussi stimulée par les avancées technologiques qui permettent de repenser les stratégies thérapeutiques et diagnostiques : optique, microfluidique, robotique, réalité augmentée, impression 3D, intelligence artificielle. Elles ont permis des avancées majeures telle que la chirurgie mini-invasive, qui permet de réduire traumatisme des actes et donc les temps d'hospitalisation et les complications post-opératoires.

Le secteur des DM représente **plus de 1 440 entreprises en France en 2023** (36% en île de France) avec une **très forte dominante de PME (93%)**, pour 84 000 emplois directs et un chiffre d'affaires global de 32,5 Md€. Malgré une réelle dynamique d'innovation, reconnue au niveau international, les acteurs de la filière peinent à accéder au marché en France, et sont plus soutenus par une croissance de leur chiffre d'affaires à l'international (10,6 Md€ en 2023, +4,3%/an depuis 2021) (SNITEM, 2023). L'évolution récente du cadre réglementaire européen contribue à cette difficulté, notamment pour l'obtention du marquage CE (Règlement UE 2017/745). Une fois ce marquage obtenu, le fabricant doit encore démontrer le service médical rendu et l'intérêt médico-économique de son innovation, pour obtenir le remboursement. Ce double contexte fragilise les PME qui doivent revoir leur plan de développement produit, et peut conduire à une perte de confiance des investisseurs.

A ces enjeux réglementaires et financiers, les acteurs de la filière font face à de nouveaux défis qui vont devenir majeurs dans les 5 prochaines années, tout particulièrement les **enjeux écologiques** : les dispositifs médicaux représentent **21% des émissions de GES du secteur de la santé** (The Shift Project, 2024). Poussés par ce constat, mais aussi par la recherche d'économie, les hôpitaux commencent à changer leurs pratiques pour moins consommer et à intégrer des critères d'impact carbone dans leurs achats. De nouvelles

dimensions liées à l'**économie circulaire** doivent maintenant être intégrées au cahier des charges des nouveaux DM : **éco-conception, diminution des emballages, recyclage, choix des matériaux**, etc. Enfin, depuis la crise du COVID-19, le secteur a vu s'envoler le prix des matières premières essentielles à la fabrication des DM (+400% sur les composants électroniques, +200% sur les métaux et alliages). Après avoir cru à un phénomène conjoncturel, cette situation semble s'ancrer dans la durée avec la nécessité d'intégrer de nouveaux critères dans les cahiers de charges techniques de conception de nouveaux DM.

C'est pourquoi l'**HML et CentraleSupélec s'associent dans le cadre du projet MALIC pour étudier la question de l'impact environnemental, de l'éco-conception et de l'éco-innovation des dispositifs médicaux**, domaine encore peu exploré au niveau académique, mais qui bénéficie au niveau institutionnel (Ministère du Travail, de la Santé et des Solidarités, 2023 ; Haute Autorité de Santé, 2023) et hospitalier (CHU Bordeaux, 2022 ; AP-HP, 2024) d'une attention grandissante. Par sa portée sociétale, le secteur médical s'est en effet jusqu'à présent positionné relativement en marge des travaux du domaine. Si le COVID-19 a mis en exergue la forte quantité de déchets générés par certains DM à usage unique (masques et protections diverses), c'est maintenant une prise de conscience généralisée des acteurs de la filière qui se met en place, avéré notamment par le colloque RSE du 25 avril 2024 organisé par le SNITEM, où le management environnement et l'éco-conception ont occupé une place primordiale : témoignage de praticiens hospitaliers, et de fabricants de DM, présentation du scoring des DM (première étape vers un éco-score), etc.

Il convient par ailleurs de noter la nature particulière des DM par rapport à tout autre produit plus « classique », justifiant la nécessaire adaptation des approches d'éco-conception aux DM. En premier lieu, les DM font l'objet d'une **législation très spécifique**, touchant notamment à leur prise en charge très stricte en fin de vie. En effet, les DM à usage unique en particulier font soit l'objet d'une élimination sécurisée (principalement incinération) en cas de risque infectieux, soit ils sont envoyés en filière REP, ou ils peuvent encore dans de rares cas faire l'objet d'un retraitement et d'une réutilisation uniquement dans certains pays européens (expérimentation en cours en France).

De plus, les **considérations éthiques et déontologiques** ne rendent l'éco-conception des DM acceptable qu'à **iso-qualité de soin pour le patient**. Les tensions économiques (« *si ça ne coûte pas plus cher, allez-y !* ») et sociales à l'hôpital impliquent la nécessaire prise en compte de ces deux dimensions dans la démarche. L'éco-conception d'un DM doit donc être questionnée dans un parcours de soin plus global (où l'on commence par éviter les soins inutiles) qui, à qualité, sécurité et pertinence égales, doit être moins impactant pour l'environnement. Cette perspective est particulièrement compliquée à appréhender pour les fabricants de DM, en grande majorité des PME, qui doivent donc définir un langage commun avec les hopitaux. Au-delà de l'impact de la fabrication du DM lui-même, il convient donc de repenser sa bonne prescription, ses usages, et sa fin de vie.

Dans le domaine de l'éco-conception, de nombreux outils ont été développés depuis plusieurs décennies (Bovea & Perez-Belis, 2012), s'appuyant généralement sur des Analyses de Cycle de Vie (ACV) détaillées ou simplifiées afin de diminuer l'impact environnemental d'un produit ou service sur l'ensemble de son cycle de vie. Dans le domaine médical, une littérature autour de l'évaluation environnementale, l'économie circulaire ou l'éco-conception des dispositifs médicaux émerge quant à elle depuis plusieurs années (voir par exemple (Moultrie et al. 2016 ; Hoveling et al. 2024 ; Sousa et al., 2021)). Récemment, l'AP-HP a lancé l'outil Carebone® pour estimer « *l'empreinte carbone des médicaments, dispositifs médicaux, actes médicaux et parcours de soins, à destination des soignants qui souhaitent évaluer leurs pratiques de soin en termes d'émissions de GES* » (HP-HP, 2024b).

Bibliographie indicative :

Assistance Publique – Hopitaux de Paris (AP-HP), 2024a, Feuille de route décarbonation de l'AP-HP, <https://www.calameo.com/read/0040218276706154f0caa>

Assistance Publique – Hopitaux de Paris (AP-HP), 2024b, Outil Carebone®, <https://dispose.aphp.fr/userportal/?v=4.5.6#/shared/public/yycFtkknBZvZJwWP/bc0c99fa-be02-4f4d-96b5-cb67d2a8b823>

Bovea, M.D., Pérez-Belis, V., 2012. A taxonomy of ecodesign tools for integrating environmental requirements into the product design process. *Journal of Cleaner Production* 20, 61–71. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.07.012>

Hoveling, T., Svindland Nijdam, A., Monincx, M., Faludi, J., Bakker, C., 2024. Circular economy for medical devices: Barriers, opportunities and best practices from a design perspective. *Resources, Conservation and Recycling* 208, 107719. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2024.107719>

CHU Bordeaux, 2022, Guides des unités durables, <https://www.chu-bordeaux.fr/CHU-de-Bordeaux/Projets-et-strat%C3%A9gies/D%C3%A9veloppement-durable/Actualit%C3%A9s-D%C3%A9veloppement-Durable-CHU-de-Bordeaux/Le-guide-des-%C2%AB-Unit%C3%A9s-durables-%C2%BB-du-CHU-de-Bordeaux/>

Haute Autorité de Santé, 2023, Feuille de route santé-environnement, https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2023-11/feuille_de_route_sante_environnement_has.pdf

Ministère du Travail, de la Santé et des Solidarités, 2023, Planification écologique du système de santé - Feuille de route, <https://sante.gouv.fr/IMG/pdf/planification-ecologique-du-systeme-de-sante-feuille-de-route-mai-2023.pdf>

SNITEM, 2023 – Panorama et analyse qualitative de la filière industrielle des dispositifs médicaux en France, <https://www.snitem.fr/wp-content/uploads/2024/02/Snitem-Panorama-chiffre-des-DM-2023.pdf>

Sousa, A.C., Veiga, A., Maurício, A.C., Lopes, M.A., Santos, J.D., Neto, B., 2021. Assessment of the environmental impacts of medical devices: a review. *Environ Dev Sustain* 23, 9641–9666. <https://doi.org/10.1007/s10668-020-01086-1>

The Shift Project, 2024, Décarbonons les industries de santé, rapport préparatoire, <https://theshiftproject.org/article/decarbonons-les-industries-de-sante-the-shift-project-publie-son-rapport-preparatoire/>

UE, 2017, Règlement (UE) 2017/745 du Parlement européen et du Conseil du 5 avril 2017 relatif aux dispositifs médicaux, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=CELEX%3A32017R0745>

Mission du candidat :

Le candidat mènera des travaux de **recherche** de haut niveau mais interviendra également en **enseignement** et dans l'**accompagnement de porteurs de projets** en lien avec ces travaux.

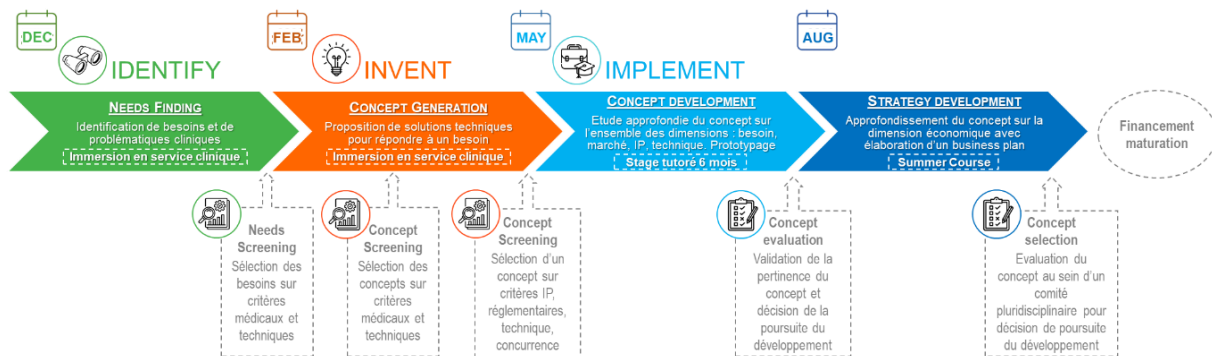
Le candidat aura ainsi pour mission de mener des travaux de recherche originaux pour **développer, adapter, préciser, documenter, appliquer et faire évoluer des processus, méthodes et outils pour éco-concevoir et mesurer l'impact environnemental des dispositifs médicaux**. Les dispositifs médicaux considérés pourront être de nature diverse, quoique de taille limitée. Ils pourront couvrir toutes les classes réglementaires au sens du Règlement UE 2017/745, de la classe I – risque faible (tels que béquilles, fauteuils roulants, lunettes correctrices) à la classe III – risque élevé et concernant particulièrement des dispositifs médicaux chirurgicaux et interventionnels, qui regroupe un large panel de produits tels que des instruments de chirurgie et de radiologie interventionnelle, des implants ou des équipements d'assistance circulatoire.

Pour cela, il réalisera un **diagnostic terrain** des pratiques, méthodologies, études en vigueur dans le secteur des DM (notamment par des entretiens avec des fabricants, centrales d'achats, prestataires (bureau d'ingénierie ou de services qui accompagnent les fabricants), syndicats professionnels tels que le SNITEM ou France Biotech, institutions) en France et à l'international. Il interagira également avec les pharmaciens et ingénieurs biomédicaux de l'Hôpital Marie Lannelongue, qui sont les principaux interlocuteurs sur le sujet des DM, et selon leur type. Il complétera cette étude terrain par un **état de l'art** de la littérature scientifique disponible sur le sujet.

Puis il pourra structurer ses contributions sous forme d'un **kit méthodologique outillé** permettant **(i) d'écouter innover de manière utile et efficace** avec et pour les parties prenantes, et **(ii) d'optimiser la performance environnementale** des dispositifs médicaux sur l'ensemble de leur cycle de vie et dans une perspective multicritère (multiples catégories d'impact) pour assister des porteurs de projets de dispositifs médicaux.

Il interviendra en particulier auprès de deux publics, afin d'appliquer, améliorer, valider et diffuser ces travaux :

- Des **étudiants** de l'Institut de Formation Supérieure BioMédicale (IFSBM, <https://www.ifsbm.universite-paris-saclay.fr/>) de l'Université Paris-Saclay et des étudiants du Master *BioMedical Engineering* de l'Institut Polytechnique de Paris (<https://www.ip-paris.fr/education/masters/mention-mecanique/master-year-2-biomedical-engineering-biomechanics-biophysics-bme>) dans le cadre de projets d'innovation en immersion à l'hôpital afin d'identifier des besoins et de proposer des solutions. La méthode s'inspire d'un **processus « design thinking » adapté à l'innovation biomédicale**, développé par l'Université de Stanford, dans le cadre du parcours Biodesign (<https://biodesign.stanford.edu/>). La mission du candidat visera à rendre explicite l'inclusion de la dimension environnementale dans un tel processus, ainsi que de permettre son déploiement dans d'autres contextes hospitaliers. En particulier, il s'agira d'apporter des outils pour questionner les besoins et mettre à jour des problèmes liés à l'environnement dans les blocs opératoires.



Processus « design thinking » adapté à l'innovation biomédicale, actuellement déployé à l'HML

- Des **porteurs de projet** (entrepreneurs notamment) accueillis au MALIC et qui bénéficieront des développements proposés ; à terme, il pourra contribuer au **développement de prestations scientifiques** vers ces porteurs de projet. A titre illustratif, l'HML pilote actuellement 6 programmes d'innovation qui visent à développer de nouvelles technologies et dispositifs pour le traitement de pathologies cardiothoraciques et vasculaires et répondre à des besoins cliniques concrets : BioArtLung (développement d'un oxygénateur microfluidique miniaturisé), EndoVx (nouvelles technologies pour la prise en charge personnalisée des anévrismes de l'aorte), CATRINE (nouvelles techniques de perfusion ex-vivo du greffon cardiaque), Optivenosus (prise en charge endovasculaire des malformations cardiaques congénitales rares), LungRepair (évaluation et remobilisation du greffon pulmonaire par techniques de perfusion ex-vivo), Destination 2024 (caractérisation et modélisation de l'hypertension artérielle pulmonaire (imagerie médicale, modèle anatomique, modèle porcin)). Ces programmes reposent sur des collaborations « médecin – ingénieur », impliquant des acteurs académiques et privés, avec un haut potentiel de valorisation des résultats générés. MALIC vise alors à proposer des services à ces porteurs de projets d'innovation, notamment en matière de conseil en éco-conception et éco-innovation de DM, qui est une compétence peu développée dans la filière.

Les travaux et leurs applications donneront lieu à plusieurs **publications scientifiques** dans le domaine du Génie Industriel et de l'Ingénierie de la Conception et de l'Innovation (conférences nationales et internationales, revues internationales), mais pourront également être valorisés auprès des acteurs de la filières (salons et revues professionnels des ingénieurs biomédicaux ou pharmaceutiques par exemple).

Profil recherché :

- Le candidat aura une thèse de Doctorat dans le domaine de l'évaluation environnementale (incluant l'Analyse de Cycle de Vie), de l'ingénierie de la conception ou de l'innovation, de l'éco-conception, de l'éco-innovation ou de l'économie circulaire. Idéalement, il aura déjà une connaissance du secteur médical.
- Qualités d'analyse et de synthèse
- Initiatives et rigueur dans la gestion de projets
- Compétences et savoir-faire pour cadrer et motiver les porteurs de projets d'innovation

- Dynamisme et force de proposition
- Capacité à interagir et à déployer des approches sur le terrain, à mener des observations et expérimentations avec des acteurs hospitaliers
- Capacité démontrée d'exploration de la littérature scientifique et de rédaction d'articles scientifiques en anglais

Candidature :

Les candidats devront adresser leur dossier de candidature avant le 30 septembre 2024, par courriel aux contacts ci-dessous. Le dossier de candidature comprendra :

- Une lettre de motivation ;
- Un CV détaillé incluant la liste des publications ;
- Tout autre document permettant d'attester de l'expérience ;
- Des lettres de recommandations facultatives.

Le cas échéant, les auditions auront lieu au fil de l'eau. Le candidat sera idéalement recruté au 1^{er} janvier 2025.

Contacts :

- François Cluzel, Maître de Conférences et responsable de l'équipe Ingénierie de la Conception du Laboratoire Génie Industriel de CentraleSupélec : francois.cluzel@centralesupelec.fr, 01 75 31 63 49
- Bernard Yannou, Professeur des Universités et directeur du Laboratoire Génie Industriel de CentraleSupélec : bernard.yannou@centralesupelec.fr
- Antoine Agathon, Directeur Recherche, Innovation et Formation - Hôpital Marie Lannelongue / Hôpital Saint Joseph : a.agathon@ghpsj.fr