



# Analyse critique des méthodes de mesures du volume extra-cellulaire en dialyse

## Extra cellular volume assessment methods in dialysis, a critical analysis

B. Charra, C. Chazot

Centre de rein artificiel, 42 Avenue du 8 Mai 1945, 69160 Tassin, France

### MOTS CLÉS

Sodium ;  
Volume extracellulaire ;  
Poids sec ;  
Peptides natriurétiques ;  
Échographie de la veine cave inférieure ;  
Volémie en ligne ;  
Bio-impédance

**Résumé** Le volume extracellulaire est directement proportionnel à la quantité de sodium présent dans l'organisme. Son évaluation en dialyse par la méthode clinique (anamnèse, changement de poids, pression artérielle) nécessite souvent le recours à un « sondage » du poids sec qui consiste en la recherche délibérée du poids de fin de dialyse entraînant régulièrement une hypotension. On reproche souvent à la méthode clinique son imprécision, son manque d'objectivité et de sensibilité. Les autres méthodes actuellement disponibles ne sont pas pour autant exemptes de défauts. Si elles sont toutes non invasives, elles sont souvent peu sensibles, peu reproductibles (à l'exception de la bio-impédance mais dans des conditions opérationnelles extrêmement strictes peu faciles à obtenir en pratique), souvent limitées à l'évaluation du seul volume plasmatique (peptides natriurétiques, échographie de la veine cave inférieure, volémie en ligne). Elles ont en outre l'inconvénient de compliquer la dialyse et d'en alourdir le coût. Aucune d'entre elle n'est validée en dialyse à ce jour. La mesure exacte et absolue du volume extracellulaire en dialyse n'a d'ailleurs pas d'intérêt pratique en dialyse, ce dont les cliniciens ont besoin c'est d'une évaluation relative du volume extracellulaire observé par rapport à l'idéal souhaité (« poids sec »). La méthode clinique basée sur l'analyse dynamique critique de deux mesures objectives simples, le poids et la pression artérielle, permet de façon simple, rapide, et peu coûteuse d'ajuster le volume extracellulaire en permanence. © 2007 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

### KEYWORDS

Sodium;  
Extra cellular volume;  
Dry weight;  
Natriuretic peptides;  
Inferior vena cava echography;  
On line volemia;  
Bioimpedance

**Abstract** The extra cellular volume is strictly proportional to the amount of sodium present in the body. Its clinical evaluation on dialysis (through clinical story, weight and blood pressure changes) often needs probing for dry weight by reducing progressively the post dialysis weight down to the point where hypotension regularly occurs. Common critics addressed to the clinical assessment of dry weight include lack of sensitivity, of objectivity and of repeatability. But non clinical methods are far from perfect. They are non invasive, but they are poorly sensitive and reproducible (except for bio impedance, but in very strictly equal operational conditions). Most of them (natriuretic peptides, inferior vena cava echography, on-line volemia) measure exclusively the plasma volume but not the extra cellular volume. Besides, they increase dialysis complexity and cost. None of them is so far validated for dialysis. The accurate and absolute value of extra cellular volume is useless in clinical daily practice. What is needed is a simple fast evaluation of the actual extra cellular volume relative to its ideal level (dry weight). The clinical method based on two very simple, costless objective measurements, weight and blood pressure, allows for fulfilling the goal, the continuous adjustment of extra cellular volume and blood pressure normalization.

© 2007 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

**Abréviations :**

Volume extra cellulaire : VEC, Insuffisance rénale chronique : IRC, Pression artérielle : PA, Hypertension : HTA, Veine cave inférieure : VCI, Bio impédance : BI

Comme les autres mammifères l'homme a contracté une dette vis-à-vis de son milieu de vie d'origine marin. Dès 1859 Claude Bernard établissait que les cellules vivent dans un milieu intérieur. Celui-ci est constitué en bonne part par un certain volume d'eau salée, le volume extracellulaire (VEC).

**Rappels physiopathologiques**

Le sodium est le cation principal quasi exclusif du compartiment extracellulaire, où il est présent à une concentration de 142 mmol/l alors que sa concentration dans le milieu intracellulaire n'est que de 12 mmol/l. Le VEC est directement proportionnel à la quantité de sodium présent dans le corps. Ordre et désordre de l'équilibre sodé sont donc synonymes d'ordre et désordre du VEC. Dans les conditions physiologiques les entrées de sodium, exclusivement digestives, sont exactement équilibrées par les sorties exclusivement rénales qui varient entre 0 et plusieurs centaines de millimoles par jour. Ceci maintient le VEC à son niveau normal.

**Sel et eau**

En cas d'insuffisance rénale, dans la mesure où il n'y a aucune voie de compensation à l'absence d'excrétion rénale de sodium, celui-ci s'accumule en augmentant l'osmolarité. L'axe hypothalamo-pituitaire fonctionne normalement en insuffisance rénale chronique (IRC), la correction de l'osmolarité s'effectue donc par l'intermédiaire de la soif et de l'ingestion d'une quantité de liquide exactement suffisante à corriger l'osmolarité. Le prix à payer de ce retour à l'iso osmolarité est une augmentation isotonique du VEC. Cet excès de volume devra être éliminé par la dialyse puisque le rein en est incapable. Comme il est impossible de s'alimenter en l'absence totale de sel, la charge sodée conduit, chez l'insuffisant rénal, à une lutte continue contre la surcharge sodée pour maintenir le VEC à un niveau acceptable.

**Eau et sel**

Bien que l'apport d'eau dépende pour une part d'un conditionnement social (le « verre entre amis »), la

quantité de sodium présente dans le corps, par l'augmentation d'osmolarité qu'elle induit, conduit à l'ingestion de liquide. Un excès éventuel d'eau est facilement compensé par les pertes d'eau rénales et extra rénales (poumons, peau, tube digestif). Dans l'insuffisance rénale, les sorties d'eau sont réduites ou nulles mais une compensation est possible par les voies extra rénales, les signes de surcharge hydrique sont de ce fait moins marqués et immédiats que les signes de surcharge sodée (qui a un aspect quasi mécanique, les sorties de secours étant pratiquement inexistantes). La natrémie (l'osmolarité) reste habituellement stable chez l'insuffisant rénal en dialyse, si le niveau de natrémie varie largement d'un patient à un autre [1].

**Volume extracellulaire et pression artérielle**

Le mécanisme de la natriurèse de pression a été décrit par Guyton [2]. Il a décrit un point d'équilibre (set point) entre natriurèse et apports sodés, qui varie en fonction de la pression artérielle (PA). Pour une PA moyenne normale (< 100 mmHg), la natriurèse est exactement égale à l'ingestion de sodium. Si l'ingestion de sodium augmente, le point d'équilibre se déplace et la natriurèse augmente à un niveau exactement suffisant pour que le bilan sodé redevienne nul. Le même mécanisme joue de la même manière en sens inverse. La modification de l'équilibre sodé se fait par le biais du volume de remplissage cardiaque qui modifie le débit cardiaque et la PA. Le point d'équilibre se trouve en cas de surcharge sodée déplacé vers la droite, à une PA moyenne plus élevée, 150 mmHg par exemple, qui augmente la perfusion rénale et la natriurèse d'une manière juste suffisante pour revenir à l'équilibre. Ce mécanisme fonctionne dans des limites assez étroites chez l'individu normal en dépit de la grande variabilité des apports sodés. La sensibilité au sel des sujets normaux est basse [3], ce qui permet des variations de VEC relativement importantes sans variation tensionnelle très marquée. A l'opposé, la pente de la courbe de la natriurèse de pression est très raide [4], et une modification très faible de pression artérielle (1 mmHg) suffit à entraîner une variation importante de la diurèse. L'amplification considérable dont ce système d'autorégulation est capable explique que l'hypertension ne puisse pas survenir en présence d'un rein normal [5].

**Sodium et hypertension**

A l'époque où aucun traitement antihypertenseur efficace n'était disponible, la seule mesure thérapeutique qui s'est avérée régulièrement efficace pour le traitement de l'hypertension « essentielle »

a été le régime hyposodé [6]. Ceci a été confirmé par les études épidémiologiques [7] comme par les études d'intervention diététiques chez les sujets normaux et chez les hypertendus [8] en particulier s'ils sont âgés [9]. Les diurétiques constituent une alternative et/ou un complément efficace et peu coûteux du régime hyposodé [10]. C'est en réduisant le VEC que le régime hyposodé et les diurétiques réduisent la pression artérielle [11].

### Sodium, hypertension et VEC en insuffisance rénale avancée

Au fur et à mesure que l'insuffisance rénale progresse, la sensibilité de la pression artérielle à la surcharge sodée s'accroît [12]. Inversement, la sensibilité à la charge en volume ou en sodium diminue jusqu'à redevenir normale lorsque la dialyse est instaurée [13], ce qui s'explique par une diminution des résistances périphériques due à la correction adéquate du VEC par la dialyse, dans un processus d'« autorégulation inverse » [13]. La possibilité de contrôler l'hypertension artérielle du patient hémodialysé par la réduction du VEC a été mise en évidence chez le premier patient traité par HD de suppléance. Celui-ci après quelques mois de dialyse présentait une hypertension (HTA) maligne qui menaçait sa vie. Scribner et ses collaborateurs considérèrent que la seule chance de le sauver était une ultrafiltration agressive. Ce qui fut fait avec succès par la soustraction de plusieurs kilos [14]. Le patient survécut 11 années, sa PA étant maintenue normale par le seul contrôle du VEC. Bien que beaucoup d'auteurs et non des moindres aient tardé à accepter cette voie, lui préférant la binéphrectomie [15], la plupart des groupes ont confirmé par la suite l'expérience de groupe de Seattle, et au début des années 70, 90 % des hémodialysés étaient normotendus sans traitement antihypertenseur [16-20], un fait souvent oublié.

### Mesure du VEC en dialyse et évaluation du poids sec

L'acceptation par la communauté néphrologique que le contrôle du VEC « est la pierre angulaire du traitement de l'hypertension du dialysé » [21] et sa mise en pratique précédèrent de plusieurs années son expression formelle sous forme du concept de « poids sec » [17] correspondant à « l'obtention d'une hypotension sans autre cause évidente que l'ultrafiltration ayant permis d'atteindre un poids sec ». Les éléments précédents permettent de comprendre combien la mesure et le suivi de l'évo-

lution du VEC sont essentiels pour la surveillance et la conduite du traitement par hémodialyse de suppléance et le maintien d'un VEC et d'une PA dans les limites de la normale. Pour évaluer l'état d'hydratation vraie (ou la quantité de solvant H<sub>2</sub>O présente dans le corps) on mesure l'osmolarité. Comme le sodium représente à lui seul 142 des 155 mmol/l de cations du sérum, la Natrémie (corrigée éventuellement pour la glycémie et les lipides totaux) permet une bonne approximation de l'osmolarité [Osmolarité = (Na<sup>+</sup> + 10) x 2]. La natrémie ne permet donc pas de juger de l'équilibre sodé, mais de celui de l'eau. Pour l'évaluation de l'équilibre sodé ou du VEC, on doit recourir à des moyens cliniques et non cliniques.

### Détermination clinique du VEC

Les éléments cliniques qui permettent d'identifier et de quantifier la surcharge et la déplétion sodée incluent l'anamnèse, les symptômes et signes cliniques présentés au Tableau 1. Ils sont complétés par quelques examens simples radiologiques et de laboratoire.

- L'anamnèse révèle les circonstances assez stéréotypées conduisant à la surcharge sodée (surcharge diététique en sel, plus rarement apport sodé d'origine médicamenteux méconnu) ou à la déplétion (diarrhée, vomissements, utilisation de diurétiques ou de laxatifs). C'est un point important d'orientation diagnostique.
- Les symptômes ne sont ni spécifiques ni sensibles (dyspnée, céphalées en cas de surcharge ; asthénie, sensation ébrieuse, crampes en cas de déplétion sodée). Par ailleurs ils sont souvent discordants (un patient authentiquement sur-

Tableau 1  
Table 1

	Surcharge	Déplétion
Anamnèse et symptômes	apports Na <sup>+</sup> excessifs. Dyspnée, céphalées	Diarrhée, vomissements, diurétiques malaises orthostatiques, crampes
Signes	Absence OTA† orthostat. Hypertension. Prise de poids. Veines du cou pleines. Œdèmes index CT > 0,50, hiles	OTA† orthostat. Hypotension. Baisse de poids. Veines du cou plates. Absence d'œdèmes index CT normal. Hémoconcentration.

† OTA † orthostat. = hypotension orthostatique.

chargé en VEC présentera des crampes, des épisodes hypotensifs en dialyse et/ou une asthénie post-dialytique très marquée si la correction de la prise de poids inter dialytique a nécessité un taux d'ultrafiltration excédant ses capacités de re-remplissage du compartiment plasmatique).

- Les signes physiques constituent l'élément fondamental du diagnostic. La pression artérielle doit être mesurée en position couché, assis et debout car sa variation orthostatique est un élément essentiel d'information. En état de surcharge sodée (ou de VEC) la PA est élevée ou normale, il n'y a pas d'hypotension orthostatique. En déplétion sodée (ou de VEC) la PA est basse ou normale avec une hypotension orthostatique persistant au delà de quelques heures après le débranchement. L'hypotension s'accompagne ou non de signes fonctionnels et de symptômes (sensation ébrieuse, vertiges, asthénie, crampes, vomissements). En cas de doute sur les données de la PA, la mesure continue par un holter de PA est un apport très fructueux. La pesée est un élément capital. Elle doit être effectuée avec une bascule tarée, régulièrement vérifiée, dans des conditions strictement standardisées d'habillement et d'horaire. Les erreurs de pesée sont fréquentes en dialyse et elles ont parfois à des conséquences sérieuses en conduisant à des erreurs d'évaluation du poids à perdre. La prise de poids entre deux séances est l'élément fondamental. Elle est liée, en dehors des rares déséquilibres hydriques (dont témoigne alors la variation de natrémie) à l'augmentation du VEC due à la charge en sel représentée par les prises alimentaires et les boissons. Un régime modérément désodé (5-6 g de ClNa/24h) permet de limiter la prise de poids inter dialytique à moins de 2 kg ou moins de 3 % du poids sec estimé. Le régime alimentaire usuel en Europe (10 à 15 g de ClNa/24h) conduit à une prise de poids de 4 kg (6 % du poids sec estimé) voire plus. Demander au patient une restriction hydrique au patient est inutile, cruel, et dépourvu de sens. C'est la charge osmotique représentée par l'apport de sel qui conditionne la soif et l'ingestion de liquide pour corriger le déséquilibre osmotique induit. Le mécanisme de la soif fonctionne normalement chez l'insuffisant rénal chronique. Comme un individu non IRC, un dialysé qui a soif boira quoi que l'on fasse, car le stimulus osmotique est irrésistible. Ce qui doit être réduit, c'est l'apport de sel. Ne pas ajouter de sel à la cuisine, éviter les conserves et la consommation excessive de charcuterie, de fromage sec et de pain suffit à réduire

l'apport sodé à 5-6 g de ClNa par jour, et la prise de poids inter dialytique à 2 kg environ. La mesure de la pression veineuse centrale est une méthode simple et fiable d'évaluation de la volémie chez l'insuffisant rénal lorsqu'il est porteur d'un cathéter veineux central. La « lecture » des jugulaires du patient en position couché à plat en est un bon substitut. La *recherche des œdèmes* doit compléter l'examen. Mais il faut savoir que la présence d'œdèmes si elle est habituellement le signe d'une surcharge sodée n'est ni spécifique (insuffisance cardiaque congestive, hypo albuminémie, pathologie lymphatique...), ni sensible puisqu'il faut chez un adulte un excès de VEC dépassant 30 % pour qu'apparaissent des œdèmes décelables [22]. L'absence d'œdème ne saurait en aucun cas être un argument pour permettre, à l'état isolé, de conclure que la VEC est normale. Une grande majorité de patients dialysés en surcharge sodée suffisante à induire une hypertension artérielle ne présentent pas d'œdèmes. La *radiographie du thorax* permet de calculer et de suivre le rapport cardio-thoracique normalement inférieur à 0,50. Elle permet en cas de surcharge de noter des modifications des hiles voire des images parenchymateuses bilatérales.

- Les données de laboratoire sont plus contingentes, montrant en cas de surcharge des signes d'hémodilution relative (baisse d'hématocrite, de protides totaux et/ou de l'albuminémie), et en cas de déplétion du VEC des signes d'hémoconcentration (augmentation d'hématocrite, de protides totaux et/ou de l'albuminémie).

### Évaluation clinique du poids sec

Les deux éléments fondamentaux qui, renforcés par l'anamnèse et la lecture des veines du cou, permettent de suivre les variations du VEC, sont donc la pression artérielle qui indique la direction du changement du VEC, et les modifications du poids qui indiquent également la direction du changement mais permet en outre de le quantifier approximativement. Il est très important dans la pratique quotidienne que le médecin responsable de la dialyse ait une vision dynamique claire de l'évolution du poids et de la pression artérielle du patient au cours des quelques semaines écoulées. Ceci est obtenu en utilisant une simple fiche récapitulative des quelques semaines écoulées. Elle doit mentionner les valeurs de poids et de pression artérielle de début et de fin de séance, la perte de poids pendant la séance ainsi que les incidents éventuels survenus pendant la séance, comme celle présentée sur la

HD #	Date	Poids		PA		W	Observations	Validation
		Pre	Post	Pre	Post			
1097	5/05/94	65,9	64,5	145/82	128/77	1,4	-	N.C.
1098	7/05/94	65,5	64,3	128/80	110/70	1,2	crampes	?? N.C.
1099	9/05/94	66,9	65,1	145/82	130/80	1,8	+500	N.C.
1101	14/05/94	66,2	64,5	134/72	111/70	1,7	-	N.C.
1102	16/05/94	65,9	64,5	126/67	104/72	1,4	-	N.C.
1103	19/05/94	66,9	64,5	135/82	90/67	2,9	OTA. CINA 250ml	-500 B.C.
1104	21/05/94	65,2	64,7	100/50	95/60	1	OTA. vomit. 250ml	-300 JCT
1105	23/05/94	65,5	65,0	125/65	92/65	1	-	JCT
1106	26/05/94	65,9	65,0	125/60	108/67	1,4	-	JCT
1107	28/05/94	65,9	65,3	122/70	110/75	1,1	-	+300 CC
1108	30/05/94	65,9	65,0	145/82	128/77	1,4	-	OK CC

**Figure 1** Fiche récapitulative des dialyses utilisée au centre de rein artificiel de Tassin.

**Figure 1** Summary of the dialyses used in the Tassin (France) artificial kidney center.

Figure 1. Dans le cas de Tassin, afin de s'obliger à réévaluer le poids sec du patient après chaque séance, les médecins ont ajouté une dernière colonne à droite. Elle contient le jugement du médecin responsable sur le poids atteint lors de la dernière séance, la correction éventuelle du poids sec proposée, et ses initiales d'identification. Si la validation n'a pas été effectuée l'ordinateur refuse d'éditer une feuille de séance au début de la séance suivante. La feuille récapitulative de séances permet d'avoir d'un simple coup d'œil une vision dynamique de l'évolution du poids et de la pression artérielle des dernières semaines, ce que des feuilles séparées ou un cahier de dialyse ne permettent que mal et très inconfortablement.

Dans les conditions habituelles d'un patient hémodialysé stable, les indicateurs du VEC et la pression artérielle suffisent à prescrire le poids sec au jour le jour sans dérive excessive. Mais le poids sec du patient peut varier du fait de modifications de la masse maigre et/ou de la masse grasse. Ceci survient en période anabolique ou catabolique. C'est le cas pour pratiquement chaque patient au début de son traitement de suppléance, dans la mesure où celui-ci s'accompagne d'une période anabolique marquée par la reprise de l'appétit et de la prise alimentaire. Ceci imposera de « suivre » en augmentant le poids sec prescrit faute de quoi le VEC sera maintenu trop bas. C'est également le cas chaque fois qu'un événement intercurrent survient conduisant à une période catabolique ou anabolique.

Il faut alors recourir à un « sondage » du poids sec. Ce sondage consiste à baisser systématiquement, très progressivement, par paliers de 200 à 500 g, le poids de fin de dialyse, par tâtonnement. Lorsqu'apparaît régulièrement une hypotension artérielle significative en fin de séance le poids sec est probablement atteint [23]. On peut alors fixer

un poids cible de fin de dialyse quelques centaines de grammes plus haut que le poids sec identifié pour assurer le confort du patient. Le processus sera répété aussi souvent que nécessaire durant la vie du patient hémodialysé.

La détermination clinique du poids sec présente un certain nombre d'inconvénients et soulève un certain nombre de difficultés et de problèmes. Le premier inconvénient est que la manœuvre de sondage du poids sec, passant par la recherche délibérée de la limite de l'hypovolémie entraîne pour le patient de l'inconfort (hypotension, sensation de malaise, nausées) voire de la douleur (crampes, vomissements). La méthode impose au médecin de consacrer un certain temps systématiquement dévolu au suivi du poids sec. Par ailleurs, il arrive que le poids sec soit correctement estimé mais pas atteint ou encore plus souvent, qu'il soit mal estimé. Le premier cas est expliqué par trois facteurs : absence de restriction sodée, concentration excessive du dialysat en sodium, et ultrafiltration insuffisante. Ces trois conditions sont souvent combinées en particulier à cause d'une durée de séance trop brève. Elle ne permet alors pas de soustraire le poids nécessaire pour revenir au poids sec, en particulier si faute de restriction sodée la prise de poids inter dialytique a été très importante. En effet le remplissage du secteur plasmatique très rapidement ultrafiltré ne peut être compensé par le transfert de sel et d'eau à partir du secteur interstitiel qui s'étale sur plusieurs heures. L'utilisation d'une concentration haute de sodium du dialysat, destinée à réduire crampes et chutes de tension se traduit par une diffusion de sodium du dialysat vers le patient donc par une surcharge sodée.

En fait, le mauvais contrôle de la PA, clé de voûte de l'appréciation clinique du poids sec tient très souvent à une mauvaise estimation de ce dernier qui repose essentiellement sur la pesée et la mesure prédialytique de la PA, chacun de ces deux éléments pouvant être la cause de la difficulté rencontrée. La pression artérielle varie considérablement selon les conditions du moment (horaire, position, phase alimentaire, effet « blouse blanche »...) et peut être souvent rendue ininterprétable du fait de l'utilisation d'un traitement antihypertenseur. L'interprétation de la variation du poids, même si sa mesure a été parfaite, doit tenir compte dans son interprétation des conditions récentes de la nutrition. La surveillance systématique et fréquente de l'appétit et des prises alimentaires est, de ce point de vue, indispensable.

Une autre difficulté tient au fait qu'il existe un délai chronologique (de quelques semaines à quel-

ques mois) entre les variations du VEC et celles de la PA [24]. Il s'explique par le remodelage cardiovasculaire qui demande de quelques semaines à quelques mois, et par le temps nécessaire réduire les taux de certaines moyennes molécules vasoactives tels que l'inhibiteur naturel de l'oxyde nitrique ADMA et le Na-K-ATPases [25]. Quelle que soit son explication, il faut dans la pratique tenir compte de ce délai, savoir attendre l'effet du contrôle du VEC sur la PA, et résister à la tentation de prescrire immédiatement des antihypertenseurs. Il est important également de prévenir à l'avance l'équipe de soins et le patient de ce délai afin de leur éviter découragement et irritation vis-à-vis d'une politique d'ultrafiltration souvent inconfortable qui tarde à donner des résultats.

Les inconvénients et difficultés de l'utilisation du poids sec clinique ont conduit de nombreux auteurs à lui reprocher manque de sensibilité, de reproductibilité et de fiabilité, et à rechercher un moyen de mesure du VEC simple, objectif, non invasif, précis, reproductible et économique.

### Détermination non clinique du VEC

Différents moyens ont été explorés pour atteindre cet objectif : marqueurs chimiques de surcharge, mesure échographique de la veine cave inférieure, mesure du volume circulant et différentes modalités de bio-impédance.

#### *Méthodes de dilution*

Les méthodes de dilution mesurent avec précision les espaces de distribution. Mais il n'existe pas de marqueur spécifique strictement confiné au VEC. En outre la reproductibilité de ces méthodes est médiocre. Peu accessibles en clinique, relativement invasives, difficiles à utiliser de façon répétée, coûteuses, les méthodes de dilution isotopiques restent cependant la référence à laquelle toutes les autres méthodes doivent se mesurer.

#### *Peptides natriurétiques*

Les peptides natriurétiques atrial (ANP), cérébral (BNP) et leur messenger cyclique la Guanosine monophosphate (cGMP) proviennent essentiellement des cardiomyocytes sous l'effet de l'étirement et de la pression auriculaire et ventriculaire. Leurs taux sont élevés en insuffisance rénale [26] comme en hémodialyse [27]. Ils reflètent bien la surcharge mais mal la déplétion intra vasculaire [28] et le VEC total [29]. Méthode non invasive, facile à utiliser mais peu spécifique, dans la mesure où les résultats dépendent de facteurs autres que le volume intra vasculaire (fonction cardiaque, clairance résiduelle

rénale, dialysance) ce qui explique la grande variabilité, elle est en outre relativement coûteuse.

#### *Echographie de la veine cave inférieure*

Elle est basée sur la mesure du diamètre et de la collapsabilité de la veine cave inférieure (VCI) en inspiration profonde [30]. Le diamètre de la VCI augmente -et sa collapsabilité diminue dans les conditions de surcharge sodée et diminue pendant l'ultrafiltration. Le résultat dépend du volume intra vasculaire et du re-remplissage, il reflète donc bien le volume plasmatique mais mal le volume interstitiel et le VEC total. Lorsque la mesure est effectuée juste en fin de dialyse, alors que le re-remplissage du compartiment plasmatique à partir du compartiment interstitiel n'est pas terminé, elle surestime systématiquement l'ultrafiltration et sous-estime systématiquement le VEC [31]. Au moins deux heures sont nécessaires pour obtenir une valeur stable indicative du VEC [32].

Méthode non invasive, rapide, sensible, mais peu accessible et opérateur dépendante, elle dépend bien entendu avant tout de la fonction cardiaque, et elle est relativement coûteuse.

#### *Mesure de volémie en ligne*

Basée sur la mesure de l'hémoconcentration au cours de l'ultrafiltration de la dialyse [33], elle a d'abord été mesurée par dilution isotopique des globules rouges marqués [34] ou de l'albumine [35], avant de l'être par densitométrie photonique ou infrarouge ou par conductivité électrique ou ultrasonique. Elle mesure la variation de volume intra vasculaire et le re-remplissage à partir du compartiment interstitiel qui est d'autant plus rapide que celui-ci est plus important [36].

Méthode non invasive, destinée plus à prédire et à réduire la morbidité intra dialytique qu'à évaluer le VEC, elle est d'une grande variabilité inter- et intra individuelle. Elle peut être intégrée à des systèmes de rétrocontrôle de l'ultrafiltration [37] associés ou non à une modélisation du sodium. Peu spécifique, peu sensible, elle est relative puisqu'il n'existe pas de normalité. Sa mise en œuvre en dialyse nécessite en outre la formation et des interventions répétées des infirmières pendant la séance de dialyse, et elle est assez coûteuse.

#### *Bio-impédance*

Basée sur la mesure de la résistance des tissus au passage d'un courant électrique alternatif de faible ampérage, la bio impédance (BI) a été proposée dès 1962 pour mesurer les compartiments liquidiens [38] et quelques années plus tard pour analyser leurs variations lors du traitement diurétique et en

dialyse [39]. Elle a ensuite vu son usage en dialyse gagner en faveur [40,41]. Le courant électrique de haute fréquence traverse tous les tissus, il est utilisé pour mesurer l'eau totale (BI simple fréquence). A très basse fréquence le courant ne traverse pas, ou très peu, la membrane cellulaire, il permet d'estimer le VEC. La BI multifréquence (spectroscopie) utilise toute une gamme de fréquences afin de mesurer l'eau totale et le VEC. La BI globale mesure le corps entier, qui est assimilé à un cylindre homogène, une approximation très grossière. La méthode segmentaire est préférable, mais un seul segment est peu représentatif du VEC, c'est pourquoi on préconise la somme de cinq segments [42], plus représentative, mais plus laborieuse. Les données électriques brutes mesurées doivent être converties en volume. Différents modèles mathématiques sont possibles, discutables et discutés. La BI est sensible à la posture, à la température, à la composition hydroélectrolytique. Elle postule que le VEC est stable, une mesure isolée pendant la séance est donc non représentative.

Non invasive, la facilité d'utilisation qui lui est prêtée par ses défenseurs est relative. Sa reproductibilité est bonne, mais dans des conditions de mesure strictement identiques peu faciles à obtenir en pratique. Elle est assez coûteuse.

Différentes variantes de la BI sont proposées pour améliorer la méthode conventionnelle. Une représentation vectorielle (angle de phase) est proposée [43] pour se délivrer du postulat de la stabilité du VEC, mais le concept en est plus complexe et elle est moins utilisée que la méthode conventionnelle. Une autre analyse basée sur l'intersection des courbes de BI en normo- et hyper volémie est proposée

[44] pour prédire le poids sec, elle est séduisante mais non encore validée. Enfin la répétition de mesures de la BI segmentaire durant la réduction systématique du poids de fin de séance est également possible [45] pour déterminer le poids sec. Elle se rapproche dans son concept de l'épreuve clinique décrite plus haut puisqu'elle est basée sur une estimation dynamique et non statique du poids sec. Un résumé comparatif des diverses méthodes de mesure du VEC utilisées en remplacement de la méthode clinique est présenté sur le Tableau 2. Aucune n'est parfaite et leurs imperfections individuelles ont conduit à proposer de les combiner [46]. Mais ceci accroît leur lourdeur et leur coût.

## Conclusions

Les méthodes « non cliniques » ont fait l'objet de très nombreuses études et publications dans la littérature alors que la détermination du poids sec par la méthode clinique sont très rares [23,47,48], pourtant, c'est cette dernière qui est exclusivement utilisée en dialyse dans l'immense majorité des cas. Paradoxalement la plupart des études de validation des méthodes non cliniques utilisent comme mesure de référence le poids sec clinique dont elles visent pourtant à combler les insuffisances. Il faut noter encore que nombre d'études sur le VEC en hémodialyse utilisent la bio-impédance en la présentant comme une méthode validée, ce qui n'est le cas ni en insuffisance rénale chronique ni en hémodialyse.

En définitive de quoi avons nous besoin en HD ? La mesure exacte du VEC est, par définition, varia-

Tableau 2 Résumé comparatif des méthodes non cliniques de mesure du VEC  
Table 2 Comparative summary of the nonclinical ECV measurement methods

Méthode	ANP/BMP /cGMP	Echographie VCI	Volémie	Bioimpédance
Sensibilité à la surcharge VEC	+	+	++	+++
Sensibilité à la déplétion VEC	0	+	+	+++
Mesure du secteur plasmatique	+	++	+++	0
Mesure du secteur interstitiel	0	0	0	++
invasivité	±	0	0	0
précision	±	±	±	±
reproductibilité	0	±	+	+++
accessibilité	+	±	+	±
Coût	±	++	++	++
Bénéfice Global	±	+	++	+++



ble est sans grand intérêt pratique. Ce dont le néphrologue a besoin c'est d'une détermination relative du VEC observé par rapport au poids sec idéal, afin de pouvoir ajuster en permanence le VEC du patient pour éviter la surcharge sodée (et l'hypertension) comme la déplétion sodée (et l'hypotension, l'inconfort, les malaises, les chutes...). Curieusement, on retrouve dans beaucoup de publications le même reproche à la méthode clinique d'évaluation du poids sec, qui ne reposerait pas sur des données « objectives ». Le poids et la pression artérielle sont pourtant des mesures tout à fait objectives. Si le médecin accepte d'y consacrer un peu de temps, la méthode clinique, basée sur interrogatoire, la pesée et la mesure de la pression artérielle est dans la majorité des cas suffisante. Elle est simple, non invasive, économique, et elle peut être utilisée par tous. Ceci n'exclue pas, bien entendu l'intérêt des méthodes non cliniques, particulièrement dans le domaine de la recherche, et il faut garder l'espoir de disposer un jour d'arguments objectifs autres que la seule clinique, et sur lesquels la clinique puisse s'appuyer pour parvenir à une approche plus précise du VEC et du poids sec des patients dialysés.

## Références

- [1] Keen M, Janson S, Gotch FA. Plasma sodium "set point": relationship to interdialytic weight gain and mean arterial pressure in hemodialysis patients (abstract). *Journal of the American Society of Nephrology* 1997;8:241A.
- [2] Guyton AC. *Textbook of medical physiology*. 8th edition ed. Philadelphia : Saunders ; 1991.
- [3] Luft FC, Weinberger MH, Grim CE. Sodium sensitivity and resistance in normotensive humans. *American Journal of Medicine* 1982;72(5):726-36.
- [4] Guyton AC. Kidneys and fluids in pressure regulation : Small volume but large pressure changes. *Hypertension* 1992;19(Suppl 1):12-18.
- [5] Guyton AC. The surprising kidney-fluid mechanism for pressure control--its infinite gain. *Hypertension* 1990;16(6):25-30.
- [6] Kempner W. Treatment of hypertensive vascular disease with rice diet. *American Journal of Medicine* 1945;8:545-77.
- [7] Intersalt Cooperative research group. An international study of electrolyte excretion and blood pressure. Results for 24 hour urinary sodium and potassium excretion. *British Medical Journal* 1988;297:319-28.
- [8] Midgley JP, Matthew AG, Greenwood CM, Logan AG. Effect of reduced dietary sodium on blood pressure : a meta-analysis of randomized controlled trials. *Journal of the American Medical Association* 1996;275(20):1590-7.
- [9] Fliser D, Franek E, Jøst M, Block S, Mutschler E, Ritz E. Renal function in the elderly : impact of hypertension and cardiac function. *Kidney International* 1997;51:1196-1204.
- [10] Lewington S, Clarke R, Qizilbash N, Peto R, Collins R, Prospective Studies Collaboration. Age-specific relevance of usual blood pressure to vascular mortality : a meta-analysis of individual data for one million adults in 61 prospective studies. *Lancet* 2002;360:1903-13.
- [11] Freis ED. Salt, Volume and the prevention of hypertension. *Circulation* 1976;53(4):589-95.
- [12] Koomans HA, Roos JC, Boer P, Greyskes GG, Dorhout Mees EJ. Salt sensitivity of blood pressure in chronic renal failure. Evidence for renal control of body fluid distribution in man. *Hypertension* 1982;4:190-7.
- [13] Matsuo H, Kimura G, Sanai T, Kojima S, Kawano Y, Imanishi M, et al. Normalization of increased sodium sensitivity in maintenance hemodialysis. *American Journal of Hypertension* 1990;3:628-31.
- [14] Scribner BH. A personalized history of chronic hemodialysis. *American Journal of Kidney Diseases* 1990;6:511-9.
- [15] Scribner BH. Discussion. *Transactions American Society for Artificial Internal Organs* 1965;11:29-30.
- [16] Comty C, Rottka H, Shaldon S. Blood pressure control in patients with end-stage renal failure treated by intermittent dialysis. *Proceedings of European Dialysis and Transplantation Association* 1964;1:209-14.
- [17] Thomson GE, Waterhouse K, Mc Donald HPJ, Friedman EA. Hemodialysis for chronic renal failure. *Archives of Internal Medicine* 1967;120:153-67.
- [18] de Planque BA, Mulder E, Dorhout Mees EJ. The behavior of blood and extracellular volume in hypertensive patients with renal insufficiency. *Acta Medica Scandinavica* 1969;186:75-81.
- [19] Vertes V, Cangiano JL, Berman LB, Gould A. Hypertension in end-stage renal disease. *New England Journal of Medicine* 1969;280(18):978-81.
- [20] Traeger J, Zech P, Francois B, Heydendaal G, Moskovtchenko JF, Dubois Y, et al. Arterial hypertension in chronic kidney failure treated by extra-renal dialysis. *Acquisitions Médicales Récentes* 1969:261-96.
- [21] Scribner BH. Discussion. *Transactions American Society for Artificial Internal Organs* 1962;VIII:298.
- [22] Hoenich NA, Levin NW. Can technology solve the clinical problem of "dry weight" ? *Nephrology Dialysis Transplantation* 2003;18(4):647-50.
- [23] Charra B, Jean G, Hurot JM, Terrat JC, Vanel T, Vo Van C, et al. Clinical determination of dry body weight. *Hemodialysis International* 2001;5:41-49.
- [24] Charra B, Bergström J, Scribner BH. Blood Pressure control in dialysis patients. The importance of the lag phenomenon. *American Journal of Kidney Diseases* 1998;32(5):720-4.
- [25] Khosla UM, Johnson RJ. Hypertension in the hemodialysis patient and the "lag phenomenon" : insight into pathophysiology and clinical management. *American Journal of Kidney Diseases* 2004;43(4):739-51.
- [26] Rascher W, Tulassay T, Lang RE. Atrial natriuretic peptide in plasma of volume-overloaded children with chronic renal failure. *Lancet* 1985;ii:225-8.
- [27] Ando R, Matsuda O, Miyake S, Yoshiyama N. Plasma levels of human atrial natriuretic factor in patients treated by hemodialysis and continuous ambulatory peritoneal dialysis. *Nephron* 1988;50(3):225-8.
- [28] Wolfram G, Sitter T, Gottsmann M, Gerzer R, Schiffl H. Assessment of Dry Weight in Hemodialysis patients by the volume markers ANP and cGMP. *Nephrology Dialysis Transplantation* 1996;11(Suppl 2):28-30.
- [29] Ishibe S, Peixoto AJ. Methods of assessment of volume status and intercompartmental fluid shifts in hemodialysis patients : implications in clinical practice. *Seminar in Dialysis* 2004.
- [30] Cheriex EC, Leunissen KML, Janssen JHA, Mooy JM, Van Hoof JP. Echography of the inferior vena cava is a simple



- and reliable tool for estimation of "Dry weight" in hemodialysis patients. *Nephrology Dialysis Transplantation* 1989;4(6):563-8.
- [31] Mandelbaum A, Ritz E. Vena Cava Diameter Measurement for Estimation of Dry Weight in Hemodialysis Patients. *Nephrology Dialysis Transplantation* 1996;11(Suppl 2):24-27.
- [32] Katzarski KS, Nisell J, Randmaa I, Danielsson A, Freyschuss U, Bergström J. A critical evaluation of ultrasound measurement of inferior vena cava diameter in assessing dry weight in normotensive and hypertensive hemodialysis patients. *American Journal of Kidney Diseases* 1997;30(4):459-65.
- [33] Mann H, Stiller S, Schallenberg U, Thomas A. Optimizing dialysis by variations of ultrafiltration rate and sodium concentration controlled by continuous measurement of circulating blood volume. *Contributions to Nephrology* 1989;74:182-90.
- [34] Kim KE, Neff M, Cohen B, Somerstein M, Chinitz J, Onesti G, et al. Blood volume changes and hypotension during hemodialysis. *Transaction American Society for Artificial Internal Organs* 1970;16:508-14.
- [35] Daugirdas JT, Purandare VV, Ing TS, Hen WT, Popli S, Hano JE, et al. Ultrafiltration hemodynamics in an animal model: effect of a decreasing plasma sodium level. *Transaction American Society for Artificial Internal Organs* 1984;30:603-8.
- [36] Koomans HA, Geers AB, Dorhout Mees EJ. Plasma volume recovery after ultrafiltration in patients with chronic renal failure. *Kidney International* 1984;26:845-54.
- [37] Santoro A, Mancini E, Paolini F, Zuccheli P. Blood Volume Monitoring and Control. *Nephrology Dialysis Transplantation* 1996;11(Suppl 2):42-7.
- [38] Thomasset A. Propriétés bio-électriques des tissus. mesure de l'impédance en clinique. Signification des courbes obtenues. *Lyon Médical* 1962;21:107-18.
- [39] Bolot JF, Bernard C, Laurent G, Robert A, Calemard E, Jenin P, et al. Appréciation des mouvements liquidiens sectoriels par mesure de l'impédance globale du corps. Etude faite au cours d'hémodialyses et de traitement par diurétiques majeurs. *Nouvelle Presse Médicale* 1975;4(24):1787-91.
- [40] de Vries PMJM, Meijer JH, Oe PL, Schneider H, Donker AJM. Conductivity measurements of transcellular fluid shifts during hemodialysis. *Transactions American Society for Artificial Internal Organs* 1987;33:554-6.
- [41] Kouw PM, Olthof CG, ter Wee PM, Oe LP, Donker AJM, Schneider H, et al. Assessment of post-dialysis dry weight : an application of the conductivity measurement method. *Kidney International* 1992;41:440-4.
- [42] Zhu F, Schneditz D, Levin NW. Sum of segmental bioimpedance analysis during ultrafiltration and hemodialysis reduces sensitivity to changes in body position. *Kidney International* 1999;56(2):692-9.
- [43] Piccoli A, Rossi B, Pillon L, Bucciante G. A new method for monitoring body fluid variation by bioimpedance analysis. The RXc graph. *Kidney International* 1994;46:534-9.
- [44] Chamney PW, Kramer M, Rode C, Kleinekofort W, Wize-mann V. A new technique for establishing dry weight in hemodialysis patients via whole body bioimpedance. *Kidney International* 2002;61(6):2250-8.
- [45] Zhu F, Kuhlmann MK, Sarkar S, Kaitwatcharachai C, Khilnani R, Leonard EF, et al. Adjustment of dry weight in hemodialysis patients using intradialytic continuous multi-frequency bioimpedance of the calf. 2004.
- [46] Franz M, Pohanka E, Tribl B, Woloszczuk W, Hörl WH. Living on chronic hemodialysis between dryness and fluid overload. *Kidney International* 1997;51(Suppl 59):S39-S42.
- [47] Wizemann V, Schilling M. Dilemma of assessing volume state- the use and the limitations of a clinical score. *Nephrology Dialysis Transplantation* 1995;10:2114-7.
- [48] Charra B, Chazot C, Laurent G, Calemard E, Terrat JC, Vanel T, et al. Clinical assessment of dry weight. *Nephrology Dialysis Transplantation* 1996;11(suppl 2):16-19.