

# TRANSITION environnementale en hémodialyse : pour une transformation durable des pratiques - TRANSIDIA

## CONTEXTE :

Le réchauffement climatique, qui a déjà atteint +1°C depuis le début de l'ère industrielle, provoque un déséquilibre du système climatique mondial (1). Celui-ci affecte déjà les conditions de vie dans l'ensemble des régions du globe, exacerbe significativement un stress hydrique déjà prégnant dans beaucoup de régions du monde et représente un risque majeur de santé publique (2). A l'heure de l'anthropocène et de la médecine moderne, **le secteur de la santé exerce aussi une pression importante sur l'environnement via des activités de soins carbonées émettrices de gaz à effet de serre (GES), la consommation significative de ressources et la production importante de déchets** (3) (4). Penser la réduction de leur impact environnemental est un impératif auquel les professionnels de santé ne peuvent donc plus se soustraire au risque de reproduire un écueil éthique et moral : menacer à moyen ou long terme la santé d'une population qu'ils se sont paradoxalement engagés à préserver.

Lorsque l'insuffisance rénale chronique (IRC) atteint le stade terminal, la survie du patient dépend du recours à une méthode de suppléance comme la dialyse ou la transplantation rénale. En France, 55% des patients en insuffisance rénale terminale, soit près de 49 000 personnes, sont en dialyse alors que 44% ont pu bénéficier d'une transplantation (5). Du fait d'une incidence croissante de l'IRC, on estime que près de 5 000 000 de personnes seront dialysées d'ici 2030 à travers le monde. L'hémodialyse permet l'épuration extra-rénale à travers une membrane de dialyse via un système de circulation extracorporelle. Elle représente en France et dans le monde la modalité la plus largement utilisée et concerne ainsi plus de 90% des patients dialysés (6). **Vitale pour les patients, l'hémodialyse est néanmoins associée à une consommation importante de ressources et à une empreinte environnementale majeure** (7). Celle-ci revêt deux aspects en particulier, dont l'ampleur de l'impact écologique fait depuis peu l'objet de recherches : les émissions de GES d'une part, et l'exploitation de ressources en eau d'autre part.

Très peu d'études ont cherché à chiffrer l'empreinte carbone de l'hémodialyse conventionnelle (trois séances hebdomadaires de quatre heures) en y incluant les 3 scopes d'émissions, c'est-à-dire les émissions directes et indirectes (3). En 2010, une des premières publications par l'équipe du Dr Connor, évalue l'empreinte carbone du secteur de dialyse d'un service de néphrologie d'un hôpital anglais. Pour 277 dialysés annuellement, l'empreinte carbone est estimée à 1965tCO<sub>2</sub>e (tonnes d'équivalent CO<sub>2</sub>) par an ce qui correspond à 7,1 tCO<sub>2</sub>e par patient/an. Les émissions indirectes liées à l'usage de consommables, aux déchets et aux déplacements représentaient près de 60 % des émissions (8). Une étude australienne de 2013, avec un nombre très restreint de patients, amène à la même conclusion (9). Pour comparaison, un Français émet en moyenne 9tCO<sub>2</sub>e/an. Une étude plus récente de 2019 menée par des équipes au Maroc, évalue l'empreinte carbone d'un service d'hémodialyse prenant en charge 80 patients à 409 tCO<sub>2</sub>e soit 5,2 tCO<sub>2</sub>e par patient/an. La distribution entre les postes d'émissions étaient légèrement différentes des deux études précédentes avec 28% des émissions générées par la consommation d'électricité, 27% par l'achat de consommables et services et 22% par les déplacements patients et personnels (10). Le calcul du bilan carbone fait intervenir des facteurs d'émission utilisés pour transformer une donnée d'activité physique en une quantité d'émissions de gaz effet de serre. **Les trois études citées se sont basées sur des facteurs d'émissions génériques issus de registres nationaux, non spécifiques de l'hémodialyse qui a recours à des équipements médicaux ainsi qu'à des produits pharmaceutiques hautement spécialisés.** En effet, très peu d'analyses sur l'ensemble du cycle de vie des médicaments et des dispositifs médicaux dont dépend le système de soins sont aujourd'hui disponibles (3).

L'usage de l'eau en hémodialyse est également une problématique majeure qui doit être adressée en parallèle de celle de l'empreinte carbone. En effet, une dialyse conventionnelle avec un débit de dialysat à 500ml/min par séance nécessite annuellement entre 50 et 80m<sup>3</sup> par patient (soit entre 300 à 500 L/séance) (7). En France, la consommation d'eau pour l'hémodialyse est ainsi estimée à environ 3 millions de m<sup>3</sup>/an. Pour produire l'eau ultra-pure qui servira à la reconstitution du dialysat, on utilise un processus de traitement de l'eau de ville par osmose inverse dont le taux de conversion varie entre 30 et 60%. Ainsi, le volume d'eau issue de la boucle d'osmose inverse est habituellement rejeté aux égouts et peut représenter jusqu'à 250L par séance (7). **Dans une démarche de préservation des ressources, cette eau de qualité relativement constante et qui n'a jamais été en contact avec le patient, pourrait être réutilisée à des fins multiples** : stérilisation, buanderie, irrigation, alimentation des chasses d'eau, des chaudières ou des piscines de rééducation par exemple (11). L'analyse des caractéristiques physico-chimiques de cette eau met en évidence des concentrations moyennement élevées en ions sodium essentiellement (mais également nitrate, sulfate et chloride), la rendant souvent impropre à une utilisation directe car ne respectant pas les normes de qualité imposées par la réglementation nationale ou internationale spécifique à chaque réusage (12). Le recyclage de cette eau nécessite donc un prétraitement sous la forme d'une déminéralisation/désalinisation partielle afin d'atteindre la qualité requise en fonction de l'utilisation envisagée. Parmi les techniques disponibles, l'électrodialyse apparaît comme particulièrement performante pour des eaux de salinité modérée comme celle issue des boucles d'osmose inverse d'hémodialyse (13). Ainsi, l'étude que nous avons menée à l'UTC a permis, après optimisation des paramètres de désalinisation, d'évaluer l'intérêt de la technique sur des échantillons collectés auprès d'un centre de dialyse et dont la concentration en sels a été mesurée à 1,4g/L (soit une conductivité de 2,0mS/cm). Nous avons pu démontrer que des taux de déminéralisation entre 50% et 75% permettent d'obtenir une eau traitée répondant aux normes requises pour plusieurs types d'usage (piscine de rééducation, nettoyage avant stérilisation, irrigation). Surtout, l'électrodialyse permet de travailler en productivité en traitant des volumes importants de diluat tout en allant vers de faibles volumes de concentrat (aux salinités élevées) sans altérer le procédé. De surcroît peu énergivore et économique, son usage s'inscrit tout à fait dans une approche de transition environnementale (14).

## OBJECTIF DE LA THESE

Les données de la littérature illustrent bien l'ampleur de l'empreinte environnementale associée à l'hémodialyse. De tels constats imposent dès lors une transformation des pratiques dans une optique de développement durable à court, moyen et long terme. La

réponse à cet impératif doit se construire autour d'une vision systémique de cette pratique de soins intégrant nécessairement trois contraintes : rigueur scientifique dans la méthode d'évaluation de l'impact environnemental ; respect de la qualité de prise en charge des patients et de l'éthique médicale au regard des recommandations formulées ; pertinence et acceptabilité d'un point de vue santé publique de la réorganisation de cette partie de l'offre de soins. Par ailleurs, les outils de calcul de l'empreinte carbone ou d'évaluation des techniques de dessalement, proposent une méthodologie générique difficilement transposable à un secteur d'activité aussi spécialisé. Une démarche transversale conciliant les exigences des sciences de l'ingénieur à celles de l'exercice médical dans la conception d'une stratégie globale de diminution de l'empreinte environnementale de l'hémodialyse n'a pas encore été développée à ce jour. C'est donc ce que nous proposons de faire dans le cadre de ce projet afin de répondre à la problématique suivante : **Comment réduire l'empreinte environnementale de l'hémodialyse par une transformation durable des pratiques dans le cadre d'une vision systémique de l'offre de soins (depuis la fabrication des dispositifs médicaux jusqu'à la gestion globale d'une structure médicale) tout en associant les points de vue de l'ingénieur, du néphrologue et du spécialiste en santé publique ?**

## **JUSTIFICATION DE L'APPROCHE SCIENTIFIQUE**

Nous proposons de structurer notre démarche en trois parties :

### **1. Quantification de l'empreinte environnementale de l'hémodialyse : émissions de GES et consommation d'eau**

Une appréciation exhaustive des émissions de GES ne peut se faire sans une évaluation précise des flux physiques sur lesquels repose le secteur afin d'en identifier les postes d'émission. Toutefois, les données dont nous disposons actuellement dans la littérature présentent plusieurs limites : leur ancienneté (3 des 4 articles de référence datent de près de 10 ans), l'absence de données françaises locales biaisant toute extrapolation, l'utilisation de facteurs d'émissions génériques pour les médicaments et les dispositifs médicaux. Or, les pratiques médicales ont largement évolué avec le temps et diffèrent souvent entre les pays. Par ailleurs, les procédés industriels produisant les consommables changent également, sans compter que les mix énergétiques sont rarement comparables entre les pays, réduisant ainsi la validité externe des facteurs d'émissions utilisés dans la littérature. S'affranchir au maximum de ces biais nécessite donc de disposer de données evidence-based, récentes et locales acquises grâce à une méthodologie robuste. C'est tout l'objet du premier volet de ce projet : évaluer le bilan carbone de l'hémodialyse en France grâce à la démarche Bilan Carbone® développée par l'ADEME et l'association Bilan Carbone (15) (16). Il s'agit d'un standard de référence en matière de comptabilité de GES qui permet de réaliser une photographie exhaustive de l'ensemble des émissions d'une organisation. Cet outil de comptabilisation carbone sera adapté pour prendre en compte les spécificités propres à l'hémodialyse tout en garantissant une rigueur méthodologique. Il s'agira dans un premier temps de définir le périmètre de l'étude afin de cartographier l'ensemble des flux associés à l'activité de soins et de choisir le mode de recueil le plus adapté à chaque type de données. Un travail sera également mené sur les facteurs d'émission afin de réduire au maximum l'incertitude portée par de nombreuses données relatives aux médicaments et aux dispositifs médicaux (à travers recherche sur les analyses de cycle de vie). Une fois validé, cet outil sera utilisé pour calculer le bilan carbone de plusieurs centres de dialyse correspondant à un échantillon représentatif de l'offre de soins sur le territoire. L'évaluation de la consommation de ressources en eau, quant à elle, ne pose pas de problème méthodologique puisqu'elle repose sur une mesure directe via des compteurs dédiés.

### **2. Stratégie de décarbonation**

Disposer d'un bilan carbone fiable permet de faire reposer les mesures de décarbonation sur la preuve et de prioriser les actions à mettre en place. Le rapport « Décarboner la santé pour soigner durablement » publié par le Shift Project présente une série de mesures phares pour chacun des postes d'émission (3). Celles-ci serviront de point de départ à notre réflexion pour construire une proposition de recommandations spécifiques à l'hémodialyse et adossée au résultat de notre bilan carbone. L'ancrage de la démarche dans une expérience de terrain renforcée par des échanges avec les équipes soignantes consolide la pertinence des mesures proposées. Ainsi, la confrontation continue avec la réalité de la pratique médicale permettra d'identifier les leviers et les freins à la mise en place de ces mesures. Afin de renforcer la robustesse de cette stratégie de décarbonation, le potentiel de réduction des émissions associé aux mesures proposées sera étudié. Ce chiffrage est possible puisqu'il s'appuie sur des réductions calculées à partir de données existantes et factuelles issues du bilan carbone réalisé au préalable. Enfin, pour s'assurer de l'applicabilité de ces recommandations, une analyse médico-économique de certaines mesures phares est envisagée. En effet, alors que la contrainte financière est souvent désignée comme un frein à la transition, certaines études ont démontré le contraire : la possibilité de réaliser des économies substantielles en adoptant des mesures de réduction de l'empreinte environnementale (17). Il s'agit au terme de cette démarche transversale, de proposer une feuille de route acceptable sur le plan médical, efficace en termes de réduction des émissions et pertinente d'un point de vue santé publique.

### **3. Recyclage de l'eau issue de la boucle d'osmose inverse**

L'étude princeps réalisée par notre équipe a montré que l'électrodialyse est une méthode de choix pour la déminéralisation partielle de l'eau issue de la boucle d'osmose inverse à des fins de réutilisation. La connaissance de la productivité aide au choix de la surface de la membrane tandis que celle du SPC (Specific power consumption) donne des indications sur la consommation énergétique. Nos travaux réalisés à l'échelle du laboratoire ont permis d'établir une première projection afin d'extrapoler les données expérimentales à des conditions de vie réelle en prenant pour exemple le centre de dialyse de la Polyclinique Saint-Côme qui rejette quotidiennement 9m<sup>3</sup> d'eau issue de la boucle d'osmose inverse. Recycler cette eau pour un usage de stérilisation manuelle nécessiterait un système d'électrodialyse avec une membrane de 3m<sup>2</sup>. Utiliser un taux de conversion élevé (supérieur à 80%) permettrait de produire un concentrat d'électrodialyse avec une forte conductivité mais compatible avec une élimination directe dans le réseau d'égouts. La consommation énergétique du procédé dans ces conditions serait de 6,5kWh, potentiellement alimentée par une source d'énergie solaire couplée au système (14). Cependant, ces hypothèses de calcul sont à vérifier à l'échelle pilote. Dans la continuité de ces travaux, le troisième volet de ce projet vise à démontrer la faisabilité d'une utilisation de l'électrodialyse comme procédé de traitement des rejets de la boucle d'osmose inverse en conditions de vie réelle. Le déploiement d'unités pilotes en centres de dialyse permettra de fournir des données expérimentales relatives à la performance, au coût et à l'efficacité du système afin de valider la

pertinence de la déminéralisation par électrodialyse dans le cadre de cette démarche. Ces expérimentations permettront d'identifier les leviers à déployer et les freins à dépasser selon les différents usages envisagés au quotidien, préalablement à une transposition de cette solution à plus grande échelle.

## **ADEQUATION INSTITUT**

Ce projet s'inscrit parfaitement dans les objectifs de l'Institut de la Transition Environnementale de l'Alliance Sorbonne Université. En effet, l'ambition de ce travail est de contribuer à engager la nécessaire transition des pratiques de soins en hémodialyse. Grâce à une approche scientifique basée sur des données empiriques obtenues en condition de vie réelle, les recommandations formulées permettront d'outiller les professionnels de santé afin de les guider dans leur stratégie de décarbonation et de préservation des ressources. Sur le long terme, il s'agit d'encourager une autre conception du soin s'intégrant dans une perspective de santé planétaire contribuant à un monde équitable, durable, et sain. **La force du projet réside également dans son caractère pluridisciplinaire à travers la collaboration d'ingénieurs, de médecins et de spécialistes en santé publique. Ce dialogue des points de vue et des compétences permet d'aborder les problématiques posées de manière transversale afin de construire une démarche de transition globale tournée vers l'action, centrée sur le patient et les écosystèmes dont il dépend.**

## **L'ENCADREMENT**

### **1. Directrice de thèse : Dr Cécile Legallais (DR1 CNRS, Laboratoire de Biomécanique et Bioingénierie, UTC)**

C. LEGALLAIS travaille depuis le début des années 1990 dans le domaine de l'élimination des toxines sanguines par des procédés membranaires (hémodialyse, plasmaphérèse thérapeutique, foie bioartificiel extracorporel). Ses travaux lui ont valu la médaille de Bronze du CNRS en 2003. Elle est co-auteur de plus de 110 publications scientifiques en lien avec les organes artificiels et a présidé de 2017 à 2019 l'European Society for Artificial Organs. Depuis 4 ans, elle s'intéresse à la problématique de la « dialyse verte », et vient d'achever l'encadrement d'une première thèse sur le sujet à l'UTC (A. Abarkan, thèse en co-tutelle avec le Prof. Sqalli Housseini, Université de Fès, Maroc, soutenue le 16/12/2021). Ce projet a été retenu par la Boîte à Idées de l'ITE. Le présent projet de thèse bénéficiera notamment du soutien de la Société Francophone de Néphrologie, Dialyse, et Transplantation, dans le cadre du groupe de travail « Néphrologie verte » (<https://www.sfndt.org/vie-de-la-societe/commissions-groupes-de-travail>) .

### **2. Co-encadrement : Dr Pierre Antoine Michel (Praticien hospitalier, Service Néphrologie et Dialyses, Hôpital Tenon)**

P-A. MICHEL est praticien Hospitalier dans le service de Néphrologie et Dialyses à l'hôpital universitaire TENON (Sorbonne Université – APHP) depuis 2011. L'unité de dialyse dont il est responsable est la plus importante de l'APHP (16 000 séances/an). Il s'engage notamment pour une vision globale de la prise en charge des patients hémodialysés. Dans ce cadre, il participe à des travaux sur la qualité de vie des patients en dialyse et sur l'impact de la crise sanitaire actuelle sur la prise en charge de ces patients (18) (19).

### **3. Co-encadrement : Dr Laurie Marraud (EHESP)**

L. MARRAUD, Docteur en sciences de gestion (Télécom ParisTech), est Maîtresse de Conférences à l'Ecole des Hautes Etudes en Santé Publique (EHESP) au sein de l'UMR 6051 ARENES spécialisée sur la question des usages des technologies numériques en santé et sur les systèmes de santé durable. En 2019, elle rejoint le Think Thank The Shift Project pour travailler sur les problématiques de santé numérique durable en co-pilotant le rapport sur la sobriété numérique. En 2020 elle pilote le travail sur le rapport « Décarbonons la santé pour soigner durablement », présentant une des analyses sectorielles du Plan de Transformation de l'Economie Française. En 2021, elle participe à l'écriture d'un rapport ministériel sur « l'impact environnemental du numérique en santé » porté par la délégation ministérielle du numérique en santé.

**Profil recherché :** du fait de la pluridisciplinarité du projet, le profil est assez ouvert : M2 en sciences/ingénierie avec un intérêt pour le secteur médical et la démarche de développement durable, capacité de travailler à l'interface et avec des interlocuteurs variés.

## **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

1. Masson-, Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. P an, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis M, Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelek i, R. Yu. IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. In Press. 2021.
2. Romanello M, McGushin A, Di Napoli C, Drummond P, Hughes N, Jamart L, et al. The 2021 report of the Lancet Countdown on health and climate change: code red for a healthy future. *Lancet*. 2021;398(10311):1619–62.
3. The Shift Project. Décarboner la santé pour soigner durablement. 2021;
4. Karliner J, Slotterback S, Boyd R, Ashby B, Steele K. Health Care's Climate Footprint How the Health Sector Contributes. ARUP. 2019
5. REIN-Rapport annuel. Réseau Epidémiologie , Information , Néphrologie : Rapport 2019. Agence la Biomédecine. 2019;
6. Liyanage T, Ninomiya T, Jha V, Neal B, et al. Worldwide access to treatment for end-stage kidney disease: A systematic review. *Lancet* 2015.
7. Barraclough KA, Agar JWM. Green nephrology. *Nat Rev Nephrol* [Internet]. 2020;16(5):257–68.
8. Connor A, Lillywhite R, Cooke MW. The carbon footprint of a renal service in the United Kingdom. *Qjm*. 2010;103(12):965–75.
9. Lim AEK, Perkins A, Agar JWM. The carbon footprint of an Australian satellite haemodialysis unit. *Aust Heal Rev*. 2013;37(3):369–74.
10. Mtioui N, Zamd M, Ait Taleb A, Bouaalam A, Ramdani B. Carbon footprint of a hemodialysis unit in Morocco. *Ther Apher Dial*. 2021;25(5):613–20.
11. Piccoli GB, Cupisti A, Aucella F, Regolisti G, Lomonte C, Ferraresi M, et al. Green nephrology and eco-dialysis: a position statement by the Italian Society of Nephrology. *J Nephrol* [Internet]. 2020;33(4):681–98.
12. Ahmed Abarkan; Hubert Metayer; Tarik Sqalli Housseini; Cécile Legallais. La dialyse verte : Diminuer l'impact environnemental des eaux de dialyse, c'est possible ! *Tech Hosp - La Rev des Technol la santé*. 2019;n° 775/
13. Patel SK, Biesheuvel PM, Elimelech M. Energy Consumption of Brackish Water Desalination: Identifying the Sweet Spots for Electrodialysis and Reverse Osmosis. *ACS ES&T Eng*. 2021;1(5):851–64.
14. Abarkan A, Grimi N, Métayer H, Houssaïni TS, Legallais C. Electrodialysis Can Lower the Environmental Impact of Hemodialysis. *Membranes* (Basel). 2022;12(1).
15. ADEME. Réalisation d'un bilan des émissions de gaz à effet de serre - Guide sectoriel établissements sanitaires et médico-sociaux. ADEME, 2020.
16. GUIGNARD Q. Guide méthodologique Bilan Carbone (V8) : Objectifs et principes de comptabilisation. Assoc Bilan Carbone. 2017;(8):40.
17. Limb M. NHS could save £1bn by adopting green strategies used in kidney units. *BMJ*. 2013;346(January):2013.
18. Target N, Courivaud C, Michel PA, Daoud S, Thomas M. Comparison of physical activity and quality of life in home haemodialysis (HHD) patients versus conventional in-centre haemodialysis (ICHHD) patients: the observational, longitudinal, prospective, international, multicentric SeCoIA study protocol. *BMC Nephrol*. 2020;21(1):1–8.
19. Michel PA, Piccoli GB, Couchoud C, Fessi H. Home hemodialysis during the COVID-19 epidemic: comment on the French experience from the viewpoint of a French home hemodialysis care network. *J Nephrol* [Internet]. 2020;33(6):1125–7.