

Il était une fois la néphrologie

Épisode 4. Histoire de l'hémodialyse chronique

Once upon a time in nephrology

Episode 4: The history of chronic hemodialysis

Charles Chazot

Clinique Charcot, Sainte-Foy-lès-Lyon, France

Correspondance : C. Chazot
chchazot@gmail.com

L'hémodialyse chronique (HDC) représente, dans l'histoire de la médecine, une avancée majeure, permettant une survie prolongée de plusieurs années, voire de plusieurs décennies, à des patients exposés à une mortalité certaine à court terme au stade de défaillance rénale. Une première pour un organe vital...

C'est Belding H. Scribner qui, le premier, a mis en place, en 1960 [1], un programme de séances répétées permettant la survie de patients sans espoir de retrouver une fonction rénale. Avant cette avancée majeure, l'hémodialyse était prescrite et mise en œuvre depuis 1945 dans des situations d'insuffisance rénale aiguë dont on attendait la récupération, la dialyse permettant de « passer le cap », à l'instar de Teschan *et al.* [2] pendant la guerre de Corée au début des années 1950 ou lors des redoutables infections post-abortives à *Clostridium* [3].

Le professeur Gabriel Richet fut co-organisateur du premier congrès de néphrologie tenu à Évian en septembre 1960. La communication de B.H. Scribner, rapportant la survie prolongée de six patients atteints d'une défaillance rénale traités par HDC deux fois par semaine, en fut le point d'orgue. Lors de la leçon inaugurale pour sa nomination à la chaire de néphrologie clinique et expérimentale, Gabriel Richet souligna, avec l'émphase à la mesure de cette avancée, « le miracle tous les trois jours » et le lien entre le patient et ses soignants, lien qualifié de « surnaturel » dans le titre de l'article du *Monde* rapportant cette leçon. Depuis 1960, l'HDC a beaucoup évolué pour devenir une routine sécurisée. Elle a progressivement perdu son statut « miraculeux » et le néphrologue son aura de « sauveur ». Elle est perçue par beaucoup comme une thérapeutique contraignante et, de surcroît, très coûteuse (entre 1 et 2 % du budget annuel de la Sécurité sociale pour 0,08 % de la population en 2025). Mais elle reste une avancée prodigieuse, tout en questionnant les patients, les néphrologues et soignants, et la société.

Dans ce texte sont rappelées les découvertes fondatrices du concept, et son évolution marquée par des avancées majeures. La dialyse péritonéale et les techniques de dialyse en réanimation ne sont pas abordées dans cette section.

Pour citer cet article : Chazot C. Il était une fois la néphrologie. Épisode 4. Histoire de l'hémodialyse chronique. *Nephrol Ther* 2026 ; 22 (4) : 216-225. doi : 10.1684/ndt.2026.193

Les avancées « pas à pas »

Guidé par des auteurs prestigieux [4, 5], on peut décrire ce cheminement historique ayant conduit à l'HDC de la façon suivante :

L'urée comme la mère des toxines. Les binéphrectomies expérimentales pratiquées chez l'animal au XVIII^e siècle montrèrent le tarissement du remplissage de la vessie et la mort de l'animal de façon décalée (Joseph Nicolas Comhaire, 1778-1837) avec l'apparition d'une odeur caractéristique proche de celle de l'urine, bien connue des médecins de l'époque au chevet de certains de leurs patients ; ceci laissant supposer que, lors des affections rénales, le sang se chargeait des constituants de l'urine. L'urée fut identifiée comme l'un des principaux composants de l'urine au XVIII^e siècle (Antoine Fourcroy, 1755-1809 et Nicolas Vauquelin, 1763-1829) et comme l'élément s'accumulant lors de la défaillance rénale, générant ainsi le terme d'« urémie ».

L'osmose. L'abbé Nollet (1700-1770) et Henri Dutrochet (1776-1847) jetèrent les bases de la connaissance sur le phénomène d'osmose en mettant en évidence le transfert d'eau à travers une membrane (vessie de porc, par exemple, utilisée par Nollet) vers différentes solutions contenant de l'alcool ou du glucose, créant une force générant une augmentation de la pression mesurable (premier osmomètre selon Dutrochet).

La diffusion. Elle est l'un des deux grands principes physiques de la dialyse, l'autre étant la convection (voir plus loin). La diffusion est l'échange de solutés entre deux solutions à travers une membrane semi-perméable, par gradient de concentration. Elle a été décrite dès 1850 par le chercheur écossais Thomas Graham (1805-1869), puis appliquée à l'étude du transfert de l'urée depuis l'urine vers l'eau au travers d'une membrane en parchemin, cette opération étant dénommée « dialysis » par Graham en 1861 [6].

La « vividdiffusion ». Les travaux de Graham ont été traduits en dispositif pour des expérimentations animales (chiens) en 1913 par John Abel (1857-1938) de Baltimore afin d'extraire du sang certains composants afin de les analyser (peptides, hormones, etc.) ou d'éliminer des substances toxiques exogènes, telles que l'acide acétylsalicylique [7]. Ce dispositif, dénommé dans la presse « *artificial kidney* » était basé sur le recours à une circulation sanguine extracorporelle à partir de l'artère fémorale, avec l'hirudine comme anticoagulant, et à une série de tubes faits de membrane de nitro-cellulose (collodion semi-perméable) au sein desquelles circulait le sang canin. Le dispositif n'est pas sans rappeler les dialyseurs

actuels. L'expérimentation animale fut poursuivie par Heinrich Necheles (1897-1979) qui modifia le « *design* » du rein artificiel en utilisant le péritoine de veau disposé à la façon d'un filtre à plaques, ancêtre du rein de Kiil, et en introduisant l'héparine comme anticoagulant (voir plus loin).

Les premières séances chez l'humain. C'est Georg Haas (1886-1971) qui, le premier, a appliqué l'hémodialyse à 11 patients [8] à Giessen en Allemagne à partir de 1924 en utilisant le collodion comme membrane. Les séances ne durèrent que quelques dizaines de minutes ; aucun patient ne survécut. L'un des facteurs limitants était l'hirudine et sa toxicité.

La découverte de l'héparine. L'hirudine posait des problèmes d'extraction, de coût et de toxicité. Les travaux de William Henry Howell (1860-1945) et Jay MacLean (1880-1957) à Baltimore ont permis d'extraire du foie une substance à forte activité anticoagulante nommée en 1918 « héparine », qui a rapidement suscité un fort intérêt, entre autres, pour les circulations extra-corporelles, sans les difficultés inhérentes à l'hirudine.

L'acétate de cellulose ou Cellophane[®], enfin une membrane simple à utiliser. Promue par William Thalhimer (1884-1961 ; Richmond, Virginia), cette membrane semi-perméable, issue de l'industrie pour l'emballage ou la fabrication des saucisses, avait pour avantage, outre sa production industrielle, une régularité de sa surface dépourvue de trous. Elle était utilisée dans les laboratoires pour la purification de solutions ou l'extraction de composants.

Willem Kolff (1911-2009), premier pionnier de l'hémodialyse clinique. Willem Kolff était un médecin hollandais de Groningen, puis de Kampen (où il se réfugia durant la Seconde guerre mondiale) et humainement frustré par les décès de patients atteints d'insuffisance rénale aiguë, dont on connaissait le potentiel de réversibilité. Il inventa l'ancêtre des générateurs d'hémodialyse, « rein artificiel à tambour rotatif » [5]. Ce dispositif comprenait un boyau de cellophane de plusieurs dizaines de mètres contenant le sang du patient, enroulé sur le tambour rotatif constitué de lattes de bois et en partie immergé dans une cuve contenant jusqu'à 100 litres de dialysat. L'abord vasculaire était assuré par dénudation vasculaire chirurgicale. Les premiers traitements furent des échecs, mais en 1945, une patiente de 67 ans survécut à une atteinte rénale aiguë secondaire à une angiocholite urémigène traitée par sulfamides. Devant l'accueil peu enthousiaste et la réticence de la communauté médicale hollandaise, Kolff émigra aux États-Unis où il contribua à la mise au point industrielle de sa machine de dialyse. La guerre de

Corée contribua à démontrer l'efficacité du traitement, permettant de passer le cap de l'atteinte rénale aiguë et sauvant la vie de nombreux soldats. Le traitement connut un essor considérable à partir du milieu des années 1950, soit 10 ans après la survie de la première patiente traitée. Kolff n'envisageait pas d'appliquer ce traitement aux patients avec des néphropathies chroniques atteints de défaillance rénale. Ce fut Nils Alwall (1904-1986) de Lund en Suède qui, le premier, envisagea dès 1949 de traiter les patients atteints de défaillance rénale avec l'hémodialyse [9].

L'abord vasculaire, ou l'obstacle majeur pour l'HDC à la fin des années 1950. Avec l'héparine et la cellophane, ainsi qu'une « machinerie » rodée et améliorée pour traiter les atteintes rénales aiguës, le problème essentiel à résoudre pour répéter durablement les séances en cas de défaillance rénale était celui de l'accès au sang. En 1960, le shunt de Quinton-Scribner fut présenté comme une solution durable [10]. Ce tube, ou canule, en polytétrafluoroéthylène (PTFE) (matériau inerte, non sensible aux variations de température, et dépourvu de toxicité) était inséré chirurgicalement à une de ses extrémités sur une artère, classiquement la radiale de l'avant-bras, et sur une veine pour l'autre extrémité, comme la veine radiale à l'avant-bras par exemple. La canule était déconnectable en son milieu après clampage des deux versants pour être connectée à la circulation extracorporelle. Il n'y avait pas forcément le besoin d'une pompe, la pression artérielle en accès direct pouvant assurer la circulation extra-corporelle à condition que le rein artificiel offre une faible résistance, essentiellement avec des reins à plaques comme le rein de Kiil. Entre les séances, le sang circulait dans le shunt après reconnexion des deux branches à l'aide d'une pièce intermédiaire appelée un « double biseau ». La thrombose du shunt était une urgence à traiter car elle exposait à la perte du vaisseau artériel. Le shunt artério-veineux (AV) a connu une version fémoro-fémorale, le shunt de Thomas [11]. En 1963, Stanley Shaldon (1921-2013), à Londres, avait proposé une alternative au shunt AV avec le cathétérisme itératif de la veine fémorale, puis le cathéter veineux fémoral permanent [12].

Les premières séances d'hémodialyse chronique

Malgré la publication de Nils Alwall, il a fallu attendre 15 ans après le développement de l'hémodialyse dans le traitement de l'insuffisance rénale aiguë réversible pour que la méthode soit appliquée à des patients atteints de défaillance rénale. Ce fut effectif pour la première fois à Seattle, à l'initiative du Pr Belding Scribner (1921-2003).

Le premier patient traité fut Clyde Shields, technicien chez Boeing, âgé de 39 ans et atteint d'une néphropathie protéïnurique au stade terminal. Les constats relatés par Scribner et *al.* sont les suivants [1].

Un patient « au bout du rouleau » : patient alité depuis des semaines avec une intolérance digestive totale, des tremblements et un état de conscience fluctuant. La clairance de créatinine était calculée à 3,7 mL/min.

Première séance d'une durée de... 76 heures (!!) avec un débit sanguin moyen de 100 mL/min à partir d'un shunt AV permettant de réduire la créatininémie de 1 500 à 540 μ moles/L et un effet spectaculaire sur l'état général les jours suivants. Les séances successives furent décidées sur la récurrence des symptômes urémiques (tableau 1).

TABEAU 1 • Les premières séances de Clyde Shields [1].

Année 1961	Durée de la séance (heures)	Intervalle interdialytique (jours)
9 mars	76	1 ^{re} séance
21 mars	48	12
29 mars	36	8
5 avril	48	6
13 avril	30	8
18 avril	72	5
28 avril	36	10
4 mai	46	6

Le poids sec dès les premiers jours : le patient présenta une poussée d'hypertension artérielle (HTA) maligne à 230/140 mmHg les jours suivant la première séance, traitée par la restriction sodée stricte et une ultrafiltration lors des séances suivantes, permettant la correction totale de l'HTA au prix d'une perte de 7 kg à la fin de la cinquième séance. Cette décision thérapeutique s'appuyait sur la connaissance de Scribner de l'expérimentation animale, montrant une expansion du volume extracellulaire chez les chiens binéphrectomisés.

Déjà le rôle de la fonction rénale résiduelle : le délai entre les séances, au gré de l'état urémique, devint de plus en plus court. Scribner expliquait ce constat par la baisse progressive de la clairance de la créatinine, passée en quelques semaines de 4 à 1 mL/min. Le rôle de la fonction rénale résiduelle fut ainsi dans le berceau des premières séances. La prescription des séances de Clyde

Shields, initialement réalisée à la demande, devint fixe à deux séances hebdomadaires de 12 heures.

Les questions posées par Scribner dans la discussion et les conclusions de la publication étaient les suivantes : les inquiétudes concernant **l'évolution neurologique** des patients au cas où des toxines responsables du coma urémique ne seraient pas épurées ; **le risque nutritionnel** en raison de la crainte de dialyser des composants essentiels, ainsi que le questionnement de la ration protéique à prescrire au patient ; la **prise en charge de l'anémie** avec discussion avec, déjà, le rôle évoqué de la carence en érythropoïétine. Clyde Shields survécut 11 ans sans troubles neurologiques, en ayant repris le travail [13] et décéda d'un infarctus du myocarde.

L'expérience singulière de Tassin

Je suis arrivé au Centre de rein artificiel de Tassin (CRAT) situé à Tassin-la-Demi-Lune, dans la banlieue lyonnaise, le 1^{er} septembre 1989, soit près de 30 ans après la première dialyse de Clyde Shields et 20 ans après la fondation du CRAT (1969). Le CRAT était dirigé par son fondateur, le Dr Guy Laurent, néphrologue historique qui avait mis en œuvre, au début des années 1960, l'HDC lyonnaise sous l'autorité du Pr Jules Traeger (1920-2016) à l'hôpital de l'Antiquaille (Hospices civils de Lyon). Je rejoignais une équipe que je connaissais déjà. J'avais été invité depuis plusieurs années par le Dr Édouard Calemard, premier associé de Guy Laurent, à participer au « Journal Club » mensuel, animé par le Dr Bernard Charra, formé à Seattle chez BH Scribner, et qui a publié beaucoup de travaux sur les données de Tassin. Il faut bien reconnaître que, dans ce centre privé, peu de choses avaient changé depuis les années 1960. Cette expérience a été relatée dans le *Bulletin du Club des jeunes néphrologues* [14] et peut se résumer comme suit.

Une technique encore ancestrale

Des consoles Martin®, mises au point par Guy Laurent avec un entrepreneur lyonnais dans les années 1960, étaient alimentées par une distribution centrale de dialysat. Elles étaient équipées de manomètres pour la surveillance, entre autres, de la pression du dialysat et de la pression sur le retour veineux, permettant de calculer le gradient de pression transmembranaire (PTM). Il n'y avait pas de maîtres d'ultrafiltration (UF) et la perte de poids était déterminée par la prescription du gradient de PTM, avec une quantité d'UF reproductible d'une dialyse sur l'autre selon la prescription de ce gradient. La membrane en acétate de cellulose (basse perméabilité) sur un rein de Kiil était utilisée chez la majorité des patients. Le rein de Kiil était monté sur un cadre métallique à roulettes afin

de pouvoir être déplacé facilement, son poids pouvant atteindre 15 kg. Il était constitué de trois plaques de polypropylène rainurées pour faciliter la circulation des fluides, avec deux membranes de cellophane enserrées entre les trois plaques, séparant les deux compartiments du sang et du dialysat circulant à contre-courant. Jusqu'à huit techniciens travaillaient à temps plein au CRAT pour le montage des reins de Kiil qui, paradoxalement à la taille du dispositif, avaient une surface d'échange limitée et estimée à 1 m². Le serrage des boulons assemblant les plaques devait être rigoureusement contrôlé au moyen d'une clé dynamométrique, un serrage trop violent pouvant altérer la circulation des phases liquides. Avant chaque utilisation, le rein était stérilisé au formol. Cette procédure nécessitait un rinçage généreux et un contrôle par bandelette pour vérifier l'absence de formaldéhyde. Le dialysat était distribué de façon centralisée avec une composition uniforme pour tous les patients (Na = 138 ; K = 2 ; Ca = 1,75 ; Mg : 0,50 ; acétate : 35 mmol/l). L'eau pour la dialyse provenait du réseau de ville, répondant à la réglementation de l'époque permettant un traitement d'eau réduit à la filtration et aux adoucisseurs, et sans osmose inverse.

Le dogme « 3 x 8 heures » pour tout le monde

Tous les patients étaient à ce régime, quels que soient leur âge ou leur poids, de jour ou de nuit, en centre et en auto-dialyse (UAD). À cette époque, la grande majorité des patients hémodialysés en France était déjà traitée 3 x 4 heures, modèle recommandé, depuis, au niveau européen [15]. Ce schéma était l'aboutissement d'une démarche pragmatique dans les années 1960. Pour accroître la disponibilité de l'offre de dialyse, le raccourcissement de la durée des séances a été proposé et étudié, entre autres, par Vincenzo Cambi *et al.* [16]. Les premiers résultats ne montrant pas d'augmentation patente de la morbidité, la tendance des 3 x 4 heures s'est généralisée. Sur le plan organisationnel, cette prescription de dialyse « courte » a permis une organisation efficace et accessible au plus grand nombre, entérinant *de facto* le concept du « *one size fits all* » [17] (« la même chose pour tout le monde »), laissant peu de marge de manœuvre aux néphrologues pour individualiser le traitement. Guy Laurent, Édouard Calemard et Bernard Charra, les néphrologues « seniors » du CRAT, ont résisté longtemps au raccourcissement de la séance, anticipant les complications à venir comme les hypotensions intra-dialytiques, l'hypertension artérielle (HTA), les désordres phosphocalciques, la dénutrition et la mortalité accrue. Lors du congrès de l'*European Renal Association – European Dialysis and Transplant Association* (ERA-EDTA) de Londres, en 1983, une controverse opposa Vincenzo Cambi et Guy Laurent sur la durée de la séance de dialyse.

Le modérateur conclut avec malice et acuité : « *Tout le monde pense comme Guy Laurent mais tout le monde fait comme Vincenzo Cambi* ». Depuis les avantages des séances longues ont été mis en avant [18].

Le poids sec en religion

« Quand le patient ne va pas bien, baisse le poids » : le contrôle du volume extracellulaire (VEC) a toujours été la pierre angulaire de la prise en charge des patients hémodyalisés au CRAT. L'HTA en dialyse n'avait qu'une seule explication : la surcharge hydrosodée. La moindre trace d'œdèmes des membres inférieurs ou de veine jugulaire saillante était traquée. La consigne du régime pauvre en sel était rappelée au patient de façon récurrente. Le sodium du bain était à 138 mmol/l. La correction de l'HTA par le « *probing* » (littéralement « par coup de sonde », i.e. baisse progressive du poids de fin de dialyse) était efficace [19]. Une pression artérielle normale était considérée comme le marqueur de la normalisation du VEC et fut mise en avant comme cause de la longévité inhabituelle des patients dialysés au CRAT [20]. La dialyse longue permettait une correction du VEC sans incidents, avec une fréquence réduite des hypotensions perdialectiques (< 5 %). Bernard Charra décrit par ailleurs l'hypothèse du « *lag phenomenon* », c'est-à-dire le décalage dans le temps entre la normalisation du VEC et la stabilisation retardée de quelques semaines ou quelques mois de la pression artérielle [21], attribué à la correction du remodelage vasculaire dépendant de l'excès de VEC et du sodium tissulaire.

L'autonomie grâce au programme d'HD à domicile

Stanley Shaldon fut le premier à installer des patients en HD à domicile [22]. Ce fut une alternative largement utilisée au CRAT dès la fondation de la structure en 1969 qui permettait, outre la participation active du patient à son traitement, de permettre un accès à la technique à une époque où les structures de dialyse étaient souvent très éloignées du domicile des patients. En 1989, 25 % des 200 patients étaient encore traités à domicile, en HD longue nocturne pour la grande majorité des patients, sur rein de Kiil monté par les patients eux-mêmes, utilisé au moins trois fois par semaine, sans maîtreur d'ultrafiltration. Un cycle de désinfection de la machine et du circuit de dialyse intervenait après chaque séance. Le dialysat était délivré à partir d'un générateur Martin®, à partir d'eau adoucie contrôlée selon les normes en vigueur par la pharmacie du CRAT, et de concentré acide à l'acétate stocké généralement en cuve. La logistique technique et les livraisons étaient organisées depuis le CRAT, parfois à plusieurs centaines de kilomètres, voire à l'étranger

(ex-Yougoslavie par exemple). Les patients étaient suivis médicalement en présentiel tous les trimestres, mais l'astreinte technique et médicale était assurée 24 heures sur 24, 7 jours sur 7. Il n'était pas rare, en cas d'échec de l'auto-ponction, que les patients les plus proches se déplacent en conduisant leur véhicule pour se faire ponctionner au centre, avant de regagner leur domicile pour faire leur séance, aiguilles en place et raccords héparinés. À partir du milieu des années 1990, la réutilisation des dialyseurs a été interdite en centre mais aussi à domicile.

L'amylose des dialysés

À mon arrivée en 1989, beaucoup de patients avaient déjà une longue ancienneté en dialyse, souvent de plus de 20 ans, les premiers traitements ayant débuté à Lyon de manière régulière en 1964. Les indications de chirurgie du canal carpien étaient nombreuses. La mise en évidence de l'amylose dans cette pathologie avait été décrite par l'équipe du CRAT [23]. J'avais été frappé par les mains des patients qui apparaissaient très enraidies, comme sclérosées, et beaucoup d'entre eux se plaignaient de difficultés dans les gestes de la vie courante [24]. Mais la sévérité de l'amylose pouvait être majeure avec les atteintes de la colonne cervicale (comme les fractures de l'odontoidé) avec un risque de tétraplégie et de mortalité [25]. Plus tard, la β 2-microglobuline a été identifiée comme le composant principal de cette amylose. Cette complication n'est plus une préoccupation fréquente grâce au développement de la greffe, à l'utilisation de membranes à haute perméabilité épurant la β 2-microglobuline, à la réduction des stimulations des vecteurs d'inflammation grâce à des membranes plus biocompatibles et à l'utilisation d'eau ultrapure, mais également en raison de l'âge croissant des patients incidents et donc d'une longévité moins importante.

L'évolution au fil du temps en quelques avancées majeures

La fistule artérioveineuse

La fistule artérioveineuse (FAV) fut incontestablement la première avancée majeure. En 1966, la publication de Brescia *et al.* [26] a démontré qu'il était possible de réaliser la séance de dialyse avec deux ponctions veineuses sur une veine artérialisée, sans recourir à un dispositif externe. En France, c'est Hugues Ton That (1931-2020) qui, à Toulouse, a créé la première FAV pour HDC [27]. Elle a rendu l'accès au sang routinier, malgré les complications inhérentes de sténoses, thromboses, et infections, moins dommageable que celles des shunts AV ou du cathétérisme fémoral. À Tassin, les FAV étaient faites

sous anesthésie locale par les néphrologues seniors au bloc de la clinique. Les médecins étaient très impliqués dans la ponction des fistules difficiles. La technique du « *button hole* » avec des cathlons de 14 gauge, était la règle, favorisant l'autonomie de la ponction très fortement encouragée auprès des patients. En cas d'échec de création de fistule, l'abord alternatif était le shunt artérioveineux fémoral de Thomas, puis progressivement la pose de cathéters veineux centraux promus par Bernard Canaud [28] grâce à l'apport de la technique par les néphrologues les plus jeunes. Avec le retrait progressif des néphrologues historiques qui réalisaient les fistules, et les exigences techniques du maintien de la perméabilité et de l'efficacité de la FAV, les chirurgiens vasculaires, angiologues et radiologues interventionnels (selon les disponibilités locales) sont devenus des partenaires essentiels des néphrologues, ouvrant une collaboration multi-disciplinaire indispensable.

Le dialysat au bicarbonate

Dans les premières années de l'HDC, il fallut faire face à des défis technologiques, dont celui de la précipitation et cristallisation du mélange calcium et bicarbonate dans le dialysat. La première solution fut proposée en 1964 par Charles Mion à Montpellier, lors de sa collaboration avec Belding H. Scribner, en remplaçant le bicarbonate par l'acétate, transformé en bicarbonate au niveau du foie et des muscles, compensant ainsi la fuite des bicarbonates pendant la séance [29]. De nombreux effets secondaires ont été par la suite attribués à la grande quantité d'acétate présente dans le dialysat (habituellement 35 mmol/l), notamment une mauvaise tolérance hémodynamique, des nausées et des vomissements, des céphalées et des troubles métaboliques comme l'hypertriglycéridémie [30]. L'évolution technique des générateurs a permis de revenir au bicarbonate comme tampon, par le mélange instantané du bain acide contenant le calcium avec les bicarbonates, sous forme de solution liquide en bidon, ou en poudre sous forme de cartouche. La généralisation du dialysat au bicarbonate a permis d'amener de la sérénité dans les unités de dialyse en réduisant les effets secondaires.

L'étude NCDS, la naissance du $Kt/V_{urée}$ et de la quantification de la dialyse, et le symposium de Dallas (1989)

La *National Cooperative Dialysis Study* (NCDS) est le premier essai clinique prospectif en hémodialyse chronique, qui a étudié, chez 151 patients, la mortalité et la fréquence d'hospitalisation (« échec ») en fonction de la durée de séance et de la concentration moyenne d'urée rapportée au temps (*Time Average Concentration* de

l'urée [$TAC_{urée}$]) [31]. Les patients, dont les apports en protéines étaient libres, étaient divisés en quatre bras selon la durée (4 h 30-5 h 00 *versus* 3 h 00) et le $TAC_{urée}$ (16,5 *versus* 8,3 mmol/l), en équivalence d'une valeur pré-dialytique de milieu de semaine à respectivement 20 et 11,7 mmol/l. La cible de $TAC_{urée}$ était obtenue en ajustant la surface du dialyseur, le débit sanguin et celui du dialysat, et le sens de circulation du dialysat. La sortie d'étude était liée au décès, à l'hospitalisation, à la greffe ou à d'autres motifs (volonté du patient, déménagement, etc.). Au final, aucune différence de mortalité ne fut constatée, mais les patients assignés au $TAC_{urée}$ haut furent significativement plus souvent hospitalisés. La durée des séances fut retrouvée non significative sur le taux d'hospitalisation, mais avec une valeur de p entre 0,05 et 0,06, reléguant la durée de traitement aux oubliettes des facteurs importants [32]. Fort de ce résultat, l'urée devint la référence de la qualité de dialyse, et les travaux de F. Gotch *et al.* [33] aboutirent au concept du $Kt/V_{urée}$ avec une cible à 1,0. Quelques années après l'étude NCDS et l'avènement de son pendant le $Kt/V_{urée}$, le constat fut que les patients traités en HDC aux États-Unis présentaient une survie plus courte que dans des pays industrialisés comparables. Ce fut l'objet d'un symposium à Dallas (Texas) en 1989 (*Morbidity, Mortality and Prescription of Dialysis Symposium*) bien résumé par Hull 20 ans plus tard [34]. Les trois questions posées étaient : 1/ La mortalité en HDC est-elle plus élevée aux États-Unis que dans les autres pays industrialisés ? ; 2/ La mortalité est-elle en augmentation ? ; 3/ Les différences s'expliquent-elles par la prescription de la dialyse ou par la sélection des patients pris en charge ? Selon Allan Hull, les réponses furent : 1/ Oui, la mortalité annuelle globale non ajustée était de 23 % aux États-Unis, contre 13,5 % en Australie et 7,5 % en France ; 2/ Oui, la mortalité augmentait ; 3/ Le coupable principal retenu au sein de nombreuses théories fut la durée courte de la séance basée sur le seul $Kt/V_{urée}$. Ceci permit de ramener « au centre de l'unité de dialyse » des facteurs importants de la dialyse adéquate comme le contrôle de la pression artérielle et du volume extracellulaire, l'équilibre hémodynamique durant la séance, le taux horaire d'ultrafiltration, le contrôle de la phosphatémie et l'équilibre nutritionnel, favorisés par des séances suffisamment longues.

L'érythropoïétine ou la fin des transfusions itératives

La carence en érythropoïétine (EPO) était connue lorsque Clyde Shields commença son traitement d'HDC [1]. Pendant les 30 premières années de la thérapie efficace de la défaillance rénale, la problématique de l'anémie restait entière et non résolue de façon satisfaisante avec des transfusions souvent itératives, ou l'utilisation des

androgènes peu maniables. Les mécanismes de l'anémie étaient connus : durée de vie réduite des hématies, carence en EPO, impact des toxines urémiques sur la moelle osseuse [35]. L'accès à l'EPO comme thérapie a globalement (même si parfois imparfaitement) réglé le problème chez la grande majorité des patients. Le gène de l'EPO a été séquencé en 1985 [35] et le premier essai clinique chez l'humain a été publié en 1987 [36], constituant une prouesse scientifique. Dans cette première étude, l'hématocrite gagna jusqu'à 10 % selon les doses administrées chez 25 patients, et 12 d'entre eux transfusés régulièrement purent en être sevrés.

Les prémices de la convection comme principe essentiel à l'épuration

Dans la technique initiale de l'HDC, la diffusion était le principe physique principal des échanges de solutés par gradient de concentration. La convection (par gradient de pression) permettait la perte de poids. Après plusieurs décennies d'HDC, le constat était que la mortalité restait élevée, principalement d'origine cardiovasculaire, mais également infectieuse et nutritionnelle. La tolérance à l'ultrafiltration était médiocre chez certains patients, d'autres souffraient de dénutrition, et les patients non greffés, restés longtemps en dialyse, souffraient d'amylose articulaire à β 2-microglobuline, comme évoqué précédemment. Les hypothèses pouvant expliquer ces limitations ont été bien développées par Bernard Canaud [37]. Elles peuvent être résumées ainsi : l'accumulation de toxines urémiques de poids moléculaire supérieur aux capacités des membranes celluloseuses (« *middle molecule hypothesis* »), avec en corollaire les limites du $Kt/V_{urée}$ (« *small molecule hypothesis* » découlant de l'étude NCDS et questionnée au Congrès de Dallas) ; la bio-incompatibilité des membranes non synthétiques et du dialysat non stérile pourvoyeurs d'activation répétée des monocytes/macrophages, de la production d'interleukines et d'inflammation ; l'instabilité hémodynamique favorisée, en plus d'une durée raccourcie des séances et par l'acétate du dialysat. Ces constats aboutirent au développement industriel de membranes à haute perméabilité et à haut flux, à la généralisation des maîtres d'ultrafiltration, du dialysat au bicarbonate et des techniques sans acétate. La convection démontra une capacité supérieure à la diffusion pour l'épuration des toxines de poids moléculaire moyen ou élevé. L'hémofiltration (HF ; convection sans diffusion) fut utilisée comme alternative à l'HDC classique mais avec la contrainte d'un haut volume de substitution nécessaire pour l'efficacité (> 40 L), sous forme de poches de manipulation difficile, avant l'ère de la production en ligne du dialysat stérile et apyrogène. L'HF démontra une meilleure tolérance hémodynamique et des résultats encourageants sur la

mortalité. L'hémodiafiltration (HDF), combinant diffusion et convection « forcée/substituée », fit son apparition dès 1978 [38] avec des poches de 5 L de liquide de substitution et avec un maître d'UF asservi au volume de réinfusion. Bernard Canaud décrit très bien l'évolution de la technologie et de la généralisation de l'osmose inverse pour aboutir à la production « *on-line* » du dialysat ultra-pur, allégeant très significativement l'intendance de l'HDF et permettant sa généralisation dans l'offre de soins à disposition des patients et des néphrologues.

Quoi de neuf depuis l'an 2000 ou « l'ère moderne » de l'HDC

La notion d'« ère moderne » ne peut être par essence qu'une définition temporaire. Mais en matière d'HDC, le premier quart du XXI^e siècle répond parfaitement à cette expression, assise sur les fondamentaux des 40 premières années de la technique et l'expérience de ses pionniers.

Les essais cliniques

La néphrologie a emboîté le pas d'autres spécialités en matière de connaissance basée sur les preuves. Les essais cliniques se sont multipliés pour mieux traiter les patients en termes d'épuration, de membranes, et de convection. Citons l'étude HEMO [39] qui a testé deux doses de dialyse en termes de $Kt/V_{urée}$ (1,2 versus 1,6) et deux types de membranes (basse versus haute perméabilité). Cet essai n'a pas montré de bénéfice en termes de survie associée à une dose de dialyse plus élevée, ni à l'utilisation d'une membrane plus perméable. Néanmoins, une analyse *post-hoc* a montré une moindre mortalité dans le sous-groupe des femmes ayant bénéficié d'un $Kt/V_{urée}$ plus élevé [40]. L'étude MPO [41] n'a pas retrouvé de bénéfice de survie lié à la perméabilité de la membrane, à l'exception des patients présentant une albuminémie < 40 g/L. Les premières études comparant l'HDC à haut flux à l'HDF post-dilution n'ont pas montré d'avantage de survie des techniques convectives, jusqu'à l'étude ESHOL [42], puis l'étude CONVINCENCE [43], dans lesquelles le volume convectif était clairement défini et atteint avec une mortalité significativement réduite avec l'HDF. Par ailleurs, des alertes ont été lancées sur l'intermittence du traitement de l'HDC. L'intervalle entre deux séances aboutit à une vague métabolique et de surcharge hydrosodée non physiologique. Foley *et al.* [44] ont montré une augmentation de la mortalité en début de semaine, après l'intervalle prolongé du week-end. Galland *et al.* [45] ont rapporté le bénéfice de la dialyse quotidienne en matière de nutrition et de contrôle de la phosphatémie. Le groupe *Frequent Hemodialysis Network* (FHN) a comparé,

chez des patients traités en unités de dialyse, de façon randomisée et contrôlée, la dialyse courte fréquente à l'HDC conventionnelle (*daily trial*), montrant, à un an, un avantage significatif sur les deux co-objectifs primaires combinés (mortalité et augmentation de la masse ventriculaire d'une part et mortalité et baisse du score de santé physique d'autre part). La mortalité n'était pas différente. Les patients du groupe dialyse courte fréquente ont eu plus d'interventions en relation avec l'abord vasculaire. Un autre essai du groupe FHN a comparé la dialyse fréquente longue nocturne à l'HDC conventionnelle (FHN *nocturnal trial*) sur les mêmes critères que le FHN *daily trial*. L'essai, qui n'a pu inclure qu'un faible nombre de patients, essentiellement incidents, avec une puissance largement en dessous de ce qui était prévu, a été négatif. On peut regretter qu'il n'y ait pas eu un essai du groupe FHN comparant l'hémodialyse longue nocturne (HDLN) trois fois par semaine à l'HDC standard. Une étude prospective comparative non randomisée a été menée en Turquie avec 45 critères parfaitement « matchés » entre les deux groupes (HDLN versus HDC standard), montrant un avantage de survie de l'HDLN avec l'amélioration des critères intermédiaires d'ordres nutritionnel, cardiovasculaire, et du métabolisme minéral [46]. Enfin, les complications satellites de la maladie rénale chronique (MRC) en termes de nutrition, d'anémie, de métabolisme phosphocalcique ont également fait l'objet de plusieurs études randomisées contrôlées, ayant permis d'améliorer leur prise en charge.

Les recommandations

Les premières recommandations consacrées à l'HDC et ses problématiques ont été nord-américaines, avec les DOQI (*Dialysis Outcomes Quality Initiative*) [47], devenues KDOQI (*Kidney Disease Outcomes Quality Initiative*). Les KDIGO (*Kidney Disease: Improving Global Outcomes*), à l'initiative de la *National Kidney Foundation* ont ensuite proposé des recommandations basées sur des consensus d'experts internationaux. Ces recommandations, régulièrement mises à jour, sont une source importante de formation médicale continue et d'informations pour les néphrologues, les soignants et les patients. Par ailleurs, la Société francophone de néphrologie, dialyse et transplantation (SFNDT) met à disposition des professionnels francophones de la dialyse des recommandations issues de groupes de travail [48].

Les bases de données

Les grandes bases de données dédiées à la dialyse offrent actuellement un suivi épidémiologique précieux, et des alternatives en recherche clinique palliant les difficultés de mise en place complexe et coûteuse d'essais

randomisés contrôlés. Le registre REIN est devenu, 20 ans après sa création au niveau national [49], une institution dont le rapport annuel s'est rendu indispensable à tous les acteurs de la dialyse curative du profil des patients et des pratiques de la dialyse en France. Au niveau international, les rapports de l'ERA et de l'*United States Renal Data System* (USRDS) permettent de nous comparer aux données internationales. Une autre base très utile centrée sur les pratiques en dialyse est DOPPS (*Dialysis Outcomes and Practices Patterns Study*) qui recueille des données sur tous les continents, auprès de plusieurs milliers de patients en HDC, et publie des données épidémiologiques et cliniques précieuses. D'autres cohortes existent dans les organisations de dialyse internationales, associatives ou privées, qui fournissent elles aussi des études très utiles. Toutes ces sources de données et d'informations permettent de répondre aux questions des néphrologues et des soignants sur la prise en charge de leurs patients.

Quel futur pour l'hémodialyse chronique ?

Le monde de l'HDC évolue. La tendance relevée par le registre REIN est une baisse de l'incidence de 2 % par an depuis 2017 [50], analysée comme multifactorielle : développement du traitement conservateur pour les patients les plus âgés ; dépistage plus précoce de la MRC, mise en place des parcours MRC, et utilisation des nouveaux traitements néphroprotecteurs, notamment les gliflozines et les analogues du GLP1. À noter que, en 2024, 37 % des patients incidents avaient plus de 75 ans [51], laissant présager fragilité et comorbidité alourdissant la prise en charge.

Par ailleurs, 75 ans après la première dialyse de Clyde Shields, la question de la dialyse incrémentale est posée, témoignant de la vitalité de la réflexion sur les pratiques de l'HDC : est-il possible de débiter le traitement d'HDC avec une fréquence bihebdomadaire plutôt que de façon conventionnelle à trois fois par semaine ? Le niveau de preuve sur le résultat clinique de la dialyse incrémentale reste encore limité en termes de survie et d'événements cardiovasculaires [52], et des essais sont en cours.

Ces quinze dernières années ont vu la renaissance de l'HDC à domicile à la faveur de l'intérêt pour la dialyse quotidienne et les avancées technologiques permettant l'HDC à bas débit de dialysat [53]. En parallèle des efforts pour l'accès à la transplantation, cette modalité connaît un essor important avec une hausse de 18,5 % par an depuis 2012, même si elle ne représente encore, en 2024, qu'une faible proportion sur le total des patients (1,6 %) [51]. La réforme du financement de la dialyse en France prévoit une incitation financière dans le cadre

des « missions spécifiques » pour le développement de la modalité. Comme noté précédemment, l'âge élevé et ses corollaires (fragilité, comorbidités) sont un facteur limitant de la dialyse à domicile.

La parole des patients est de plus en plus audible et prise en compte *via* les associations de patients, acteurs très actifs auprès des tutelles et des organisations institutionnelles, comme la SFNDT qui propose, lors de son congrès annuel, un atelier d'échanges entre ces organisations et les professionnels de la dialyse. L'exemple de Fabrice Huré, fervent porte-drapeau de l'HDLN, modalité mal reconnue des professionnels et des tutelles, est emblématique [54]. Sur le plan scientifique, de nombreuses études, comme CONVINC par exemple [43], incluent des questionnaires de qualité de vie, ou d'autres outils spécifiques mesurant « l'expérience patient » (*Patient-Reported Outcome Measures* [PROMS] et *Patient-Reported Experience Measures* [PREMS]) [55]. Cette dimension devient incontournable dans toute analyse des avancées thérapeutiques et leur impact sur le vécu/ressenti des patients.

Enfin, l'HDC doit devenir « verte ». Les épisodes récents de canicule répétés nous rappellent douloureusement le défi actuel et à venir, face au réchauffement climatique, d'adapter toutes nos activités humaines dont celles du soin. Les efforts déployés pour faire face à la défaillance rénale doublent globalement pour un patient en HDC, et multiplient sur une année la consommation d'eau et l'empreinte carbone par rapport à la moyenne d'un citoyen en bonne santé. Le groupe « Néphrologie verte » de la SFNDT avance dans sa réflexion et propose, dans son guide actualisé en 2026, des actions pour réduire l'impact environnemental de l'HDC [56]. La prise de conscience de tous les acteurs est indispensable dans ce domaine, du patient au néphrologue en passant par les soignants, les directions, et les personnes des fonctions support. Nous sommes tous concernés !

Je tiens à ajouter un dernier commentaire plus personnel. Notre engagement dans la prise en charge des patients atteints de défaillance rénale a subi depuis plus de 10 ans des remises en cause répétées sur sa compétence, voire sa probité. Le parcours de soin de la défaillance rénale est très clair et connu de tous, mettant en avant la protection rénale précoce et la démarche de greffe dès que possible. La recherche en néphrologie et en dialyse n'a jamais été aussi dynamique, en particulier dans notre pays grâce aux efforts de la SFNDT, et apporte des innovations dont bénéficient les patients. En 2016, la dialyse a été qualifiée de « prison » (tribune dans le journal *Le Monde*). Pour le nombre important de patients qui n'auront pas accès à la transplantation pour diverses raisons, le message a pu être dévastateur. Tous les professionnels du secteur sont

conscients de la contrainte de cette thérapeutique et de son impact sur la qualité de vie. À nous de poursuivre les efforts de dialogues et de recherche avec toutes les parties prenantes pour mieux comprendre, mieux organiser et rendre à l'HDC sa reconnaissance des débuts qu'elle n'aurait jamais dû perdre.



Liens d'intérêts :

L'auteur déclare n'avoir aucun lien d'intérêt en rapport avec cet article.

Références

- 1 • Scribner BH, Buri R, Caner JE, Hegstrom R, Burnell JM. The treatment of chronic uremia by means of intermittent hemodialysis: a preliminary report. *Trans Am Soc Artif Intern Organs* 1960 ; 6 : 114-22.
- 2 • Teschan PE. Evolution of daily hemodialysis in acute renal failure: from the Korean War to the present. *Home Hemodial Int* 1999 ; 3 : 5-8.
- 3 • Daum S, Chytil M, Kasalova D. Syndrome of acute anuria in post-abort septicemia caused by *Cl. welchii* successfully treated by extracorporeal hemodialysis in artificial kidney. *Cas Lek Cesk* 1959 ; 98 : 1136-8.
- 4 • Cameron JS. The prehistory of haemodialysis as a treatment for uraemia. *G Ital Nefrol* 2016 ; 33(Suppl 66) : 33.S66.2.
- 5 • Jacobs C. Renal replacement therapy by hemodialysis: an overview. *Nephrol Ther* 2009 ; 5 : 306-12.
- 6 • Graham T. Liquid diffusion applied to analysis. *Philos Trans R Soc Lond* 1861 ; 151 : 183-224.
- 7 • Abel J, Rowntree L, Turner B. On the removal of diffusible substances from the circulating blood of living animals by dialysis. *J Pharmacol Exp Ther* 1913 ; 5 : 275-316.
- 8 • Husain-Syed F, Enke U, Lubbecke F, Birk HW. Celebrating 100 years of hemodialysis and the legacy of Georg Haas. *Kidney Int Rep* 2025 ; 10 : 964-5.
- 9 • Alwall N. On the artificial kidney; some clinical experiences and problems in the treatment of uremia. *Nord Med* 1949 ; 41 : 11-6.
- 10 • Quinton W, Dillard D, Scribner BH. Cannulation of blood vessels for prolonged hemodialysis. *Trans Am Soc Artif Intern Organs* 1960 ; 6 : 104-13.
- 11 • Aubert J, Casamayou J, Picaud D, Talin d'Eyzac A, Patte D. Thomas shunt for hemodialysis. Interest and complications in six cases. *Ann Chir* 1976 ; 30 : 357-62.
- 12 • Shaldon S, Rae AI, Rosen SM, Silva H, Oakley J. Refrigerated femoral venous-venous haemodialysis with coil preservation for rehabilitation of terminal uraemic patients. *Br Med J* 1963 ; 1 : 1716-7.
- 13 • ChatGPT (OpenAI). Réponse à la question : « Clyde Shields a-t-il travaillé à temps plein après sa mise en dialyse ? ». 2026.
- 14 • Chazot C. Évolution des pratiques de dialyse au centre de Rein Artificiel de Tassin/NephroCare Tassin-Charcot. *Rein Faut l'Être* 2021 ; 17 : 6-10. https://www.cjnefro.com/wp-content/uploads/2024/06/CJN_INFOLETTRE_N17-VD.pdf
- 15 • Tattersall J, Martin-Malo A, Pedrini L, et al. EBPG guideline on dialysis strategies. *Nephrol Dial Transplant* 2007 ; 22(Suppl 2) : ii5-21.
- 16 • Cambi V, Savazzi G, Arisi L, et al. Short dialysis schedules (SDS)—finally ready to become routine? *Proc Eur Dial Transplant Assoc* 1975 ; 11 : 112-20.
- 17 • Henderson LW. Symptomatic intradialytic hypotension and mortality: an opinionated review. *Semin Dial* 2012 ; 25 : 320-5.
- 18 • Chazot C, Ok E, Lacson E, Kerr PG, Jean G, Misra M. Thrice-weekly nocturnal hemodialysis: the overlooked alternative to improve patient outcomes. *Nephrol Dial Transplant* 2013 ; 28 : 2447-55.
- 19 • Chazot C, Charra B, Vo Van C, et al. The Janus-faced aspect of 'dry weight'. *Nephrol Dial Transplant* 1999 ; 14 : 121-4.
- 20 • Charra B, Calemard E, Ruffet M, et al. Survival as an index of adequacy of dialysis. *Kidney Int* 1992 ; 41 : 1286-91.
- 21 • Charra B, Bergstrom J, Scribner BH. Blood pressure control in dialysis patients: importance of the lag phenomenon. *Am J Kidney Dis* 1998 ; 32 : 720-4.
- 22 • Shaldon S, Oakley JJ. Experience with regular haemodialysis in the home. *Br J Urol* 1966 ; 38 : 616-20.
- 23 • Assenat H, Calemard E, Charra B, Laurent G, Terrat JC, Vanel T. Hemodialysis: carpal tunnel syndrome and amyloid substance. *Nouv Presse Med* 1980 ; 31 : 1715.

- 24 • Chazot C, Chazot I, Charra B, et al. Functional study of hands among patients dialysed for more than 10 years. *Nephrol Dial Transplant* 1993 ; 8 : 347-51.
- 25 • Danesh FR, Klinkmann J, Yokoo H, Ivanovich P. Fatal cervical spondyloarthropathy in a hemodialysis patient with systemic deposition of beta2-microglobulin amyloid. *Am J Kidney Dis* 1999 ; 33 : 563-6.
- 26 • Brescia MJ, Cimino JE, Appel K, Hurwich BJ. Chronic hemodialysis using venipuncture and a surgically created arteriovenous fistula. *N Engl J Med* 1966 ; 275 : 1089-92.
- 27 • Société francophone de néphrologie, dialyse et transplantation (SFNDT). *Hugues Ton That, 1931-2020* [in memoriam]. <https://www.sfndt.org/professionnels/histoire-de-la-nephrologie/memorial/hugues-ton-1931-2020>.
- 28 • Canaud B, Beraud JJ, Joyeux H, Mion C. Internal jugular vein cannulation with two silicone rubber catheters: a new and safe temporary vascular access for hemodialysis. Thirty months' experience. *Artif Organs* 1986 ; 10 : 397-403.
- 29 • Mion CM, Hegstrom RM, Boen ST, Scribner BH. Substitution of sodium acetate for sodium bicarbonate in the bath fluid for hemodialysis. *Trans Am Soc Artif Intern Organs* 1964 ; 10 : 110-5.
- 30 • Pagel MD, Ahmad S, Vizzo JE, Scribner BH. Acetate and bicarbonate fluctuations and acetate intolerance during dialysis. *Kidney Int* 1982 ; 21 : 513-8.
- 31 • Lowrie EG, Laird NM, Parker TF, Sargent JA. Effect of the hemodialysis prescription on patient morbidity: report from the National Cooperative Dialysis Study. *N Engl J Med* 1981 ; 305 : 1176-81.
- 32 • Twardowski ZJ. Treatment time and ultrafiltration rate are more important in dialysis prescription than small molecule clearance. *Blood Purif* 2007 ; 25 : 90-8.
- 33 • Gotch FA, Sargent JA. A mechanistic analysis of the National Cooperative Dialysis Study (NCDS). *Kidney Int* 1985 ; 28 : 526-34.
- 34 • Hull AR. The 1989 Dallas Conference on Morbidity and Mortality in Dialysis: what did we learn? *Clin J Am Soc Nephrol* 2009 ; 4(Suppl 1) : S2-4.
- 35 • Eschbach JW, Adamson JW. Anemia of end-stage renal disease (ESRD). *Kidney Int* 1985 ; 28 : 1-5.
- 36 • Eschbach JW, Egrie JC, Downing MR, Browne JK, Adamson JW. Correction of the anemia of end-stage renal disease with recombinant human erythropoietin. Results of a combined phase I and II clinical trial. *N Engl J Med* 1987 ; 316 : 73-8.
- 37 • Canaud B. The early years of on-line HDF: how did it all start? How did we get here? *Contrib Nephrol* 2011 ; 175 : 93-109.
- 38 • Leber HW, Wizemann V, Goubeaud G, Rawer P, Schutterle G. Hemodiafiltration: a new alternative to hemofiltration and conventional hemodialysis. *Artif Organs* 1978 ; 2 : 150-3.
- 39 • Eknoyan G, Beck GJ, Cheung AK, et al. Effect of dialysis dose and membrane flux in maintenance hemodialysis. *N Engl J Med* 2002 ; 347 : 2010-9.
- 40 • Depner T, Daugirdas J, Greene T, et al. Dialysis dose and the effect of gender and body size on outcome in the HEMO Study. *Kidney Int* 2004 ; 65 : 1386-94.
- 41 • Locatelli F, Martin-Malo A, Hannedouche T, et al. Effect of membrane permeability on survival of hemodialysis patients. *J Am Soc Nephrol* 2009 ; 20 : 645-54.
- 42 • Maduell F, Moreso F, Pons M, et al. High-efficiency postdilution online hemodiafiltration reduces all-cause mortality in hemodialysis patients. *J Am Soc Nephrol* 2013 ; 24 : 487-97.
- 43 • Blankestijn PJ, Vernooij RWM, Hockham C, et al. Effect of hemodiafiltration or hemodialysis on mortality in kidney failure. *N Engl J Med* 2023 ; 389 : 700-9.
- 44 • Foley RN, Gilbertson DT, Murray T, Collins AJ. Long interdialytic interval and mortality among patients receiving hemodialysis. *N Engl J Med* 2011 ; 365 : 1099-107.
- 45 • Galland R, Traeger J, Arkouche W, Cleaud C, Delawari E, Fouque D. Short daily hemodialysis rapidly improves nutritional status in hemodialysis patients. *Kidney Int* 2001 ; 60 : 1555-60.
- 46 • Ok E, Duman S, Asci G, et al. Comparison of 4- and 8-h dialysis sessions in thrice-weekly in-centre haemodialysis. *Nephrol Dial Transplant* 2011 ; 26 : 1287-96.
- 47 • National Kidney Foundation. NKF-DOQI clinical practice guidelines for hemodialysis adequacy. *Am J Kidney Dis* 1997 ; 30 (Suppl 2) : S15-66.
- 48 • SFNDT. Recommandations pour la pratique clinique. SFNDT. <https://www.sfndt.org/professionnels/recommandations-pour-la-pratique-clinique>
- 49 • Bauwens M, Bayer F, Lobbedez T, Couchoud C. Health care provision. *Nephrol Ther* 2023 ; 18(S2) : 13-8.
- 50 • Couchoud C, Lassalle M. *L'épidémiologie de la défaillance rénale : Y'a-t-il des raisons d'espérer ?* L'Internat de Paris, 2026. <https://linternatdeparis.fr/articles/lepidemiologie-de-la-defaillance-renale-ya-t-il-des-raisons-desperer>
- 51 • Réseau Épidémiologie et information en néphrologie. *Rapport REIN 2024*. Agence de la biomédecine, 2026. <https://www.agence-biomedecine.fr/fr/observatoire-de-la-maladie-renale-chronique/le-rapport-annuel-rein-2024>
- 52 • Hazara AM, Abdullah A, Allgar V, Twiddy M, Bhandari S. Incremental hemodialysis practices and impact on survival: systematic review and meta-analysis. *Kidney Med* 2026 ; 8 : 101238.
- 53 • Meyrier A. Birth, rise, decline and revival of home hemodialysis - French experience. *Bulletin de Dialyse à Domicile* 2018 ; 1.
- 54 • Huré C. *La montagne dans le sang* [documentaire]. 2018. https://www.film-documentaire.fr/4DACTION/w_fiche_film/27069_0
- 55 • Guerraoui A, Haesebaert J, Subtil F, et al. Concordance of symptoms perceived by patients receiving haemodialysis and those reported by nurses and nephrologists: a cross-sectional, multicentre, observational study using the REIN registry. *Clin Kidney J* 2025 ; 18 : sfaf239.
- 56 • Société francophone de néphrologie, dialyse et transplantation rénale. *Guide des bonnes pratiques pour la néphrologie verte*. 2026. <https://www.sfndt.org/sites/www.sfndt.org/files/medias/documents/Guide%20de%20la%20n%C3%A9phrologie%20verte%20Version-courte%202026.pdf>