

Étude Vol-Imp : la bio-impédancemétrie dans le suivi de la volémie des patients en péri-opératoire d'une chirurgie majeure

Camille Lembezat

► **To cite this version:**

Camille Lembezat. Étude Vol-Imp : la bio-impédancemétrie dans le suivi de la volémie des patients en péri-opératoire d'une chirurgie majeure. Médecine humaine et pathologie. 2021. dumas-03406862

HAL Id: dumas-03406862

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03406862>

Submitted on 28 Oct 2021

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

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

Année 2020-2021

THESE POUR LE DOCTORAT EN MEDECINE

Diplôme d'Etat

Par

Camille LEMBEZAT

Née le 22/10/1993 à PAU

Présentée et soutenue publiquement le 18 octobre 2021

Etude Vol-Imp : la bio-impédancemétrie dans le suivi de la volémie des patients en péri-opératoire d'une chirurgie majeure

PRESIDENT DE JURY :

Professeur Vincent COMPERE

DIRECTEUR DE THESE :

Professeur Emmanuel BESNIER

MEMBRES DU JURY :

Professeur Fabienne TAMION et Docteur Geoffrey KOUADRI

ANNEE UNIVERSITAIRE 2020 - 2021

U.F.R. SANTE DE ROUEN

DOYEN : **Professeur Benoît VEBER**

ASSESEURS : **Professeur Loïc FAVENNEC**
Professeur Agnès LIARD
Professeur Guillaume SAVOYE

I - MEDECINE

PROFESSEURS DES UNIVERSITES – PRATICIENS HOSPITALIERS

Mr Frédéric ANSELME	HCN	Cardiologie
Mme Gisèle APTER	Havre	Pédopsychiatrie
Mme Isabelle AUQUIT AUCKBUR	HCN	Chirurgie plastique
Mr Jean-Marc BASTE	HCN	Chirurgie Thoracique
Mr Fabrice BAUER	HCN	Cardiologie
Mme Soumeya BEKRI	HCN	Biochimie et biologie moléculaire
Mr Ygal BENHAMOU	HCN	Médecine interne
Mr Jacques BENICHOU	HCN	Bio statistiques et informatique médicale
Mr Olivier BOYER	UFR	Immunologie
Mme Sophie CANDON	HCN	Immunologie
Mr François CARON	HCN	Maladies infectieuses et tropicales
Mr Philippe CHASSAGNE	HCN	Médecine interne (gériatrie)
Mr Moïse COEFFIER	HCN	Nutrition
Mr Vincent COMPERE	HCN	Anesthésiologie et réanimation chirurgicale
Mr Jean-Nicolas CORNU	HCN	Urologie
Mr Antoine CUVELIER	HB	Pneumologie
Mr Jean-Nicolas DACHER	HCN	Radiologie et imagerie médicale
Mr Stéfan DARMONI	HCN	Informatique médicale et techniques de communication

Etude Vol-Imp

Mr Pierre DECHELOTTE	HCN	Nutrition
Mr Stéphane DERREY	HCN	Neurochirurgie
Mr Frédéric DI FIORE	CHB	Cancérologie
Mr Fabien DOGUET	HCN	Chirurgie Cardio Vasculaire
Mr Jean DOUCET	SJ	Thérapeutique - Médecine interne et gériatrie
Mr Bernard DUBRAY	CHB	Radiothérapie
Mr Frank DUJARDIN	HCN	Chirurgie orthopédique - Traumatologique
Mr Fabrice DUPARC	HCN	Anatomie - Chirurgie orthopédique et traumatologique
Mr Eric DURAND	HCN	Cardiologie
Mr Bertrand DUREUIL	HCN	Anesthésiologie et réanimation chirurgicale
Mme Hélène ELTCHANINOFF	HCN	Cardiologie
Mr Manuel ETIENNE	HCN	Maladies infectieuses et tropicales
Mr Pierre FREGER (<i>surnombre</i>)	HCN	Anatomie - Neurochirurgie
Mr Jean François GEHANNO	HCN	Médecine et santé au travail
Mr Emmanuel GERARDIN	HCN	Imagerie médicale
Mme Priscille GERARDIN	HCN	Pédopsychiatrie
M. Guillaume GOURCEROL	HCN	Physiologie
Mr Dominique GUERROT	HCN	Néphrologie
Mme Julie GUEUDRY	HCN	Ophtalmologie
Mr Olivier GUILLIN	HCN	Psychiatrie Adultes
Mr Claude HOUDAYER	HCN	Génétique
Mr Fabrice JARDIN	CHB	Hématologie
Mr Luc-Marie JOLY	HCN	Médecine d'urgence
Mr Pascal JOLY	HCN	Dermato – Vénérologie
Mme Bouchra LAMIA	Havre	Pneumologie
Mme Annie LAQUERRIERE	HCN	Anatomie et cytologie pathologiques
Mr Vincent LAUDENBACH	HCN	Anesthésie et réanimation chirurgicale
Mr Hervé LEFEBVRE	HB	Endocrinologie et maladies métaboliques
Mr Thierry LEQUERRE	HCN	Rhumatologie
Mme Anne-Marie LEROI	HCN	Physiologie
Mr Hervé LEVESQUE	HCN	Médecine interne
Mme Agnès LIARD-ZMUDA	HCN	Chirurgie Infantile
Mr Pierre Yves LITZLER	HCN	Chirurgie cardiaque
M. David MALTETE	HCN	Neurologie
Mr Christophe MARGUET	HCN	Pédiatrie
Mme Isabelle MARIE	HCN	Médecine interne

Etude Vol-Imp

Mr Jean-Paul MARIE	HCN	Oto-rhino-laryngologie
Mr Loïc MARPEAU	HCN	Gynécologie - Obstétrique
Mr Stéphane MARRET	HCN	Pédiatrie
Mme Véronique MERLE	HCN	Epidémiologie
Mr Pierre MICHEL	HCN	Hépatogastro-entérologie
M. Benoit MISSET (<i>détachement</i>)	HCN	Réanimation Médicale
Mr Marc MURAINÉ	HCN	Ophthalmologie
Mr Christian PFISTER	HCN	Urologie
Mr Jean-Christophe PLANTIER	HCN	Bactériologie - Virologie
Mr Didier PLISSONNIER	HCN	Chirurgie vasculaire
Mr Gaëtan PREVOST	HCN	Endocrinologie
Mr Jean-Christophe RICHARD (<i>détachement</i>)	HCN	Réanimation médicale - Médecine d'urgence
Mr Vincent RICHARD	UFR	Pharmacologie
Mme Nathalie RIVES	HCN	Biologie du développement et de la reproduction
Mr Horace ROMAN (<i>détachement</i>)	HCN	Gynécologie - Obstétrique
Mr Jean-Christophe SABOURIN	HCN	Anatomie – Pathologie
Mr Mathieu SALAUN	HCN	Pneumologie
Mr Guillaume SAVOYE	HCN	Hépatogastrologie
Mme Céline SAVOYE-COLLET	HCN	Imagerie médicale
Mme Pascale SCHNEIDER	HCN	Pédiatrie
Mr Lilian SCHWARZ	HCN	Chirurgie Viscérale et Digestive
Mr Michel SCOTTE	HCN	Chirurgie digestive
Mme Fabienne TAMION	HCN	Thérapeutique
Mr Luc THIBERVILLE	HCN	Pneumologie
Mr Hervé TILLY (<i>surnombre</i>)	CHB	Hématologie et transfusion
M. Gilles TOURNEL	HCN	Médecine Légale
Mr Olivier TROST	HCN	Anatomie -Chirurgie Maxillo-Faciale
Mr Jean-Jacques TUECH	HCN	Chirurgie digestive
Mr Benoît VEBER	HCN	Anesthésiologie - Réanimation chirurgicale
Mr Pierre VERA	CHB	Biophysique et traitement de l'image
Mr Eric VERIN	Les Herbiers	Médecine Physique et de Réadaptation
Mr Eric VERSPYCK	HCN	Gynécologie obstétrique
Mr Olivier VITTECOQ	HC	Rhumatologie
Mr David WALLON	HCN	Neurologie
Mme Marie-Laure WELTER	HCN	Physiologie

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES – PRATICIENS HOSPITALIERS

Mme Najate ACHAMRAH	HCN	Nutrition
Mme Elodie ALESSANDRI-GRADT	HCN	Virologie
Mme Noëlle BARBIER-FREBOURG	HCN	Bactériologie – Virologie
Mr Emmanuel BESNIER	HCN	Anesthésiologie - Réanimation
Mme Carole BRASSE LAGNEL	HCN	Biochimie
Mme Valérie BRIDOUX HUYBRECHTS	HCN	Chirurgie Vasculaire
Mr Gérard BUCHONNET	HCN	Hématologie
Mme Mireille CASTANET	HCN	Pédiatrie
Mme Nathalie CHASTAN	HCN	Neurophysiologie
M. Vianney GILARD	HCN	Neurochirurgie
Mr Serge JACQUOT	UFR	Immunologie
Mr Joël LADNER	HCN	Epidémiologie, économie de la santé
Mr Jean-Baptiste LATOUCHE	UFR	Biologie cellulaire
M. Florent MARGUET	HCN	Histologie
Mme Chloé MELCHIOR	HCN	Gastroentérologie
M. Sébastien MIRANDA	HCN	Chirurgie Vasculaire
Mr Thomas MOUREZ (<i>détachement</i>)	HCN	Virologie
Mr Gaël NICOLAS	UFR	Génétique
Mme Muriel QUILLARD	HCN	Biochimie et biologie moléculaire
Mme Laëtitia ROLLIN	HCN	Médecine du Travail
Mme Pascale SAUGIER-VEBER	HCN	Génétique
M. Abdellah TEBANI	HCN	Biochimie et Biologie Moléculaire
Mme Anne-Claire TOBENAS-DUJARDIN	HCN	Anatomie
Mr Julien WILS	HCN	Pharmacologie

PROFESSEUR AGREGE OU CERTIFIE

Mr Thierry WABLE	UFR	Communication
Mme Mélanie AUVRAY-HAMEL	UFR	Anglais

ATTACHES TEMPORAIRES D'ENSEIGNEMENT ET DE RECHERCHE à MI-TEMPS

Mme Justine SAULNIER	UFR	Biologie
-----------------------------	-----	----------

II - PHARMACIE

PROFESSEURS DES UNIVERSITES

Mr Jérémy BELLIEN (PU-PH)	Pharmacologie
Mr Thierry BESSON	Chimie Thérapeutique
Mr Jean COSTENTIN (Professeur émérite)	Pharmacologie
Mme Isabelle DUBUS	Biochimie
Mr Abdelhakim EL OMRI	Pharmacognosie
Mr François ESTOUR	Chimie Organique
Mr Loïc FAVENNEC (PU-PH)	Parasitologie
Mr Jean Pierre GOULLE (Professeur émérite)	Toxicologie
Mme Christelle MONTEIL	Toxicologie
Mme Martine PESTEL-CARON (PU-PH)	Microbiologie
Mr Rémi VARIN (PU-PH)	Pharmacie clinique
Mr Jean-Marie VAUGEUIS	Pharmacologie
Mr Philippe VERITE	Chimie analytique

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES

Mme Cécile BARBOT	Chimie Générale et Minérale
Mr Frédéric BOUNOURE	Pharmacie Galénique
Mr Thomas CASTANHEIRO MATIAS	Chimie Organique
Mr Abdeslam CHAGRAOUI	Physiologie
Mme Camille CHARBONNIER (LE CLEZIO)	Statistiques
Mme Elizabeth CHOSSON	Botanique
Mme Marie Catherine CONCE-CHEMTOB	Législation pharmaceutique et économie de la santé
Mme Cécile CORBIERE	Biochimie
Mme Nathalie DOURMAP	Pharmacologie
Mme Isabelle DUBUC	Pharmacologie
Mme Dominique DUTERTE- BOUCHER	Pharmacologie
Mr Gilles GARGALA (MCU-PH)	Parasitologie
Mme Nejla EL GHARBI-HAMZA	Chimie analytique
Mme Marie-Laure GROULT	Botanique

Mr Chervin HASSEL	Biochimie et Biologie Moléculaire
Mme Maryline LECOINTRE	Physiologie
Mme Hong LU	Biologie
Mme Marine MALLETER	Toxicologie
M. Jérémie MARTINET (MCU-PH)	Immunologie
M. Romy RAZAKANDRAINIBÉ	Parasitologie
Mme Tiphaine ROGEZ-FLORENT	Chimie analytique
Mr Mohamed SKIBA	Pharmacie galénique
Mme Malika SKIBA	Pharmacie galénique
Mme Christine THARASSE	Chimie thérapeutique
Mr Frédéric ZIEGLER	Biochimie

PROFESSEURS ASSOCIES

Mme Cécile GUERARD-DETUNCQ	Pharmacie officinale
Mme Caroline BERTOUX	Pharmacie

PAU-PH

M. Mikaël **DAOUPHARS**

PROFESSEUR CERTIFIE

Mme Mathilde GUERIN	Anglais
----------------------------	---------

ASSISTANTS HOSPITALO-UNIVERSITAIRES

Mme Alice MOISAN	Virologie
M. Henri GONDÉ	Pharmacie

ATTACHES TEMPORAIRES D'ENSEIGNEMENT ET DE RECHERCHE

Mme Soukaina GUAOUA-ELJADDI	Informatique
Mme Clémence MEAUSSONE	Toxicologie

ATTACHE TEMPORAIRE D'ENSEIGNEMENT

Mme Ramla SALHI	Pharmacognosie
------------------------	----------------

LISTE DES RESPONSABLES DES DISCIPLINES PHARMACEUTIQUES

Mme Cécile BARBOT	Chimie Générale et minérale
Mr Thierry BESSON	Chimie thérapeutique
Mr Abdeslam CHAGRAOUI	Physiologie
Mme Elisabeth CHOSSON	Botanique
Mme Marie-Catherine CONCE-CHEMTOB	Législation et économie de la santé
Mme Isabelle DUBUS	Biochimie
Mr Abdelhakim EL OMRI	Pharmacognosie
Mr François ESTOUR	Chimie organique
Mr Loïc FAVENNEC	Parasitologie
Mr Michel GUERBET	Toxicologie
Mme Martine PESTEL-CARON	Microbiologie
Mr Mohamed SKIBA	Pharmacie galénique
Mr Rémi VARIN	Pharmacie clinique
M. Jean-Marie VAUGEOIS	Pharmacologie
Mr Philippe VERITE	Chimie analytique

III – MEDECINE GENERALE

PROFESSEUR MEDECINE GENERALE

Mr Jean-Loup **HERMIL** (PU-MG)

UFRMédecine générale

MAITRE DE CONFERENCE MEDECINE GENERALE

Mr Matthieu **SCHUERS** (MCU-MG)

UFRMédecine générale

PROFESSEURS ASSOCIES A MI-TEMPS – MEDECINS GENERALISTES

Mr Pascal **BOULET**

UFRMédecine générale

Mr Emmanuel **LEFEBVRE**

UFRMédecine Générale

Mme Elisabeth **MAUVIARD**

UFRMédecine générale

Mr Philippe **NGUYEN THANH**

UFRMédecine générale

Mme Yveline **SEVRIN**

UFRMédecine générale

MAITRES DE CONFERENCES ASSOCIES A MI-TEMPS – MEDECINS GENERALISTES

Mme Laëtitia **BOURDON**

UFRMédecine Générale

Mme Elsa **FAGOT-GRIFFIN**

UFRMédecine Générale

Mr Emmanuel **HAZARD**

UFRMédecine Générale

Mme Lucile **PELLERIN**

UFRMédecine générale

ENSEIGNANTS MONO-APPARTENANTS

PROFESSEURS

Mr Paul MULDER (phar)	Sciences du Médicament
Mme Su RUAN (med)	Génie Informatique

MAITRES DE CONFERENCES

Mr Sahil ADRIOUCH (med)	Biochimie et biologie moléculaire (Unité Inserm 905)
Mme Gaëlle BOUGEARD-DENOYELLE (med)	Biochimie et biologie moléculaire (UMR 1079)
Mme Carine CLEREN (med)	Neurosciences (Néovasc)
M. Sylvain FRAINEAU (med)	Physiologie (Inserm U 1096)
Mme Pascaline GAILDRAT (med)	Génétique moléculaire humaine (UMR 1079)
Mr Nicolas GUEROUT (med)	Chirurgie Expérimentale
Mme Rachel LETELLIER (med)	Physiologie
Mr Antoine OUVRARD-PASCAUD (med)	Physiologie (Unité Inserm 1076)
Mr Frédéric PASQUET	Sciences du langage, orthophonie
Mme Anne-Sophie PEZZINO	Orthophonie
Mme Christine RONDANINO (med)	Physiologie de la reproduction
Mr Youssan Var TAN	Immunologie
Mme Isabelle TOURNIER (med)	Biochimie (UMR 1079)

DIRECTEUR ADMINISTRATIF : M. Jean-Sébastien VALET

HCN - Hôpital Charles Nicolle

HB - Hôpital de BOIS GUILLAUME

CB - Centre Henri Becquerel

CHS - Centre Hospitalier Spécialisé du Rouvray

CRMPR - Centre Régional de Médecine Physique et de Réadaptation

SJ – Saint Julien Rouen

Par délibération en date du 3 mars 1997, la faculté a arrêté que les opinions émises dans les dissertations qui lui seront présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'elle n'entend leur donner aucune approbation ni improbation.

GLOSSAIRE

BCM : Body Composition Monitor
BES : Bilan entrée/sortie
BNP : Peptide natriurétique de type B
CGR : Concentré de globules rouges
CEC : Circulation extra-corporelle
CPA : Concentré de plaquettes d'aphérèse
DAI : Défibrillateur automatique implantable
EEC : Eau extra-cellulaire
EFSA : Autorité Européenne de Sécurité des Aliments
EIC : Eau intra-cellulaire
IMC : Indice de masse corporelle
J-1 : Veille de la chirurgie
J1 : Premier jour post-opératoire
KDIGO : Kidney disease improving global outcomes
NT-proBNP : Précurseur du BNP
PAPO : Pression artérielle pulmonaire d'occlusion
PFC : Plasma frais congelé
PVC : Pression veineuse centrale
PM : Pace maker
Q : Qualité de la mesure
SIRS : Syndrome de réponse inflammatoire systémique

RESUME

L'évaluation de la volémie en péri-opératoire est un enjeu quotidien du médecin anesthésiste-réanimateur au lit du patient, afin d'adapter les thérapeutiques, diminuer la morbi-mortalité et offrir les meilleures suites possibles. Pour ce faire, plusieurs outils existent, invasifs ou non, avec leurs limites, le gold-standard étant le bilan entrée/sortie. La bio-impédancemétrie est un appareil d'utilisation simple et non invasif, surtout utilisé en néphrologie, permettant de réaliser des mesures d'hydratation globale. Ainsi, nous avons décidé de mener une étude en péri-opératoire de chirurgie majeure cardiaque, afin de comparer les résultats de bio-impédancemétrie au bilan entrée/sortie, et d'en évaluer la fiabilité. Nous avons dans un second temps comparé le bilan entrée/sortie aux autres paramètres clinico-biologiques habituellement utilisés, puis avons réalisé une analyse de deux groupes, avec ou sans défaillance d'organe. Sur 121 patients au total, 100 ont rempli les critères d'inclusion, puis 34 ont été exclus en raison d'un critère de qualité de mesure non rempli. L'analyse du critère de jugement principal retrouve une corrélation non significative entre BES et variation d'eau totale au premier jour post-opératoire (J1). Le critère secondaire retrouve une corrélation significative entre BES et variation de poids, de protidémie et de créatinine. Enfin, un temps de clampage et une durée de CEC allongés, un BES positif à J1, un pic de troponine élevé et une créatinine élevée à J1 sont retrouvés dans le groupe présentant une défaillance d'organe. A la lumière de ces résultats, nous ne pouvons pas conclure à une fiabilité de la bio-impédancemétrie en péri-opératoire d'une chirurgie majeure cardiaque dans l'évaluation de la volémie.

SOMMAIRE

INTRODUCTION.....	19
1.1. Composition corporelle	19
1.2. Compartiments.....	20
1.3. Bio-impédancemétrie	21
1.3.1. Propriétés électriques des cellules	21
1.3.2. Fréquence du courant	22
1.3.3. Estimation des compartiments tissulaires	22
1.3.4. Mesure en pratique	23
1.3.5. Limites principales.....	24
1.3.6. Utilisation.....	24
1.4. Bio-impédancemétrie en péri-opératoire.....	24
1.5. Etude de la volémie	25
1.5.1. Le bilan entrée/sortie : Gold-Standard	25
1.5.2. Clinique et biologie	26
1.5.3. Imagerie et monitoring invasif	27
1.6. Hypothèse et objectifs.....	27
MATERIEL ET METHODES	28
2.1. Design de l'étude	28
2.2. Critères d'inclusion, de non-inclusion et d'exclusion	28
2.3. Protocole	28
2.4. Critères de jugement	29
2.5. Matériel.....	29
2.6. Statistiques	29
RESULTATS	31
3.1. Population.....	31
3.2. Bilan entrée/sortie à J1	34

3.2.1. Entrées.....	34
3.2.2. Sorties.....	35
3.2.3. Bilan entrée/sortie.....	35
3.3. Critère de jugement principal.....	36
3.4. Critère de jugement secondaire.....	37
3.5. Autres paramètres mesurés.....	37
3.6. Analyse selon la survenue ou non d'une défaillance d'organe.....	39
3.6.1. Description des deux groupes.....	39
3.6.2. Survenue d'une défaillance d'organe.....	39
DISCUSSION.....	41
CONCLUSION.....	43
BIBLIOGRAPHIE.....	44
TABLE DES FIGURES.....	47
TABLE DES TABLEAUX.....	48
ANNEXES.....	49

INTRODUCTION

L'évaluation de la volémie des patients est une préoccupation quotidienne en péri-opératoire, autant en anesthésie qu'en réanimation. L'hypervolémie tout comme l'hypovolémie sont associées à une augmentation de la morbi-mortalité. En effet, de nombreuses études ont montré une corrélation entre balance hydrique et insuffisance rénale aiguë (1) ou surcharge pulmonaire (2). Il est admis qu'une personnalisation des apports selon les paramètres clinico-biologiques des patients est nécessaire pour réduire complications et durée de séjour (3), notamment dans le cadre de la Récupération Améliorée Après Chirurgie (RAAC).

L'étude de l'état d'hydratation des patients est un élément fondamental dans la prise en charge. Bilan entrée/sortie, variation de poids, paramètres biologiques, thermodilution, échographie cardiaque, sont autant d'outils utilisés afin d'individualiser les apports en soluté, et ainsi assurer une perfusion d'organe satisfaisante. Cependant, ils présentent chacun des limites (4) (5) (6), tant dans leur utilisation et réalisation, que dans leur interprétation.

1.1. Composition corporelle

Quantifier la composition corporelle permet de détecter des variations anormales (obésité, œdèmes, dénutrition).

Ainsi, afin d'étudier la composition corporelle, le corps a été modélisé.

Le modèle le plus ancien est un modèle descriptif, le modèle anatomique. Il sépare le corps en différents tissus interconnectés (tissu musculaire, tissu adipeux, organes). Nous retrouvons ensuite le modèle biochimique, qui sépare les composants de l'organisme en fonction de leurs propriétés chimiques. Enfin, Le modèle physiologique introduit la notion de compartiments, c'est à dire un ensemble d'éléments liés entre eux, indépendamment de leur localisation anatomique ou propriété chimique. C'est sur ce modèle que se base l'impédancemétrie.

1.2. Compartiments

Il existe deux types de compartiments : les compartiments tissulaire et hydrique.

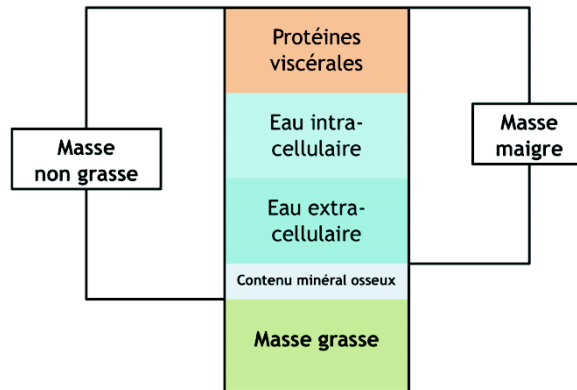


Figure 1 : Composition corporelle

Le compartiment tissulaire peut être bi- ou tri-compartimental : masse grasse et masse non grasse, ou masse grasse et masse non grasse divisée en contenu minéral osseux et masse maigre.

Le compartiment hydrique s'intéresse à la répartition de l'eau. L'eau est en effet le principal constituant de l'organisme et représente en moyenne 60 % du poids corporel chez l'homme adulte, et 50 à 55 % chez la femme (7). Elle se répartit en deux principaux compartiments : intra-cellulaire (2/3 de l'eau totale) et extra-cellulaire (1/3 de l'eau totale : liquide plasmatique et interstitium).

Il existe un équilibre de pression osmotique entre les compartiments. Ainsi, une modification d'osmolarité extra-cellulaire entraîne des transferts d'eau jusqu'à ce que l'équilibre osmotique soit rétabli (exemple des dysnatrémies).

Afin d'évaluer les quantités d'eau des différents compartiments, plusieurs méthodes existent : la dilution (deutérium, oxygène 18), la méthode anthropométrique (régressions linéaires multivariées à partir de modèles de dilution), et enfin la bio-impédancemétrie.

1.3. Bio-impédancemétrie

1.3.1. Propriétés électriques des cellules

La bio-impédancemétrie est un outil de mesure non invasif permettant de mesurer masse grasse, masse maigre, eau extra-cellulaire et eau totale, par des mesures de conductivité, directement proportionnelles à la composition corporelle.

Les propriétés électriques des cellules sont liées à la structure des membranes cellulaires. La membrane cellulaire est constituée d'une bicouche lipidique non conductive. Les ions chargés s'accumulent ainsi de part et d'autre de la membrane sous l'influence d'une tension. En présence d'un courant alternatif, les charges n'ont plus le temps de s'accumuler sur chaque face, et se produit alors un phénomène de relaxation au-delà d'un certain seuil, à l'origine d'une décroissance de permittivité de la membrane (plus la fréquence est élevée, plus le signal pénètre dans la cellule).

Trois grandeurs entrent en jeu dans la mesure d'impédance Z :

- la résistance R (dictée par la loi d'Ohm $U=R \cdot I$). Ainsi, les tissus maigres, riches en eau et électrolytes, représentent un chemin de faible résistance, contrairement à l'os ou au tissu graisseux (quantité d'eau).

- la réactance X (inversement proportionnelle à la fréquence) : il s'agit de l'opposition au flux instantané de courant électrique. A l'échelle de la cellule, elle augmente avec la quantité de membrane, et représente une mesure indirecte du volume intra-cellulaire (indicateur du volume intra-cellulaire).

- j , le nombre imaginaire.

$$Z = R + jX$$

Plus le volume d'eau est important, plus le courant circule bien : l'impédance (l'opposition des tissus au passage du courant) est faible.

Plus le volume d'eau est faible, moins le courant circule bien : l'impédance (l'opposition des tissus au passage du courant) est élevée.

1.3.2. Fréquence du courant

La fréquence du courant utilisée permet de différencier trois types de bio-impédancemétrie : mono-fréquence (généralement 50 kHz), multifréquences (2 à 3 fréquences) ou spectroscopique (gamme de fréquence de 5 à 1000 kHz).

Les courants à basse fréquence (1 à 5 kHz) ne traversent pas les membranes cellulaires (isolantes), la résistance étudiée est donc celle de l'eau extra-cellulaire. Les courants à haute fréquence (supérieure à 100 kHz) les traversent, permettant l'étude de la résistance des secteurs intra- et extra-cellulaires, comme illustré dans la Figure 2.

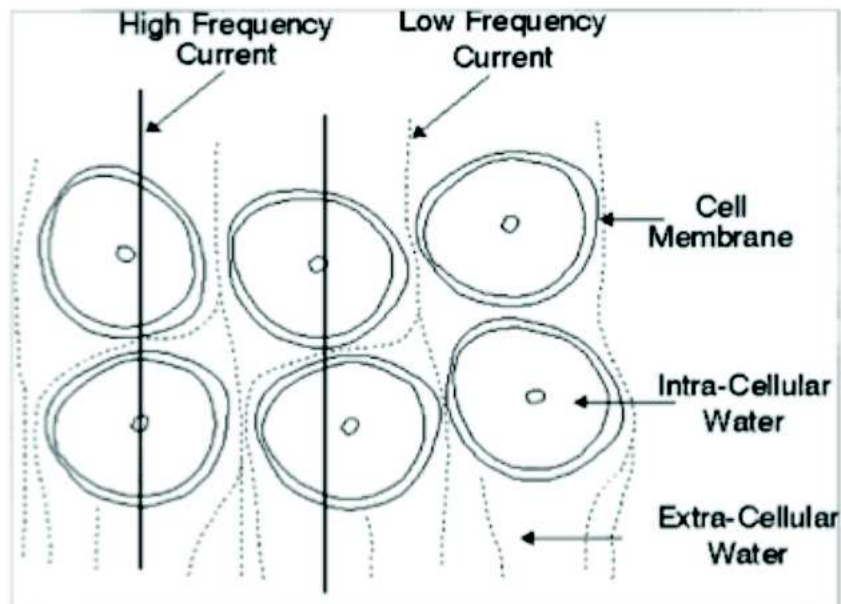


Figure 2 : Comportement du courant électrique dans les tissus en fonction de la fréquence

1.3.3. Estimation des compartiments tissulaires

La masse grasse et la masse maigre sont estimées à partir des volumes hydriques mesurés, selon un modèle physiologique intégrant le pourcentage normal d'hydratation de ces compartiments. Selon une étude de 1999, l'hydratation de la masse maigre est constante, en moyenne à 73,2% (8).

Un modèle tricompartimental a ainsi été proposé : masse grasse normohydratée, masse maigre normo-hydratée et excès d'hydratation.

$$\text{Poids corporel} = \text{masse grasse} + \text{masse maigre} + \text{hyperhydratation}$$

Ce modèle est celui utilisé par l'impédancemètre spectroscopique que nous utilisons dans cette étude : Body Composition Monitor (Fresenius).



Figure 3 : Bio-impédancemètre BCM

1.3.4. Mesure en pratique

La mesure s'effectue au lit du patient, après positionnement d'électrodes sur le dos de la main et le dos du pied, et application d'un courant, à basse fréquence (eau extracellulaire) et à haute fréquence (eau totale).

Il y a deux électrodes d'émission et deux électrodes de détection.

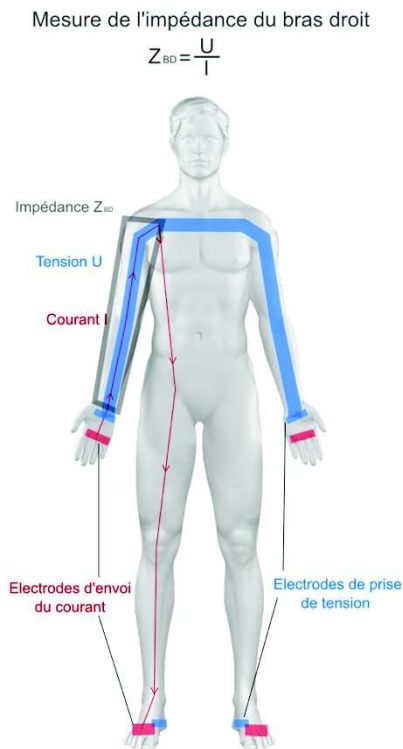


Figure 4 : Mesure en pratique

1.3.5. Limites principales

La principale limite de cette technique repose sur la nécessité d'utiliser une équation adaptée à la population étudiée. Idéalement, les mesures ne devraient être réalisées qu'en utilisant une équation validée dans la population à laquelle correspond le sujet.

Les variations individuelles, telles que le morphotype, limitent la fiabilité des estimations (9).

Les variations d'état d'hydratation diminuent également la précision des mesures, et peuvent modifier le taux d'hydratation de la masse maigre, sur lequel repose l'estimation des compartiments tissulaires (10).

1.3.6. Utilisation

La bio-impédancemétrie a été étudiée et validée chez les patients souffrant d'insuffisance rénale chronique, en tant qu'outil précoce de détection de complications (11) ou à visée d'estimation du débit de filtration glomérulaire par mesure de la masse maigre. En effet, inclure la masse maigre dans le calcul du débit de filtration permet d'en améliorer la fiabilité (12). Elle a également été évaluée chez l'insuffisant cardiaque, avec des résultats intéressants si associée à l'évaluation de bio-marqueurs (BNP, NT-proBNP) (13).

1.4. Bio-impédancemétrie en péri-opératoire

Dès le début des années 1990, les scientifiques s'intéressent à la bio-impédancemétrie. En effet, en 1992, Chioloro R. et al. mènent une étude prospective et retrouvent une corrélation entre variation de l'index de bio-impédancemétrie et variation de poids après remplissage, chez les patients présentant une pathologie chirurgicale aiguë grave (polytraumatisme, chirurgie majeure) (14). En 1994, Gagnon R. et al. au Québec montrent, sur 30 sujets, en post-opératoire, une corrélation entre eau totale mesurée par impédancemétrie et balance hydrique (poids et bilan entrée/sortie) (15). En 1995, Roos A. et al. retrouvent une corrélation entre évaluation clinique de l'hydratation du patient par le médecin (impression clinique, variation de poids, paramètres biologiques) et valeur de bio-impédancemétrie (16).

Ces études encourageantes motivent l'étude de cet outil en chirurgie majeure, telle que la chirurgie cardiaque. En 2002, Feyrer R. met en évidence que la bio-impédancemétrie en chirurgie cardiaque permet de mieux comprendre la répartition des fluides suite à une CEC. En effet, la diminution de la bio-impédance est associée à une augmentation de l'eau extra-cellulaire, reflet du syndrome œdémateux (17). En 2009, Simon R. et al. mènent une étude prospective chez 13 patients en post-opératoire de chirurgie cardiaque, comparant la mesure du débit cardiaque par impédancemétrie thoracique à la mesure par cathéter artériel pulmonaire. Le pourcentage d'erreur de l'impédancemétrie est alors élevé (49%) (18).

Afin d'en évaluer la fiabilité, la bio-impédancemétrie est comparée au bilan entrée/sortie, pour détecter une hypervolémie en soins intensifs en 2015, par Jones S. et son équipe. La sensibilité des mesures d'impédancemétrie est alors faible pour des variations d'hydratation de moins de 2 litres (19).

D'autres auteurs s'intéressent au caractère prédictif de l'impédancemétrie. En 2013, Flavio B. et al. en Italie, sur 64 patients en unités de soins intensifs, objectivent que l'hypervolémie, mesurée par bio-impédancemétrie, est un facteur prédictif de mortalité (20).

Ainsi, alors que certains auteurs retrouvent une corrélation entre les mesures d'impédancemétrie et l'état d'hydratation, d'autres relèvent la fiabilité modérée de cette technique (21) (22).

1.5. Etude de la volémie

Afin d'évaluer la volémie des patients, le médecin dispose de plusieurs outils.

1.5.1. Le bilan entrée/sortie : Gold-Standard

Lorsque le médecin cherche à comprendre la volémie d'un patient, il s'intéresse à ce qui est apporté à l'organisme, et à ce qui en sort : le bilan des entrées et des sorties. Les types d'apports sont multiples : eau par voie orale, colloïdes, cristalloïdes, transfusions par exemple. L'évaluation des pertes est plus complexe, car aux pertes

sensibles quantifiables (diurèse, saignement, recueil du contenu d'une sonde nasogastrique en aspiration) s'ajoutent des pertes insensibles non quantifiables.

Le calcul de ce bilan entrée/sortie, fréquemment utilisé, a déjà montré son intérêt dans plusieurs études.

Dans le choc septique, F. Alsous, en 2000, observe qu'un bilan entrée/sortie négatif dans les trois premiers jours de la prise en charge améliorerait la survie (23). Plus tard, en 2017, Pittard et al. mettent en évidence une corrélation entre positivité du BES et mortalité (24).

En réanimation chirurgicale, en 2014, Shim H. et al. établissent un lien entre bilan entrée/sortie positif et élévation de la mortalité en soins intensifs, chez les patients présentant un score APACHEII supérieur à 20 (25).

Dans le cadre de la chirurgie cardiaque, plusieurs études ont également été menées, s'intéressant à la balance hydrique, et ses effets sur ventilation mécanique et insuffisance rénale. En effet, une étude publiée en 2020 a retrouvé qu'une balance hydrique positive est associée à un allongement de la durée de ventilation mécanique (26). Par ailleurs, l'incidence d'une insuffisance rénale aiguë en post-opératoire de chirurgie cardiaque est supérieure en cas de BES positif (27).

L'ensemble de cette littérature sur le bilan entrée/sortie nous confirme l'importance de cet outil au quotidien.

1.5.2. Clinique et biologie

L'évaluation initiale de l'hydratation se fait au lit du patient, à la recherche de signes cliniques d'hypervolémie ou d'hypovolémie (œdèmes, pli cutané, sécheresse des muqueuses). La variation du poids peut également aider à mieux comprendre les variations de volémie.

S'ajoutent ensuite plusieurs paramètres biologiques. En effet, les variations de natrémie permettent d'évaluer le secteur intra-cellulaire (28). L'évolution de la protidémie reflète en partie l'hémodilution ou l'hémoconcentration, en cas de déshydratation ou d'hyperhydratation. L'ascension de la lactatémie est liée à une souffrance cellulaire en cas d'état de choc, et d'hypovolémie vraie ou relative. La fonction rénale clinico-biologique est également intriquée à la volémie et à l'hydratation

globale du patient. Sa dégradation peut être un argument pour une déshydratation (29).

1.5.3. Imagerie et monitoring invasif

L'échographie cardiaque permet de compléter l'analyse, à la recherche de signes d'hypovolémie ou d'hypervolémie, via la mesure des pressions de remplissage, du débit cardiaque, du diamètre de la veine cave. Cependant, cette technique présente de nombreux biais et limites : qualité de l'image, opérateur, interprétation (30).

Des outils ont également été développés, tels que la thermodilution trans-pulmonaire, l'analyse du contour de l'onde de pouls ou le cathétérisme artériel pulmonaire, permettant de récolter, selon les dispositifs, des mesures calculées de débit et d'index cardiaque, de résistances vasculaires, d'eau intra-pulmonaire, de PAPO et PVC. Ce sont cependant des outils invasifs, non utilisables dans l'ensemble des services.

Néanmoins, la plupart de ces monitorages s'intéressent au volume intra-vasculaire, sans prendre en compte l'hydratation globale.

1.6. Hypothèse et objectifs

A la vue de ces données, nous émettons donc l'hypothèse que la bio-impédancemétrie pourrait être une méthode non invasive d'évaluation de la surcharge hydrique en péri-opératoire de chirurgie cardiaque.

Le critère de jugement principal est la corrélation entre la variation de valeur d'eau totale évaluée par bio-impédancemétrie et le bilan entrée/sortie sur les 24 premières heures péri-opératoires (J1).

Les objectifs secondaires sont la corrélation du bilan entrée/sortie, avec les autres paramètres reflétant la volémie : variation de poids, paramètres biologiques tels que la protidémie, la lactatémie, l'hématocrite, et la fonction rénale.

MATERIEL ET METHODES

2.1. Design de l'étude

Il s'agit d'une étude prospective, monocentrique, réalisée en réanimation de chirurgie cardiaque, au Centre Hospitalier Universitaire Charles Nicolle de Rouen, Normandie, France, entre le 1^{er} Septembre 2020 et le 1^{er} Septembre 2021.

2.2. Critères d'inclusion, de non-inclusion et d'exclusion

Les critères d'éligibilité sont tous patients majeurs bénéficiant d'une chirurgie cardiaque avec ou sans circulation extracorporelle.

Les critères de non-inclusion sont la présence d'un pacemaker/défibrillateur ou d'un autre dispositif électronique, la grossesse, le refus du patient, l'âge inférieur à 18 ans, le recours à l'épuration extra rénale, les antécédents d'amputation et les sujets présentant un IMC supérieur à 35.

Le critère d'exclusion est un score de qualité de la mesure (Q) inférieur à 90/100 à J-1.

2.3. Protocole

Les patients sont inclus dans l'étude la veille de l'intervention. Ils bénéficient alors d'une information loyale et claire, et sont assurés du caractère anonyme de leur participation.

Une première mesure d'impédancemétrie est alors réalisée, puis une deuxième au lendemain de l'intervention.

Toutes les mesures sont réalisées de manière standardisée, auprès du patient allongé depuis 10 minutes.

En parallèle, le bilan entrée/sortie quotidien est calculé, et l'ensemble des autres paramètres clinico-biologiques sont recueillis.

2.4. Critères de jugement

Le critère de jugement principal est la corrélation entre la variation de valeur d'eau totale évaluée par bio-impédancemétrie et le bilan entrée/sortie sur les 24 premières heures péri-opératoires (J1).

Le critère de jugement secondaire est la corrélation à J1 entre le bilan entrée/sortie et les autres paramètres reflétant la volémie, tels que la variation de poids, la protidémie, l'hématocrite, la lactatémie, la natrémie et la fonction rénale (urée - créatinine – classification KDIGO).

2.5. Matériel

L'appareil d'impédancemétrie utilisé a été financé par la fondation Charles Nicolle et le CHU de Rouen. Il s'agit du Body Composition Monitor (BCM) de Fresenius.

Un ensemble de données est recueilli lors de chaque mesure : volume de distribution, eau totale, eau intra- et extra-cellulaire, indice de masse grasse et indice de masse maigre, masse de tissu grasseux, masse cellulaire corporelle. La variation de l'eau totale à J1 est ensuite calculée, afin d'être comparée au bilan entrée/sortie.

2.6. Statistiques

Le nombre de patients à inclure est estimé à 100 sur une période de douze mois afin d'obtenir un nombre de données suffisant. Devant la simplicité de l'acquisition des données et du protocole, ce chiffre paraît raisonnable.

La population étudiée est ensuite classée en deux groupes selon l'apparition ou non d'une défaillance d'organe au cours du séjour, définie par un syndrome vasoplégique (noradrénaline pendant plus de 4 heures), et/ou un choc cardiogénique (utilisation de dobutamine), et/ou une durée d'intubation supérieure à 12 heures, et/ou la survenue d'une insuffisance rénale aiguë (KDIGO supérieur ou égal à 1).

Les résultats sont présentés sous forme de médiane avec premier et troisième interquartiles pour les variables quantitatives ou sous forme de proportions pour les variables qualitatives. Les comparaisons entre les deux groupes sont réalisées par un test exact de Fischer ou un test de Mann et Whitney bivarié.

Les corrélations, dans la cohorte totale, des valeurs de bio-impédancemétrie ou autres paramètres, avec le BES quotidien, sont réalisées grâce à un test de corrélation de Pearson, puis une régression linéaire est effectuée.

Les analyses sont réalisées grâce au logiciel graphpad prism v9.02. Une valeur $p < 0.05$ est considérée comme statistiquement significative.

RESULTATS

3.1. Population

Au total, sur 121 patients éligibles évalués en pré-opératoire, 100 ont été inclus (Tableau 1). Parmi les 100 patients inclus, 34 ont été exclus en raison d'un critère de qualité de mesure d'impédancemétrie à J-1 (Q) inférieur à 90. Ainsi, 66 patients ont été analysés (Figure 5).

Nombre de patients non-inclus : 21	Cause
3	Report
4	Pas de mesure
1	Réaction Anaphylactique
9	IMC>35
1	Dialyse chronique
3	Pacemaker/Défibrillateur interne
Nombre de patients exclus : 34	Qualité de mesure à J-1 : Q<90

Tableau 1 : Répartition des patients non-inclus et exclus

Les caractéristiques de la population sont décrites dans le tableau 2.

Il s'agit d'une majorité d'hommes (77,3%), d'un âge médian de 69 (62,5 ; 74) ans, présentant un surpoids (IMC médian à 27,1 (25 ; 30)). Trois des chirurgies se sont effectuées en urgence. L'Euroscore médian s'élève à 4,1%. La chirurgie la plus représentée est le remplacement valvulaire (42,4%), suivie du pontage (30,3%). Une seule intervention s'est déroulée sans CEC.

En per-opératoire, le temps médian de CEC est de 67 (53 ; 94,5) minutes, pour 52 (39 ; 78) minutes de clampage.

En post-opératoire, la durée médiane de ventilation invasive est de 5 (3 ; 7) heures, et la durée de séjour médiane est de 3 (3 ; 5) jours.

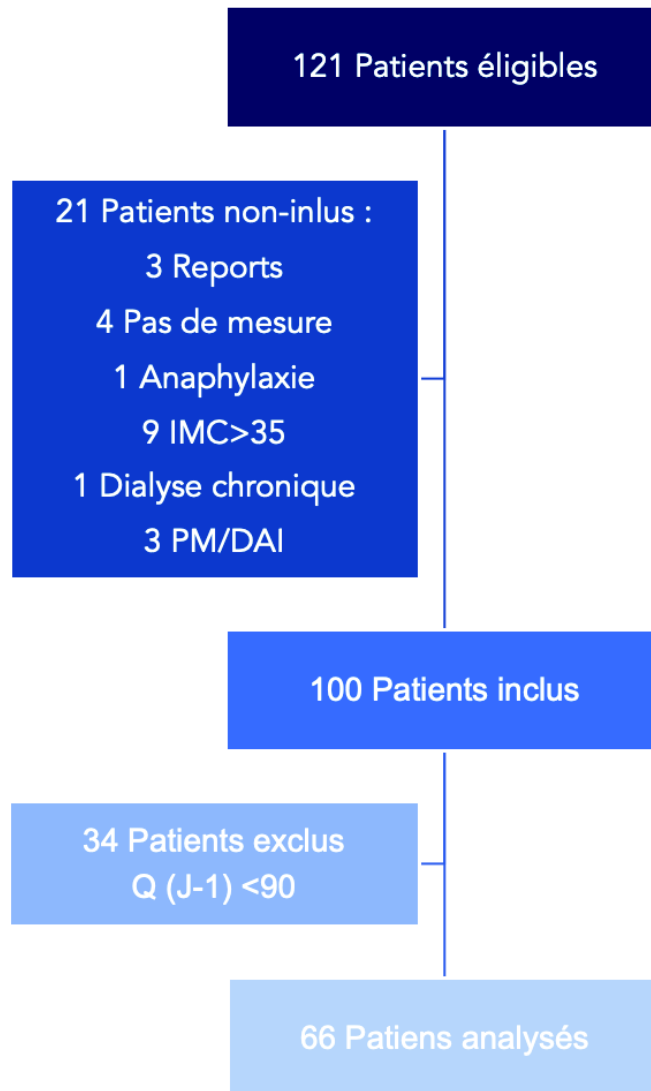


Figure 5 : Flow Chart

Caractéristiques	Cohorte (Q1 ; Q3)
Nombre de patients	66
Age médian - Années	69 (62,5 ; 74)
Hommes – Nbre - %	51 - 77,3%
ASA score médian	3 (3 ; 4)
Chirurgies urgentes – Nbre - %	3 - 4,5%
Euroscore médian – %	4,1 (2,9 ; 7)
IMC médian	27,1 (25 ; 30)
Types de chirurgies	
Pontage – Nbre - %	20 - 30,3%
Remplacement valvulaire – Nbre - %	28 - 42,4%
Pontage et valve – Nbre - %	6 - 9,1%
Autre – Nbre - %	12 - 18,2%
Per-opératoire	
Temps médian de CEC - Minutes	67 (53 ; 94,5)
Temps médian de clampage - Minutes	52 (39 ; 78)
Post-opératoire	
Délai d'extubation médian - Heures	5 (3 ; 7)
Défaillance* – Nbre - %	28 - 42,4%
Durée de séjour médiane - Jours	3 (3 ; 5)

* Défaillance : syndrome vasoplégique (noradrénaline pendant plus de 4 heures) et/ou choc cardiogénique (dobutamine) et/ou intubation durant plus de 12 heures et/ou insuffisance rénale aiguë (KDIGO supérieur ou égal à 1).

Tableau 2 : Caractéristiques de la cohorte

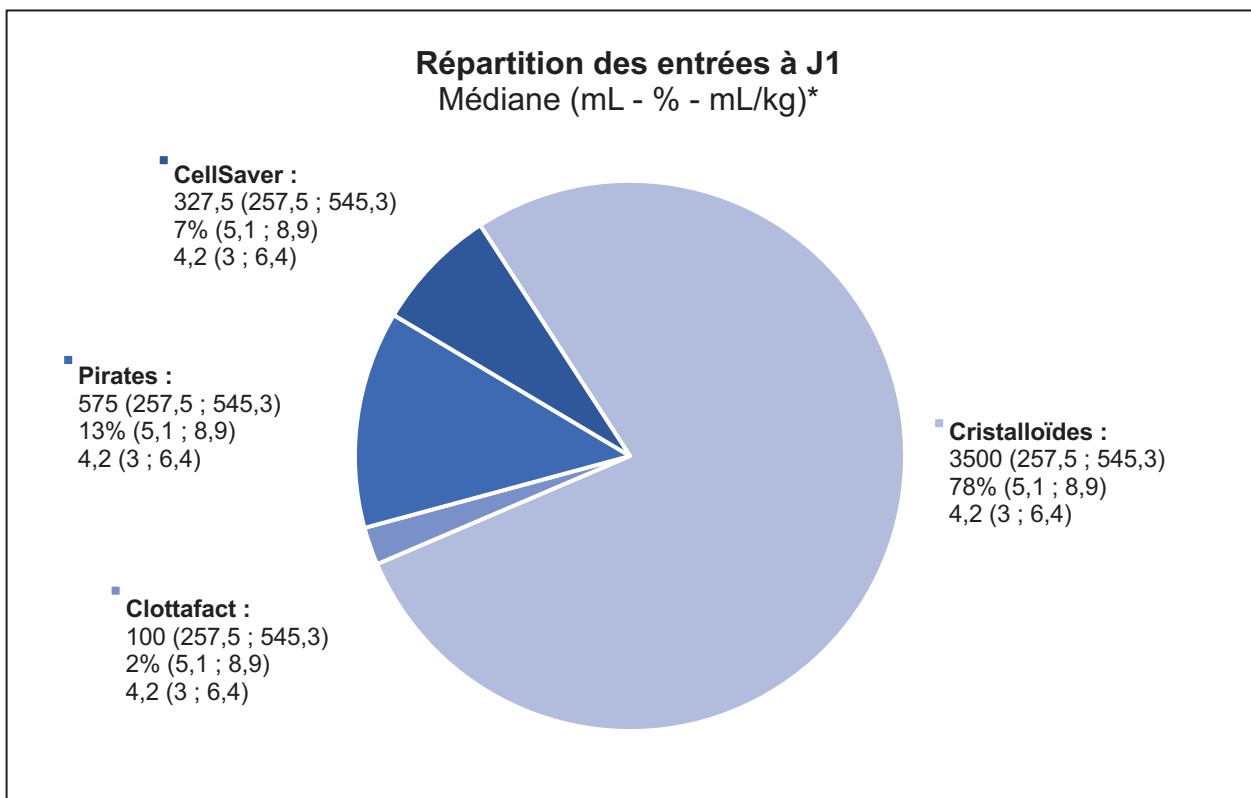
3.2. Bilan entrée/sortie à J1

3.2.1. Entrées

En per-opératoire, en valeur médiane, les cristalloïdes représentent 63,3 (43,5 ; 73,6) % des apports totaux, le cell-saver 16,8 (9,2 ; 22,3) % et le clottafact 3,3 (0 ; 8,4) % (Annexe 1). En moyenne, les produits sanguins labiles représentent 12%, et le custodiol 16% (Annexe 2).

En post-opératoire en réanimation à J1, 79,4 (70,9 ; 84,3) % des apports sont des cristalloïdes et 19,4 (15,2 ; 24,9) % des apports pirates (Annexe 3).

Ainsi, à J1, les deux principales catégories d'entrées sont cristalloïdes et pirates (Figure 6).



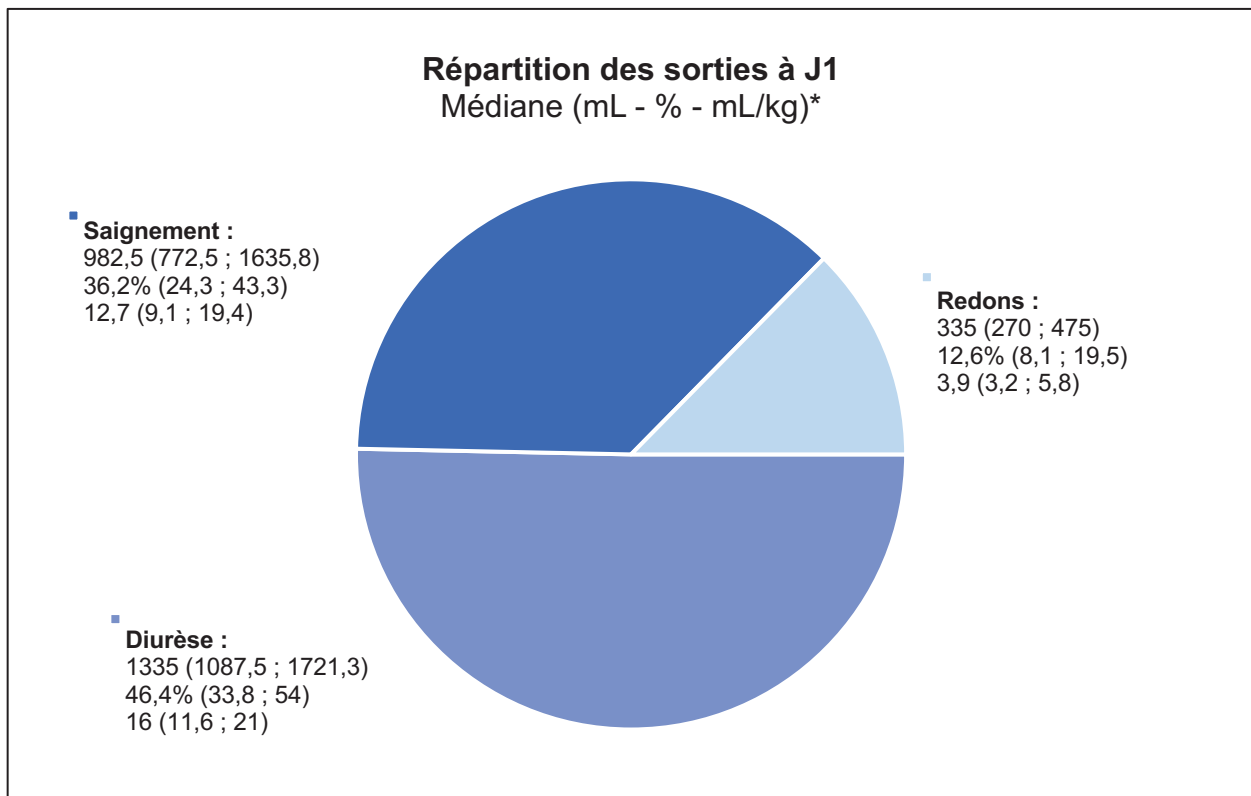
*Valeur et interquartile (Q1 ; Q3)

Figure 6 : Diagramme en secteur de la médiane des entrées à J1

3.2.2. Sorties

En per-opérateur, les pertes sont à 79,5 (59 ; 91,1) % liées au saignement, et 12,8 (7 ; 25) % à la diurèse, alors qu'en post-opérateur, la diurèse domine à 77,9 (63,8 ; 82,6) % et les pertes dans les redons à 22,1 (17,3 ; 35,2) % (Annexes 4 et 5).

Ainsi, à J1 (Figure 7), la répartition des sorties retrouve 46,4 (33,8 ; 54) % de diurèse (1335 (1087,5 ; 1721,3) mL), 36,2 (24,3 ; 43,3) % de saignement (982,5 (772,5 ; 1635,8) mL) et enfin 12,6 (8,1 ; 19,5) % de pertes dans les redons (335 (270 ; 475) mL).



*Valeur et interquartile (Q1 ; Q3)

Figure 7 : Diagramme en secteur de la médiane des sorties à J1

3.2.3. Bilan entrée/sortie

A J1, le bilan entrée/sortie est positif dans 92% des cas, avec une valeur médiane de 1861 (1182,75 ; 2586,5) mL (Annexe 6).

3.3. Critère de jugement principal

L'étude du critère de jugement principal, comparant bilan entrée/sortie et variation d'eau totale mesurée par impédancemétrie entre J-1 et J1 (Figure 8 et Tableau 3), retrouve une corrélation non significative ($p=0,057$).

Une corrélation positive significative est retrouvée en s'intéressant uniquement à la variation d'eau extra-cellulaire (Pearson - $r : 0,55$ et $p < 0,0001$). Cette corrélation est non significative pour l'eau intra-cellulaire (Pearson - $r : 0,1 - p = 0,429$).

Corrélation entre variation d'eau totale et bilan entrée/sortie à J1

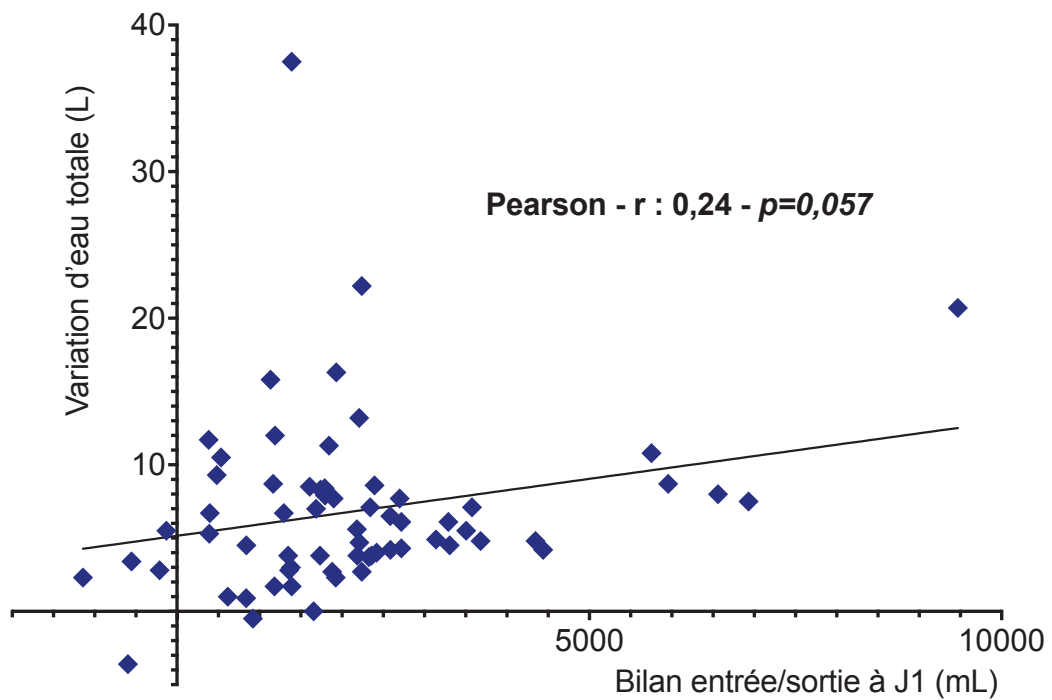


Figure 8 : Critère de jugement principal

Corrélation	Test de Pearson		p value
	r*	Intervalle de confiance - 95%	
Critère de jugement principal			
BES VS. Variation d'eau totale	0,237	[-0,007 ; 0,455]	0,057
BES VS. Variation d'eau extra-cellulaire	0,545	[0,348 ; 0,697]	<0,0001
BES VS. Variation d'eau intra-cellulaire	0,099	[-0,148 ; 0,335]	0,429
Critère de jugement secondaire			
BES VS. Variation de poids	0,466	[0,238 ; 0,645]	0,0002
BES VS. Variation d'hématocrite	-0,095	[-0,331 ; 0,152]	0,451
BES VS. Variation de protidémie	-0,560	[-0,707 ; -0,366]	<0,0001
BES VS. Variation de natrémie	0,0151	[-0,23 ; 0,258]	0,905
BES VS. Variation d'urée	0,217	[-0,028 ; 0,438]	0,083
BES VS. Variation de créatinine	0,261	[0,0179 ; 0,474]	0,036

* r : coefficient de corrélation de Pearson. Le signe de r indique le sens de la corrélation (positive ou négative) et la valeur absolue de r l'intensité de la corrélation (0, nulle, à 1, parfaite).

Tableau 3 : Critères de jugement principal et secondaire

3.4. Critère de jugement secondaire

Il existe une corrélation significative entre bilan entrée/sortie et variations de poids (Pearson – r : 0,466 et $p=0,0002$), de créatinine (Pearson – r : 0,261 et $p=0,036$) et de protidémie (Pearson – r : -0,560 et $p<0,0001$) à J1.

Cette corrélation n'est pas retrouvée pour les variations d'hématocrite, de natrémie et d'urée (Tableau 3).

3.5. Autres paramètres mesurés

Le bio-impédancemètre renseigne également sur un ensemble de mesures d'hydratation, ainsi que de composition corporelle (Tableau 4).

Bio-impédancemétrie	Médiane J-1*	Médiane J1*	Médiane variation J1 *
Volume de distribution de l'urée (L)	37,2 (32,9 ; 41,7)	43,2 (37,1 ; 47,6)	4,75 (2,4 ; 8,5)
Eau totale (L)	37,7 (32,9 ; 41,8)	44,4 (38,9 ; 48)	5,5 (3,8 ; 8,4)
Eau extra-cellulaire - EEC (L)	16,8 (15,2 ; 19)	19,7 (17,8 ; 22,2)	2,5 (1,4 ; 3,2)
Eau intra-cellulaire – EIC (L)	20,1 (17,6 ; 22,9)	24,1 (20,1 ; 27,2)	3 (1,1 ; 5,9)
EEC/EIC	0,9 (0,8 ; 0,9)	0,9 (0,7 ; 0,9)	0 (-0,1 ; 0,1)
Indice de masse maigre (kg/m ²)	13,6 (11,6 ; 14,9)	15,8 (14,3 ; 19)	2,4 (0,6 ; 5,2)
Indice de masse grasse (kg/m ²)	14,3 (11 ; 16,4)	11,4 (8 ; 13,8)	-2,6 (-4,6 ; -0,9)
Masse maigre sèche relative au poids (%)	49 (42 ; 57,7)	56,3 (49,9 ; 70,9)	6,8 (1,1 ; 17,7)
Masse grasse totale relative au poids (%)	37,5 (31,7 ; 42,4)	29,6 (22,3 ; 34,6)	-6,3 (-13,3 ; -3,8)
Masse de tissu grasseux (kg)	42,3 (32,7 ; 52,1)	33,1 (23,9 ; 43,6)	-7 (-13,4 ; -3,5)
Masse cellulaire corporelle (kg)	22,2 (17,7 ; 26,1)	28,3 (23,4 ; 34,5)	5 (1,5 ; 10,7)
Qualité	93,6 (92 ; 95)	94 (90,6 ; 96)	0,9 (-3,8 ; 3,4)

* Valeur et interquartile (Q1 ; Q3)

Tableau 4 : Autres paramètres de bio-impédance

Il apparaît que les médianes de variation de volume de distribution, d'eau totale, d'eau extra-cellulaire et d'eau intra-cellulaire sont positives. En revanche, le rapport eau intra-/extra-cellulaire n'est pas modifié.

Le taux de masse grasse relatif en pré-opératoire est élevé dans la population, soit 37,5 (31,7 ; 42,4) % du poids du corps, et le taux de masse maigre de 49 (42 ; 57,7) %. Au cours des premières 24 heures, l'indice de masse maigre augmente, et l'indice de masse grasse diminue.

3.6. Analyse selon la survenue ou non d'une défaillance d'organe

3.6.1. Description des deux groupes

A partir de la cohorte principale, deux groupes ont été décrits selon la présence ou non d'une ou plusieurs défaillances d'organes, définies par un syndrome vasoplégique (noradrénaline utilisée pendant plus de 4 heures), un choc cardiogénique (utilisation de dobutamine), une intubation prolongée (pendant plus de 12 heures), une insuffisance rénale aiguë (score de KDIGO supérieur ou égal à 1).

Le groupe défaillance rassemble 28 patients et le groupe sans défaillance 38 (Tableau 5).

Type de défaillance	Nombre
Syndrome vasoplégique (> 4 heures de noradrénaline)	22
Choc cardiogénique	7
Insuffisance rénale aiguë (KDIGO \geq 1)	5
Intubation durant plus de 12 heures	4

Tableau 5 : Répartition des types de défaillance

3.6.2. Survenue d'une défaillance d'organe

Les patients présentant une défaillance d'organe ont un temps de clampage et un temps de CEC allongés, et présentent une élévation du bilan entrée/sortie, du pic de troponine et de la créatinine (Tableau 6).

Il n'y a pas de différence significative entre les deux groupes pour l'âge, l'IMC, l'Euroscore, le saignement et la lactatémie de J1 ainsi que la masse grasse et la masse maigre pré-opératoires.

Facteurs	Avec défaillance d'organe Médiane*	Sans défaillance d'organe Médiane*	Mann-Whitney p value
Clampage aortique - Min	68 (46,5 ; 107,8)	43 (37,5 ; 59)	0,007
Durée de CEC - Min	82,5 (58 ; 158)	62 (52 ; 80,5)	0,016
Bilan entrée/sortie de J1 - mL	2225 (1748 ; 3508)	1390 (899,8 ; 2330)	0,009
Pic de troponine	741,5 (379,3 ; 1229)	474 (284 ; 732,5)	0,023
Créatinine de J1 - µmol/L	83 (68,5 ; 126,3)	73,5 (62,8 ; 86,5)	0,033
Age - Années	70,5 (62,5 ; 74,25)	67 (62 ; 73,8)	0,235
ASA	3 (3 ; 4)	3 (3 ; 4)	>0,999
Euroscore - %	3,8 (2,4 ; 8,8)	4,4 (3,3 ; 6,9)	0,479
IMC	27 (24,7 ; 30)	27,3 (25,4 ; 30,4)	0,864
Saignement de J1 - mL	395 (237,5 ; 860)	315 (270 ; 372,5)	0,11
Masse grasse préopératoire	13,7 (10,7 ; 16)	14,6 (11,1 ; 16,7)	0,534
Masse maigre préopératoire	14,1 (12,4 ; 14,9)	13,2 (11,2 ; 14,9)	0,445
Lactate J1 - mmol/L	1,5 (1 ; 2,2)	1,9 (1,1 ; 2,4)	0,526

*Valeur et interquartile (Q1 ; Q3)

Tableau 6 : Analyse des groupes, avec ou sans défaillance d'organe

DISCUSSION

Le critère de jugement principal retrouve une absence de corrélation entre le bilan entrée/sortie calculé de J1 et la variation d'eau totale mesurée. Le résultat obtenu conclut à la mauvaise fiabilité des mesures d'impédancemétrie en péri-opératoire, et rejoint certains auteurs ayant déjà relevé la limite de cet outil.

La tendance à l'hypervolémie, toutefois observée, est cohérente avec la physiopathologie. Nous savons que la CEC dans le cas d'une chirurgie cardiaque est à l'origine d'un syndrome inflammatoire, à travers la sécrétion de cytokines pro-inflammatoires et l'altération du glycocalyx (31). Selon une étude de 2019 réalisée par Squicciarro E. et al., 28,3% des patients présentent un SIRS dans les 24 heures suivant une chirurgie cardiaque (32). Cette réponse inflammatoire est associée à un ensemble de modifications neuro-hormonales, dont la sécrétion de peptides natriurétiques (33), tels que le BNP par les cardiomyocytes lors de l'étirement de fibres myocardiques (34). Cette molécule a une action antagoniste du système rénine-angiotensine-aldostérone-vasopressine, et a des effets diurétiques, natriurétiques et vasodilatateurs. Cet ensemble de mécanismes conduit à une vasodilatation et à une fuite d'eau en extra-vasculaire, à l'origine d'un syndrome œdémateux (35).

Le critère de jugement secondaire retrouve une corrélation modérée entre bilan entrée/sortie et variation de poids, de créatinine et de protidémie. Ainsi, en cas d'augmentation du bilan entrée/sortie, le poids augmente (œdèmes), la créatinine augmente (insuffisance rénale) et la protidémie diminue, reflet d'une hémodilution.

L'analyse des autres valeurs mesurées par bio-impédancemétrie nous indique qu'au cours des premières 24 heures, le volume d'eau intra- et extra-cellulaire augmente, mais le rapport EEC/EIC reste constant, autrement dit la répartition hydrique entre les compartiments reste équilibrée. Le volume de distribution augmente également, en accord avec la positivité du BES.

Les patients présentant une défaillance d'organe présentent des temps de CEC et de clampage plus longs. Bien que la méthodologie de cette étude ne permette pas de conclure, nous savons qu'il existe un syndrome post-perfusion dans le cas de

chirurgies avec CEC, majoré en cas d'allongement de la durée de la CEC et du clampage : contact des cellules sanguines avec le matériel, libération de leucocytes activés pulmonaires, production d'endotoxines (ischémie-reperfusion) et facteurs pro-coagulants (36) (37). Ensuite, pic de troponine et créatinine de J1 sont plus élevés dans le groupe défaillance d'organe. De la même manière, dans la littérature, il a été mis en évidence que l'insuffisance rénale est une complication fréquente en post-opératoire d'une chirurgie cardiaque, notamment en lien avec le stress oxydatif et les troubles de la microcirculation liés à la CEC (38). Enfin, le bilan entrée/sortie à J1 est plus élevé dans le groupe avec défaillance. Nous pouvons supposer que la survenue d'une défaillance, notamment hémodynamique, conduise à la nécessité de davantage d'apports. Cependant, l'âge, le score ASA et l'Euroscore ne sont pas différents entre les deux groupes.

Nous pouvons relever plusieurs limites à cette étude.

Le nombre de sujet reste faible, et nous pouvons supposer qu'un effet pourrait être observé avec une cohorte plus importante.

Par ailleurs, il existe un biais de mesure et de leur reproductibilité, car selon les patients et leur hydratation extra-cellulaire, la qualité et la précision des mesures sont modifiées. Le défaut de qualité des mesures en pré-opératoire nous a contraint à exclure 34 patients de l'étude.

Ensuite, nous retrouvons un biais méthodologique relatif au recueil du bilan entrée/sortie, dépendant de la précision de la saisie des informations, au bloc opératoire sur la feuille d'anesthésie, et en réanimation sur le logiciel ICCA. Ainsi les entrées/sorties ont pu être sur- ou sous-évaluées.

Puis, il existe un biais de sélection. En effet, notre étude se concentre sur les patients bénéficiant d'une chirurgie cardiaque, souvent avec une CEC, qui, on le sait, modifie la perméabilité vasculaire à travers le SIRS, et altère considérablement l'approche de la volémie intra- et extra-vasculaire.

Cette étude nous montre ainsi que la fiabilité de l'impédancemétrie dans l'étude de la volémie en péri-opératoire d'une chirurgie cardiaque, en tant qu'outil non invasif et simple d'utilisation, n'est pas certaine.

CONCLUSION

La bio-impédancemétrie en péri-opératoire d'une chirurgie majeure, ici cardiaque, n'a pas montré sa fiabilité, en comparaison au gold-standard.

Il nous faut continuer d'étudier et de mettre à disposition du praticien des moyens de monitoring et d'évaluation afin d'améliorer les prises en charge et diminuer la morbi-mortalité.

BIBLIOGRAPHIE

1. Payen D, de Pont AC, Sakr Y, Spies C, Reinhart K, Vincent JL, et al. A positive fluid balance is associated with a worse outcome in patients with acute renal failure. *Crit Care Lond Engl*. 2008;12(3):R74.
2. National Heart, Lung, and Blood Institute Acute Respiratory Distress Syndrome (ARDS) Clinical Trials Network, Wiedemann HP, Wheeler AP, Bernard GR, Thompson BT, Hayden D, et al. Comparison of two fluid-management strategies in acute lung injury. *N Engl J Med*. 2006;354(24):2564-75.
3. Miller TE, Roche AM, Mythen M. Fluid management and goal-directed therapy as an adjunct to Enhanced Recovery After Surgery (ERAS). *Can J Anesth Can Anesth*. 2015;62(2):158-68.
4. Perren A, Markmann M, Merlani G, Marone C, Merlani P. Fluid balance in critically ill patients. Should we really rely on it? *Minerva Anesthesiol*. 2011;77(8):802-11.
5. McGee S, Abernethy WB, Simel DL. The rational clinical examination. Is this patient hypovolemic? *JAMA*. 1999;281(11):1022-9.
6. Palazzo M. Circulating volume and clinical assessment of the circulation. *Br J Anaesth*. 2001;86(6):743-6.
7. EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition, and Allergies (NDA). Scientific Opinion on Dietary Reference Values for water. *EFSA J*. 2010;8(3):1459.
8. Wang Z, Deurenberg P, Wang W, Pietrobelli A, Baumgartner RN, Heymsfield SB. Hydration of fat-free body mass: new physiological modeling approach. *Am J Physiol*. 1999;276(6):E995-1003.
9. Kyle U. Bioelectrical impedance analysis?part I: review of principles and methods. *Clin Nutr*. 2004;23(5):1226-43.
10. Masson E. Quelles méthodes d'évaluation de la composition corporelle doivent être utilisées en néphrologie ? [Internet]. EM-Consulte. [cité 6 sept 2021]. Disponible sur: <https://www.em-consulte.com/article/151617/quelles-methodes-devaluation-de-la-composition-cor>
11. Rigalleau V, Lasseur C, Chauveau P, Barthes N, Raffaitin C, Combe C, et al. Body composition in diabetic subjects with chronic kidney disease: interest of bio-impedance analysis, and anthropometry. *Ann Nutr Metab*. 2004;48(6):409-13.
12. Macdonald JH, Marcora SM, Jibani M, Roberts G, Kumwenda MJ, Glover R, et al. Bioelectrical impedance can be used to predict muscle mass and hence improve estimation of glomerular filtration rate in non-diabetic patients with chronic kidney disease. *Nephrol Dial Transplant Off Publ Eur Dial Transpl Assoc - Eur Ren Assoc*. 2006;21(12):3481-7.
13. Somma SD, Navarin S, Giordano S, Spadini F, Lippi G, Cervellin G, et al. The emerging role of biomarkers and bio-impedance in evaluating hydration status in patients with acute heart failure. *Clin Chem Lab Med*. 2012;50(12):2093-105.
14. Chioloro RL, Gay LJ, Cotting J, Gurtner C, Schutz Y. Assessment of changes in body water by bioimpedance in acutely ill surgical patients. *Intensive Care Med*. 1992;18(6):322-6.
15. Gagnon R, Gagner M, Duplessis S. Variations of body composition by bioelectric impedancemetry after major surgery. *Ann Chir*. 1994;48(8):708-16.

16. Roos AN, Westendorp RG, Brand R, Souverijn JH, Frölich M, Meinders AE. Predictive value of tetrapolar body impedance measurements for hydration status in critically ill patients. *Intensive Care Med.* 1995;21(2):125-31.
17. Feyrer R, Harig F, Cesnjevar R, Mahmoud OF, Doreth M, Fischlein T, et al. Bioelectrical Impedance Analysis in Cardiac Surgery. *Internet J Thorac Cardiovasc Surg [Internet]*. 2002 [cité 5 oct 2021];5(2). Disponible sur: <https://ispub.com/IJTCVS/5/2/13698>
18. Simon R, Desebbe O, Hénaine R, Bastien O, Lehot J-J, Cannesson M. Comparaison des valeurs de débit cardiaque obtenues à l'aide d'un nouveau système d'impédancemétrie thoracique avec les données du cathéter artériel pulmonaire en postopératoire de chirurgie cardiaque. *Ann Fr Anesth Réanimation.* 2009;28(6):537-41.
19. Jones SL, Tanaka A, Eastwood GM, Young H, Peck L, Bellomo R, et al. Bioelectrical impedance vector analysis in critically ill patients: a prospective, clinician-blinded investigation. *Crit Care Lond Engl.* 2015;19:290.
20. Basso F, Berdin G, Virzì GM, Mason G, Piccinni P, Day S, et al. Fluid Management in the Intensive Care Unit: Bioelectrical Impedance Vector Analysis as a Tool to Assess Hydration Status and Optimal Fluid Balance in Critically Ill Patients. *Blood Purif.* 2013;36(3-4):192-9.
21. Foley K, Keegan M, Campbell I, Murby B, Hancox D, Pollard B. Use of single-frequency bioimpedance at 50 kHz to estimate total body water in patients with multiple organ failure and fluid overload. *Crit Care Med.* 1999;27(8):1472-7.
22. Buchholz AC, Bartok C, Schoeller DA. The validity of bioelectrical impedance models in clinical populations. *Nutr Clin Pract Off Publ Am Soc Parenter Enter Nutr.* 2004;19(5):433-46.
23. Alsous F, Khamiees M, DeGirolamo A, Amoateng-Adjepong Y, Manthous CA. Negative fluid balance predicts survival in patients with septic shock: a retrospective pilot study. *Chest.* 2000;117(6):1749-54.
24. Pittard MG, Huang SJ, McLean AS, Orde SR. Association of positive fluid balance and mortality in sepsis and septic shock in an Australian cohort. *Anaesth Intensive Care.* 2017;45(6):737-43.
25. Shim HJ, Jang JY, Lee SH, Lee JG. The effect of positive balance on the outcomes of critically ill noncardiac postsurgical patients: a retrospective cohort study. *J Crit Care.* 2014;29(1):43-8.
26. Koc V, Delmas Benito L, de With E, Boerma EC. The Effect of Fluid Overload on Attributable Morbidity after Cardiac Surgery: A Retrospective Study. *Crit Care Res Pract.* 2020;2020:4836862.
27. Shen Y, Zhang W, Cheng X, Ying M. Association between postoperative fluid balance and acute kidney injury in patients after cardiac surgery: A retrospective cohort study. *J Crit Care.* 2018;44:273-7.
28. Petitclerc T. [Disorders in sodium-water balance]. *Nephrol Ther.* févr 2013;9(1):38-49.
29. Serveaux M, Burnier M, Kissling S. Interpretation of volemia in acute kidney injury. *Rev Med Suisse.* 2014;10(419):474-6, 478-9.
30. Vieillard-Baron A, Slama M, Cholley B, Janvier G, Vignon P. Echocardiography in the intensive care unit: from evolution to revolution? *Intensive Care Med.* 2008;34(2):243-9.
31. Pesonen E, Passov A, Andersson S, Suojaranta R, Niemi T, Raivio P, et al. Glycocalyx Degradation and Inflammation in Cardiac Surgery. *J Cardiothorac Vasc Anesth.* 2019;33(2):341-5.
32. Squicciarro E, Labriola C, Malvindi PG, Margari V, Guida P, Visicchio G, et al. Prevalence and

Clinical Impact of Systemic Inflammatory Reaction After Cardiac Surgery. *J Cardiothorac Vasc Anesth*. 2019;33(6):1682-90.

33. Wong PCY, Guo J, Zhang A. The renal and cardiovascular effects of natriuretic peptides. *Adv Physiol Educ*. 2017;41(2):179-85.

34. Jogia PM, Kalkoff M, Sleight JW, Bertinelli A, La Pine M, Richards AM, et al. NT-pro BNP secretion and clinical endpoints in cardiac surgery intensive care patients. *Anaesth Intensive Care*. 2007;35(3):363-9.

35. Sherwood ER, Toliver-Kinsky T. Mechanisms of the inflammatory response. *Best Pract Res Clin Anaesthesiol*. 2004;18(3):385-405.

36. Brtko M, Lonský V, Kunes P, Dominik J, Kubíček J. The post-perfusion syndrome after operations performed with extracorporeal circulation. *Acta Medica (Hradec Kralove) Suppl*. 1999;42(1):13-6.

37. Corral-Velez V, Lopez-Delgado JC, Betancur-Zambrano NL, Lopez-Suñe N, Rojas-Lora M, Torrado H, et al. The inflammatory response in cardiac surgery: an overview of the pathophysiology and clinical implications. *Inflamm Allergy Drug Targets*. 2015;13(6):367-70.

38. Scrascia G, Rotunno C, Simone S, Montemurno E, Amorese L, De Palo M, et al. Acute kidney injury in high-risk cardiac surgery patients: roles of inflammation and coagulation. *J Cardiovasc Med Hagerstown Md*. 2017;18(5):359-65.

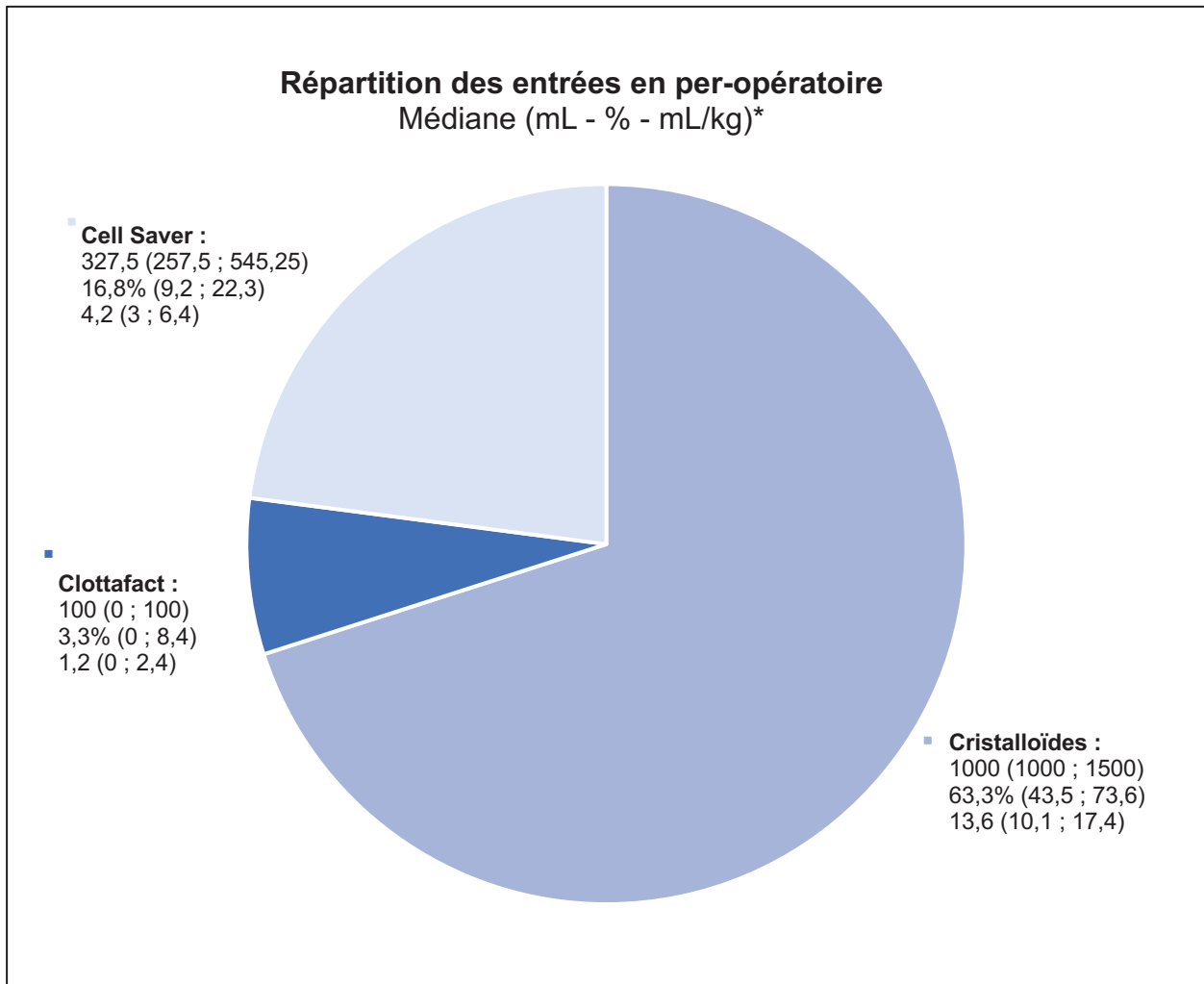
TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Composition corporelle	20
Figure 2 : Comportement du courant électrique dans les tissus en fonction de la fréquence	22
Figure 3 : Bio-impédancemètre BCM	23
Figure 4 : Mesure en pratique	23
Figure 5 : Flow Chart	32
Figure 6 : Diagramme en secteur de la médiane des entrées à J1	34
Figure 7 : Diagramme en secteur de la médiane des sorties à J1	35
Figure 8 : Critère de jugement principal	36

TABLE DES TABLEAUX

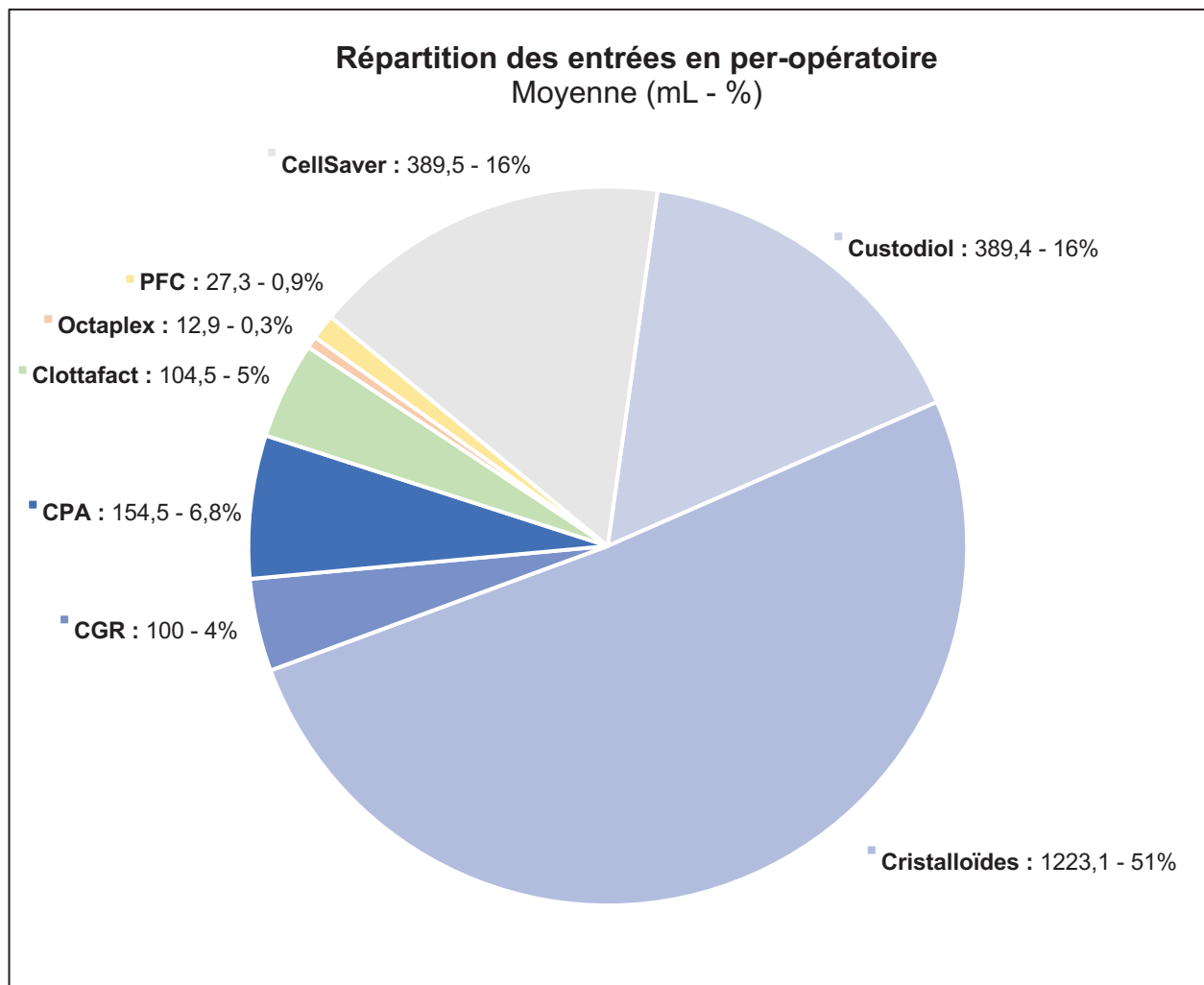
Tableau 1 : Répartition des patients non-inclus et exclus	31
Tableau 2 : Caractéristiques de la cohorte	33
Tableau 3 : Critères de jugement principal et secondaire	37
Tableau 4 : Autres paramètres de bio-impédance	38
Tableau 5 : Répartition des types de défaillance	39
Tableau 6 : Analyse des groupes, avec ou sans défaillance d'organe	40

ANNEXES

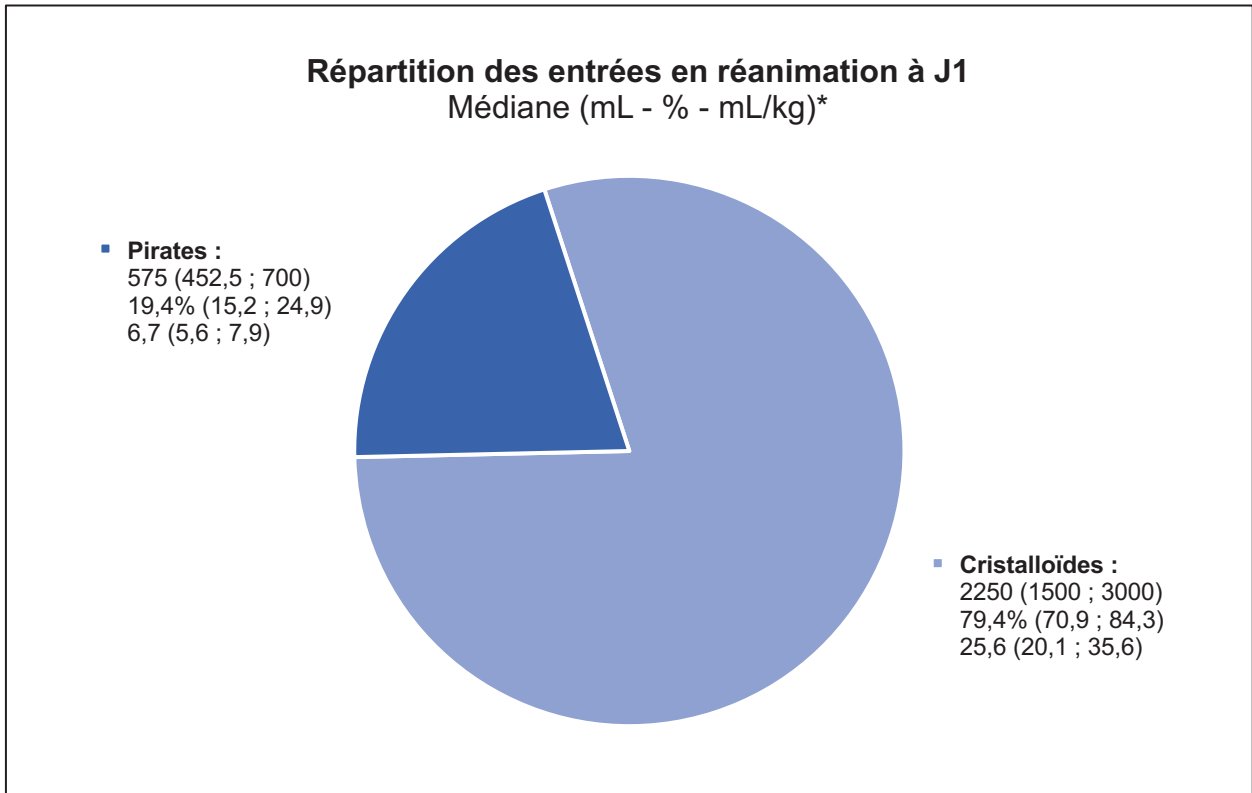


*Valeur et interquartile (Q1 ; Q3)

Annexe 1 : Diagramme en secteur de la médiane des entrées en per-opérateur

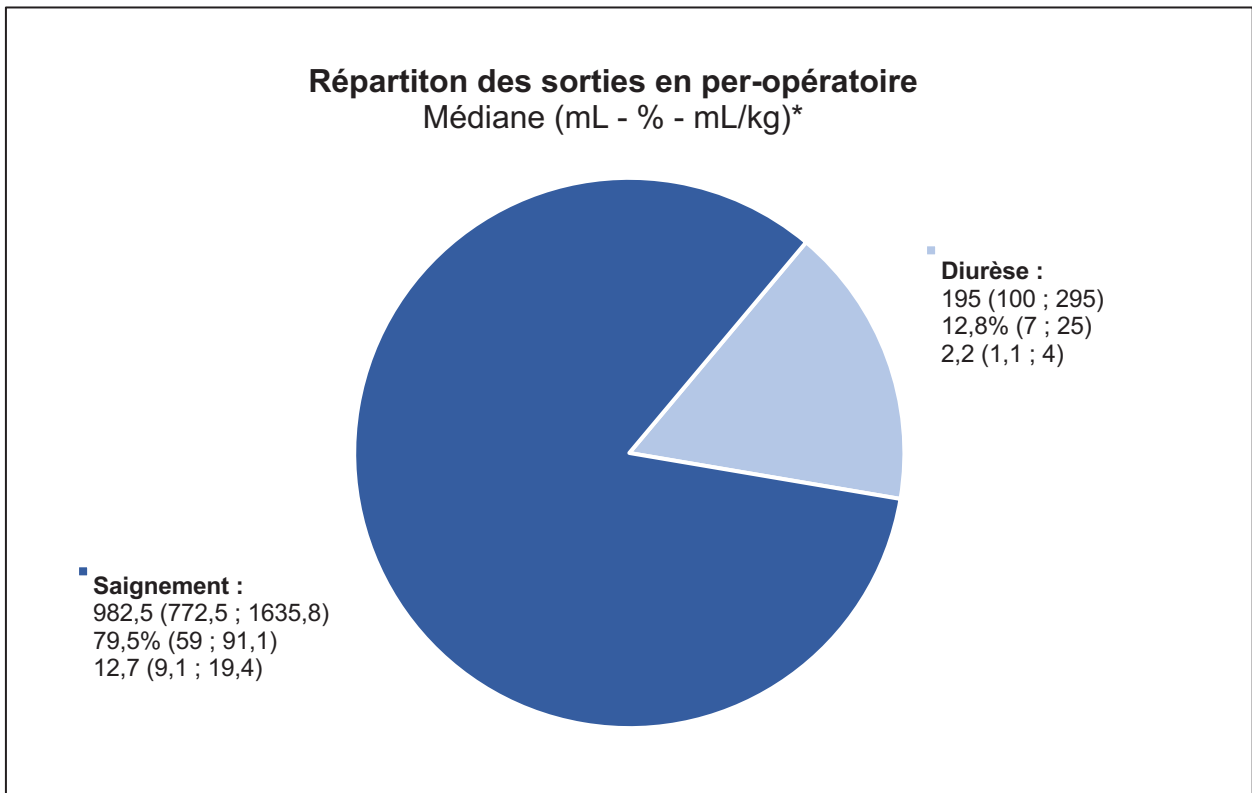


Annexe 2 : Diagramme en secteur de la moyenne des entrées en per-opérateur



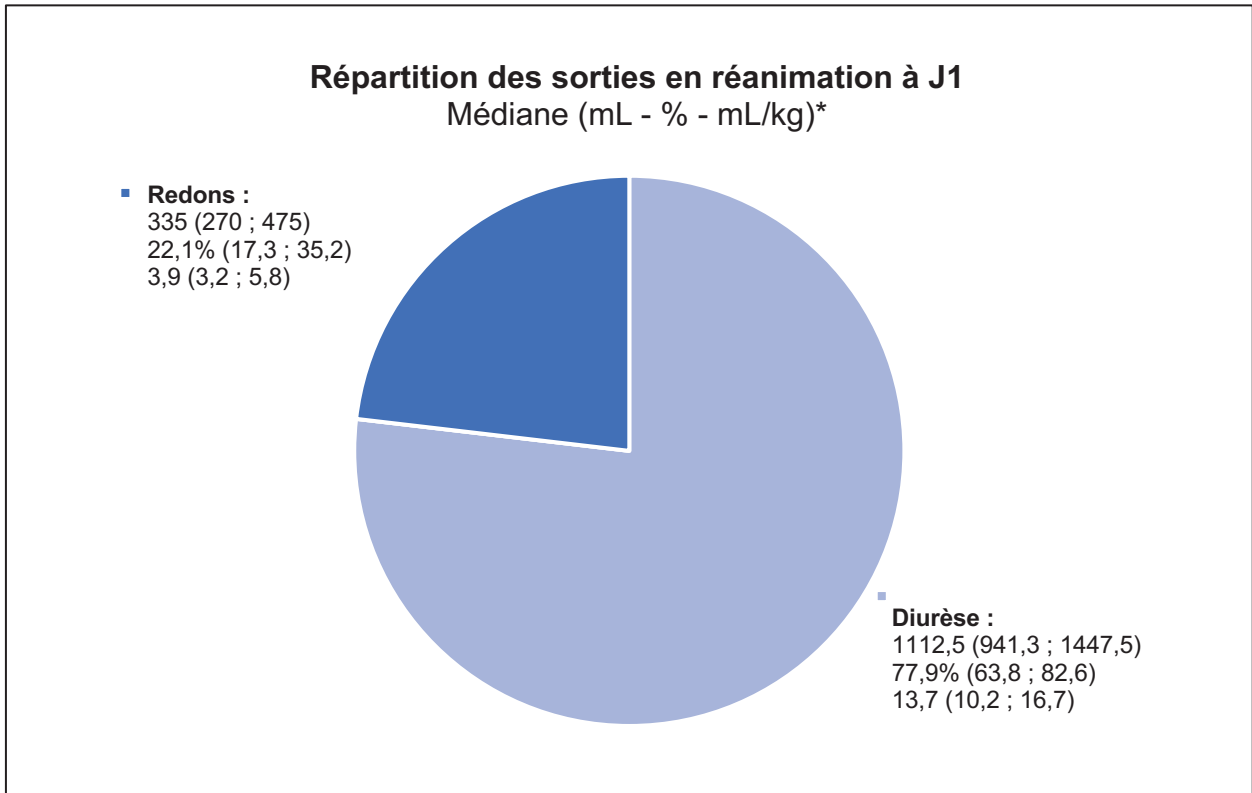
*Valeur et interquartile (Q1 ; Q3)

Annexe 3 : Diagramme en secteur de la médiane des entrées en réanimation à J1



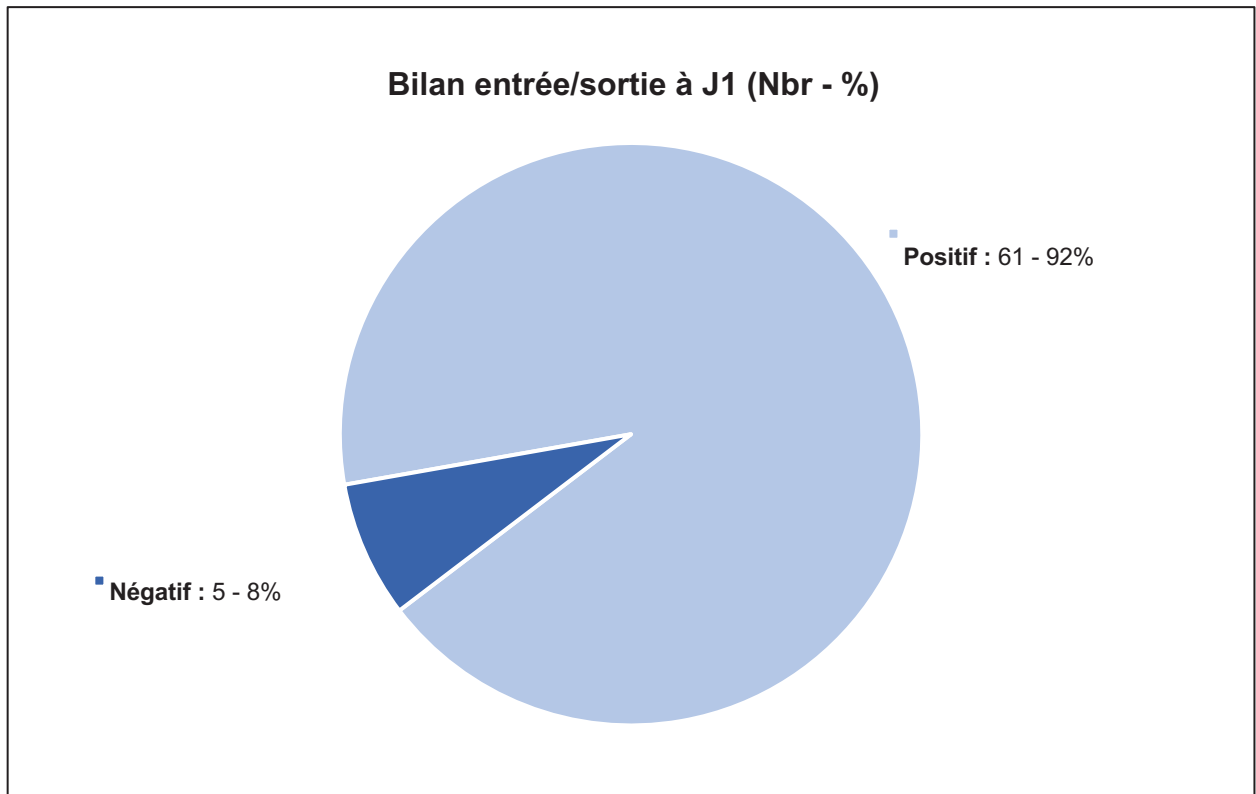
*Valeur et interquartile (Q1 ; Q3)

Annexe 4 : Diagramme en secteur de la médiane des sorties en per-opératoire



*Valeur et interquartile (Q1 ; Q3)

Annexe 5 : Diagramme en secteur de la médiane des sorties en réanimation à J1



Annexe 6 : Diagramme en secteur du bilan entrée/sortie à J1

ABSTRACT

Contexte : L'évaluation de la volémie en péri-opératoire est un enjeu quotidien du médecin anesthésiste-réanimateur. La bio-impédancemétrie est un outil non invasif d'évaluation de l'hydratation, peu étudié en péri-opératoire, que nous souhaitons comparer au gold-standard : le bilan entrée/sortie.

Matériel et méthodes : Nous avons réalisé une étude prospective en réanimation de chirurgie cardiaque au CHU Charles Nicolle. Le critère de jugement principal est la corrélation entre la variation d'eau totale mesurée par bio-impédancemétrie, et le bilan entrée/sortie, au cours des 24 premières heures péri-opératoires. Le critère de jugement secondaire s'intéresse aux autres paramètres clinico-biologiques reflétant la volémie. Une analyse de deux groupes, avec ou sans défaillance d'organe, a ensuite été réalisée.

Résultats : Sur 121 patients éligibles, 100 ont été inclus, puis 34 exclus en raison d'un critère de qualité de mesure non rempli. L'étude du critère de jugement principal, comparant bilan entrée/sortie et variation d'eau totale mesurée par impédancemétrie entre J-1 et J1, retrouve une corrélation non significative ($p=0,057$). Le critère de jugement secondaire retrouve une corrélation significative entre bilan entrée/sortie et variations de poids (Pearson – r : 0,466 et $p=0,0002$), de créatinine (Pearson – r : 0,261 et $p=0,036$) et de protidémie (Pearson – r : -0,560 et $p<0,0001$) à J1. Un temps de clampage et une durée de CEC allongés, un BES positif à J1, un pic de troponine élevé et une créatinine élevée à J1 sont retrouvés dans le groupe présentant une défaillance d'organe.

Conclusion : Le résultat ainsi obtenu conclut à la mauvaise fiabilité des mesures d'impédancemétrie en péri-opératoire d'une chirurgie majeure cardiaque.

Mots-clés : Impédancemétrie, Volémie, Hydratation, Bilan entrée/sortie, Eau intracellulaire, Eau extra-cellulaire, Chirurgie cardiaque