



**HAL**  
open science

# Analyse hydro-hémodynamique des fluides cérébraux par IRM en contraste de phase chez le sujet âgé chuteur

Valentin Feraux

► **To cite this version:**

Valentin Feraux. Analyse hydro-hémodynamique des fluides cérébraux par IRM en contraste de phase chez le sujet âgé chuteur. Gériatrie et gériologie. 2023. dumas-04485930

**HAL Id: dumas-04485930**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04485930>**

Submitted on 26 Mar 2024

**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.



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

**UNIVERSITE DE PICARDIE JULES VERNE AMIENS  
FACULTE DE MEDECINE**

**ANNEE 2023**



**N° 2023-155**

**ANALYSE HYDRO-HEMODYNAMIQUE DES FLUIDES  
CEREBRAUX PAR IRM EN CONTRASTE DE PHASE CHEZ  
LE SUJET AGE CHUTEUR**

**THESE**

**POUR LE DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN MEDECINE  
SPECIALITE : GERIATRIE**

**Présentée et soutenue publiquement le 19/10/2023 par**

**M. Valentin FERAUX**

**JURY :**

**Président du jury : Monsieur le Professeur Frédéric Bloch**

**Membres du jury : Monsieur le Docteur Thomas Renoncourt  
Monsieur le Docteur Cyrille Capel  
Monsieur le Docteur Olivier Balédent**

**Directeur de thèse : Monsieur le Docteur Julien Moyet**



« Je passerai ma vie et j'exercerai mon art dans l'innocence et la pureté ».

Hippocrate



## REMERCIEMENTS

**A Monsieur le Professeur Frédéric BLOCH,  
Professeur des Universités – Praticien Hospitalier  
Chef du service de Gériatrie, Pôle Autonomie (gériatrie).**

Merci d'avoir accepté de présider le jury de ma thèse. Merci pour votre soutien dans ce projet et dans ma carrière. J'espère que ce travail ne vous décevra pas. Soyez assuré de mon profond respect.

**A Monsieur le Docteur Olivier BALEDET,  
Maître de Conférences des Universités – Praticien hospitalier  
Responsable de l'unité de traitement de l'image médicale du CHU d'Amiens  
Responsable de la thématique BioFlow de CHIMERE UR 7516 de l'UPJV.**

Merci de me faire l'honneur d'examiner cette thèse et de faire partie des membres du jury. Je respecte profondément votre travail. J'espère que cette étude sera à la hauteur de vos attentes.

**A Monsieur le Docteur Thomas RENONCOURT,  
Géiatre.**

Merci de m'avoir guidé dans la réalisation de cette thèse. Merci de m'avoir appris la rigueur et le raisonnement clinique dont tu fais part.

**A Monsieur le Docteur Cyrille CAPEL,  
Neurochirurgien.**

Merci d'avoir accepté de participer à mon jury de thèse. Vos connaissances sur le sujet sont un atout pour ce travail.

**A Monsieur le Docteur Julien MOYET,  
Géiatre.**

Merci pour ton enseignement bienveillant et ton accompagnement dans l'élaboration de cette thèse. Merci pour ta confiance quant à la réalisation de tes consultations.

**A Monsieur le Docteur Guillaume DESCHASSE,**

Merci pour votre accompagnement sur cette étude notamment sur la réalisation des statistiques. Soyez assurés de ma profonde reconnaissance.

**A Pietro,**

Merci pour ton soutien et de ton aide précieuse sur ce projet.

**A l'ensemble du service de gériatrie et des services qui m'ont accueilli** pendant ces années d'internat, merci à vous, de votre accueil et de votre bonne humeur.

**A Papa et Maman,**

Si je suis là aujourd'hui c'est grâce à vous, à votre soutien sans faille, à votre éducation et surtout à votre amour.

**A mes frères Edouard et Pierre, ma belle-sœur Selma et mes nièces Cassiopée et Ellie,**

Merci pour votre soutien. Merci de m'avoir apporté le confort chaleureux de la famille m'ayant permis de réussir dans toutes ces épreuves.

**A l'ensemble de ma famille et de ma belle-famille,**

Merci pour tous ces bons moments passés. Je suis tellement fier de vous avoir à mes côtés.

**A mes amis proches,**

Merci à tous ces bons moments, passés, présents et futurs.

Merci d'avoir accepté toutes les contraintes liées à mes études et d'avoir été là dès que nécessaire.

**A toi, Camille,**

Merci pour ta présence et pour tout ce que tu fais pour moi.

Tu es tout simplement la meilleure. Je t'aime...

**Et à toi...futur bébé,**

J'ai hâte de pouvoir de rencontrer d'ici peu !

A mes grands-parents,



# SOMMAIRE

REMERCIEMENTS .....	5
SOMMAIRE.....	9
LISTE DES ABRÉVIATIONS .....	11
LISTE DES SCHEMAS, TABLEAUX ET FIGURES .....	12
INTRODUCTION.....	13
<b>PARTIE 1 : PATIENTS AGES ET CHUTES.....</b>	<b>15</b>
1. <i>Données générales</i> .....	15
a. Le vieillissement .....	15
b. La vascularisation du système cranio-spinal .....	15
c. Le liquide cérébro-spinal.....	18
2. <i>Troubles de la marche et chutes chez le sujet âgé</i> .....	21
a. Etiologie des chutes.....	21
b. Hydrocéphalie chronique de l'adulte .....	23
c. IRM en contraste de phase .....	26
<b>PARTIE 2 : ANALYSE HYDRO-HEMODYNAMIQUE DES FLUIDES CEREBRAUX PAR IRM EN CONTRASTE DE PHASE CHEZ LE SUJET AGE CHUTEUR.....</b>	<b>31</b>
1. <i>Hypothèse de la recherche</i> .....	31
2. <i>Matériel et méthodes</i> .....	31
a. Autorisations .....	31
b. Objectif principal .....	31
c. Objectif secondaire.....	31
d. Critères d'inclusion et de non inclusion .....	31
e. Protocole IRM et analyse des données .....	32
f. Déroulement de la recherche .....	33
3. <i>Statistiques</i> .....	34
4. <i>Résultats</i> .....	34
a. Caractéristiques générales de la population .....	34
b. Paramètres gériatriques de la population.....	36
c. Données sur les chutes et les troubles de la marche de la population .....	36
d. Le critère de jugement principal.....	37
e. Analyse du critère secondaire .....	38
<b>PARTIE 3 : DISCUSSION.....</b>	<b>41</b>
<b>CONCLUSION .....</b>	<b>45</b>
<b>RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....</b>	<b>47</b>
<b>ANNEXES .....</b>	<b>50</b>
ANNEXE 1 : <i>Clinical frailty score (indice de Rockwood)</i> .....	50
ANNEXE 2 : <i>Echelle d'autonomie de KATZ (ADL)</i> .....	51
ANNEXE 3 : <i>Mini mental state examination (MMSE)</i> .....	52

*ANNEXE 4 : Analyse hydro-hémodynamique des fluides cérébraux par IRM-CP chez les sujets âgés chuteurs et chez les sujets volontaires âgés..... 53*

## LISTE DES ABRÉVIATIONS

**HAS** : Haute autorité de santé  
**HCA** : Hydrocéphalie chronique de l'adulte  
**IRM-CP** : Imagerie par résonance magnétique en contraste de phase  
**IRM** : Imagerie par résonance magnétique  
**LCS** : Liquide cébrospinal  
**AQP4** : Aquaporines 4  
**HPN** : Hydrocéphalie à pression normale  
**DESH** : Disproportionately Enlarged Subarachnoid-space Hydrocephalus  
**ECG** : Electrocardiogramme  
**DICOM** : Digital Imaging and Communications in Medicine  
**CPP** : Comité de protection des personnes  
**DCA intracrânien** : Débit cérébral artériel intracrânien  
**DCA extracrânien** : Débit cérébral artériel extracrânien  
**DCV intracrânien** : Débit cérébral veineux intracrânien  
**DCV extracrânien** : Débit cérébral veineux extracrânien  
**VO sang intra** : Volume oscillatoire du sang intracrânien  
**VO sang extra** : Volume oscillatoire du sang extracrânien  
**VO spi** : Volume oscillatoire du LCS au niveau spinal  
**VO aqu** : Volume oscillatoire du LCS au niveau de l'aqueduc  
**HTA** : Hypertension artérielle  
**BPCO** : Bronchopneumopathie chronique obstructive  
**IRC** : Insuffisance rénale chronique  
**AVC** : Accident vasculaire cérébral  
**IMC** : Indice de masse corporelle  
**FA** : Fibrillation auriculaire  
**TNC** : Troubles neurocognitifs  
**ADL** : Activities of Daily Living  
**MMSE** : Mini mental state examination

# LISTE DES SCHEMAS, TABLEAUX ET FIGURES

## **SCHEMAS :**

Schéma 1 : la vascularisation artérielle cérébrale

Schéma 2 : le drainage veineux cérébral en coupe sagittal

Schéma 3 : le système ventriculaire du cerveau en vue coronale et latéral

Schéma 4 : la circulation du LCS en coupe sagittal

Schéma 5 : la voie glymphatique

## **TABLEAUX :**

Tableau 1 : tests d'évaluation de la marche, de l'équilibre et de la force musculaire

Tableau 2 : caractéristiques générales des patients

Tableau 3 : paramètres gériatriques

Tableau 4 : données sur les chutes et les troubles de la marche de la population

Tableau 5 : analyse morphologique cérébrale

Tableau 6 : analyse hydro-hémodynamique des fluides cérébraux

Tableau 7 : analyse morphologique et hydro-hémodynamique des fluides cérébraux dans les groupes HCA radiologique et non-HCA radiologique.

## **FIGURES :**

Figure 1 : démarche diagnostique en cas de chutes

Figure 2 : diagramme récapitulatif de prise en charge des patients suspects d'HPN

Figure 3 : reconstruction des images d'IRM-CP

Figure 4 : flowchart

## INTRODUCTION

Chez le sujet âgé, la chute est très fréquente et fait partie des grands syndromes gériatriques. La chute est un événement plurifactoriel qui requiert une approche globale, elle résulte d'interactions complexes entre l'état de santé d'un individu, son comportement et l'environnement.

Selon la Haute Autorité de Santé (HAS) et sur base des définitions rapportées dans la littérature, la chute est définie comme le fait de se retrouver involontairement sur le sol ou dans une position de niveau inférieur par rapport à sa position de départ [1].

Chaque année en France un tiers des personnes de plus de 65 chutent (cela correspond à 3 millions de sujets âgés), avec une augmentation de la fréquence de ces chutes avec l'avancée en âge puisque 40 à 50% des personnes de plus de 80 ans ont fait une chute dans les 12 mois précédents [2].

Les chutes ont des conséquences importantes car les dernières statistiques de l'HAS mettent en évidence 450 000 passages aux urgences par an pour des chutes chez les plus de 65 ans avec une hospitalisation dans 37% des cas et 44% après 90 ans. Environ 5% ces chutes entraînent des lésions traumatiques graves [3].

Les facteurs précipitants ainsi que les pathologies pouvant entraîner les chutes sont nombreux. Dans cette étude nous nous attarderons principalement sur l'Hydrocéphalie chronique de l'adulte (HCA) [4] anciennement Hydrocéphalie à pression normale. L'HCA est une pathologie sous-diagnostiquée surtout chez le sujet âgé présentant des chutes ou des troubles de la marche. La prévalence de la maladie augmente avec l'âge et en l'absence de diagnostic la mortalité à 5 ans serait de 87,5% [5].

L'une des avancées dans la compréhension de l'HCA est l'Imagerie par résonance magnétique en contraste de phase (IRM-CP), les interactions entre les fluides cérébraux et la nature pulsatile des différents constituants du système cranio-spinal a pu être mise en lumière.

Néanmoins peu d'études, à notre connaissance, se sont intéressées à l'hydrodynamique du liquide cébrospinal (LCS) et à l'hémodynamique des vaisseaux cérébraux chez un individu âgé chuteur.

L'objectif principal de cette étude était l'analyse hydro-hémodynamique des fluides cérébraux par IRM-CP chez le sujet âgé chuteur.



# **PARTIE 1 : PATIENTS AGES ET CHUTES**

## **1. Données générales**

### **a. Le vieillissement**

Le vieillissement est défini comme un ensemble de processus physiologiques modifiant la structure et les fonctions de l'organisme dès l'âge mûr. Il est plurifactoriel, inévitable, lent et progressif.

Le vieillissement en lui-même affecte les performances globales des individus. La perception visuelle décroît dès 50 ans. L'efficacité du système vestibulaire diminue progressivement en lien avec des altérations et une réduction des cellules ciliées et des fibres myélinisées du nerf vestibulaire. La somesthésie devient moins précise du fait de la diminution de la sensibilité des récepteurs périphériques. Les vitesses de conduction nerveuse diminuent, ce qui conduit à un ralentissement du transfert de l'information. Les organes effecteurs deviennent aussi moins efficaces (réduction masse musculaire, réduction de l'élasticité des tissus tendineux et ligamentaire), ces modifications impliquent des réactions moins efficaces face à un déséquilibre. Bien que la marche soit un processus automatisé, elle reste sous la gouvernance du cortex préfrontal et donc des capacités exécutives, ce qui explique la plus grande difficulté à réaliser des doubles tâches [3].

A ce vieillissement physiologique s'ajoutent les pathologies puis les facteurs précipitants à l'origine des complications. Il s'agit du modèle général du 1+2+3 de J.P Bouchon [6].

### **b. La vascularisation du système cranio-spinal**

#### **i. Vascularisation artérielle cérébrale**

Le cerveau adulte représente environ 2% du poids du corps (1.4 kilogrammes) mais reçoit jusqu'à 15% du débit sanguin artériel total afin de répondre au grand besoin en oxygène.

La vascularisation artérielle du cerveau est tributaire de deux systèmes artériels : le système carotidien en avant et le système vertébro-basilaire en arrière. Ces quatre grands axes sont reliés entre eux à la base du cerveau par le polygone de Willis (cercle artériel anastomotique).

Le polygone de Willis est formé :

- En avant par les deux artères cérébrales antérieures et réunies par l'artère communicante antérieure.

Au point de jonction entre l'artère cérébrale antérieure et la carotide interne, la carotide interne donne sa branche terminale latérale appelée artère cérébrale moyenne (artère Sylvienne).

- En arrière par les deux artères cérébrales postérieures.
- Latéralement par les deux artères communicantes postérieures (qui accouplent les artères cérébrales antérieures et postérieures).

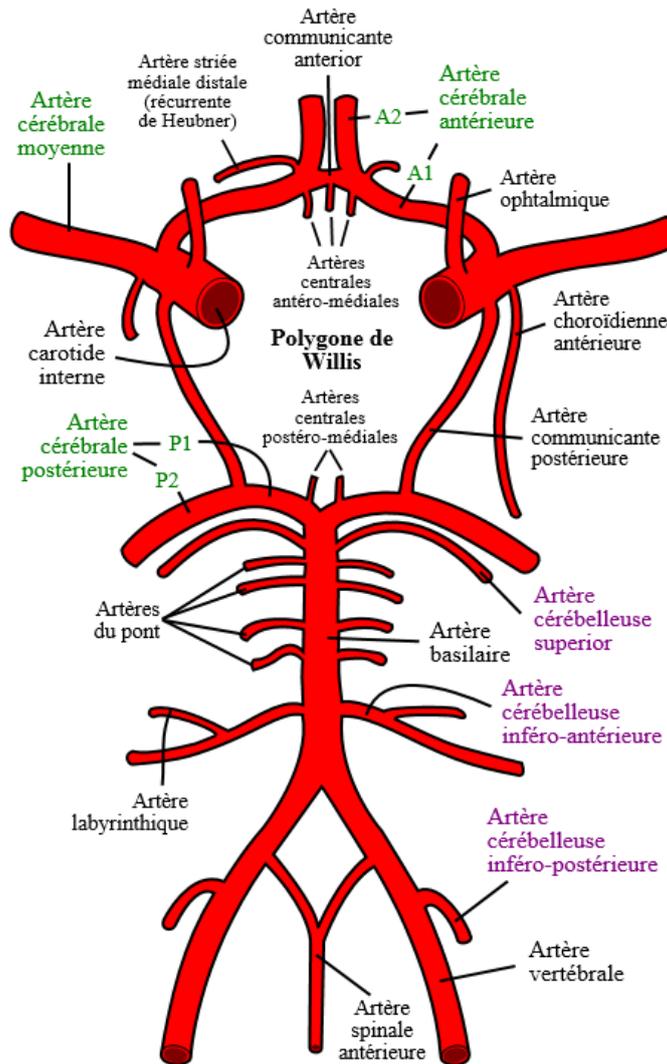


Schéma 1 : la vascularisation artérielle cérébrale

## ii. Drainage veineux cérébral

La circulation veineuse cérébrale n'est pas superposable à la vascularisation artérielle. Le drainage veineux est réalisé par les veines superficielles corticales, les veines profondes, puis les sinus veineux (collecteurs terminaux).

Les systèmes veineux superficiels et profonds sont composés des veines situées dans la dure-mère et des veines cérébrales.

Les veines superficielles se drainent dans le sinus sagittal supérieur et les deux sinus latéraux. Les veines profondes se drainent dans le sinus sagittal inférieur et dans la grande veine cérébrale de Galen dans le sinus droit. Les veines corticales et les veines profondes présentent également des anastomoses qui leur sont propres. Ces deux systèmes se rejoignent au niveau des confluent des sinus.

La circulation veineuse du cerveau converge dans les veines jugulaires internes.

La particularité du système veineux cérébral est l'absence de valvules.

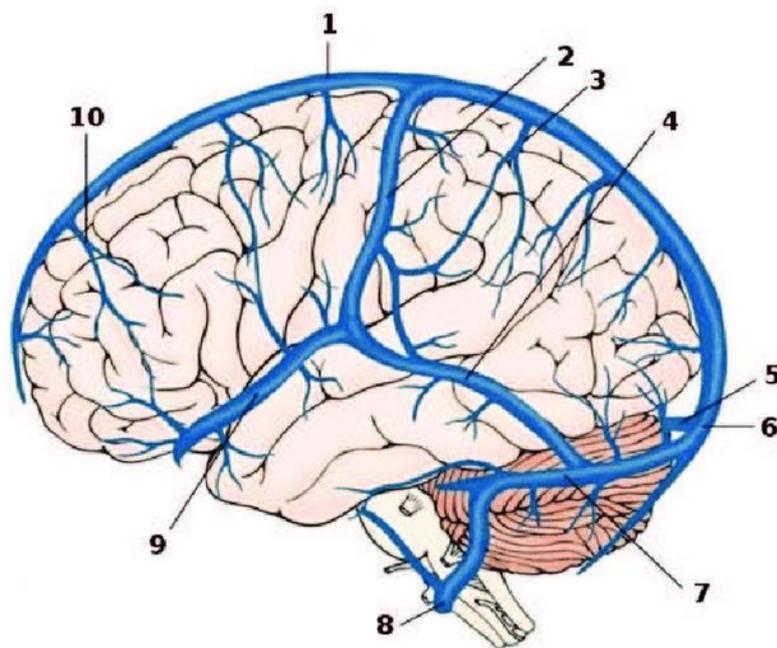


Schéma 2 : le drainage veineux cérébral en coupe sagittale

- (1) sinus sagittal supérieur, (2) veine de Trolard, (3) veine pariétale,
- (4) petite veine de Labbé, (5) sinus droit, (6) confluent des sinus,
- (7) sinus latéral, (8) veine jugulaire interne, (9) veine cérébrale moyenne
- (10) veine frontale.

## c. Le liquide cérébro-spinal

### i. Composition et fonction du liquide cérébro-spinal

Le liquide cérébro-spinal est un liquide clair (eau de roche), composé à 99% d'eau et représente un volume d'environ 150 millilitres dont 25 millilitres dans les ventricules et 125 millilitres dans les espaces subarachnoïdiens.

Le LCS a comme principaux rôles : un rôle protecteur, en protégeant le cerveau et la moelle épinière des chocs en cas de traumatisme, un rôle épurateur et régulateur par l'homéostasie du liquide interstitiel cérébral et l'environnement neuronal avec la régulation de l'équilibre ionique, la circulation des molécules actives et l'élimination des catabolites.

Le vieillissement se traduit principalement par une augmentation relative du secteur liquidien par rapport au parenchyme liée à l'atrophie cérébrale et par une diminution du renouvellement du LCS qui est environ de 3 fois par jour [7].

### ii. Organisation du liquide cérébro-spinal

Le LCS est renfermé dans le système ventriculaire du cerveau et dans les espaces subarachnoïdiens cérébraux et spinaux.

Le système ventriculaire est formé de quatre ventricules : des ventricules latéraux qui communiquent par les foramens de Monro avec le troisième ventricule et du quatrième ventricule qui communique avec le troisième ventricule par l'intermédiaire de l'aqueduc du mésencéphale. Au niveau du quatrième ventricule on distingue trois orifices, un médian (foramen de Magendie) et deux latéraux (foramen de Luschka).

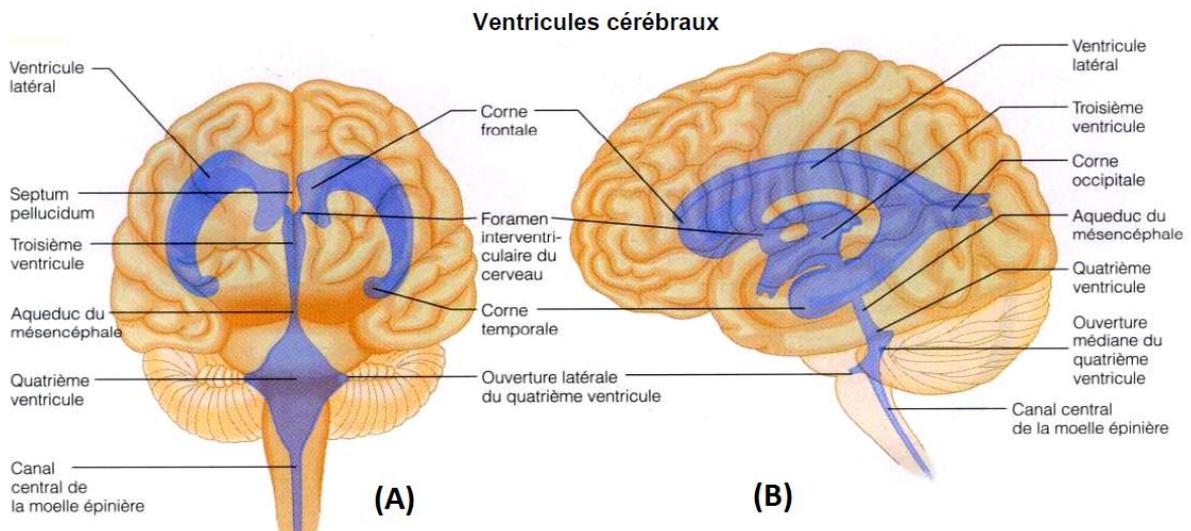


Schéma 3 : le système ventriculaire du cerveau (A) en vue coronale et (B) latérale [8]

### iii. Physiologie du liquide cérébro-spinal

La physiologie du LCS fut longtemps méconnue et reste sujet à de nombreux questionnements.

*La circulation normale du LCS à l'échelle macroscopique.*

La circulation du LCS est un processus dynamique dont le contrôle est à l'origine de l'homéostasie cérébrale. Le mouvement du LCS se fait des sites de sécrétion vers les sites de résorption selon un flux unidirectionnel dans les cavités ventriculaires et un flux pluridirectionnel dans les espaces subarachnoïdiens.

Le LCS est majoritairement produit par les plexus choroïdes au sein des ventricules latéraux, puis circule dans le troisième et quatrième ventricule avant de gagner les espaces subarachnoïdiens.

Les principaux sites de réabsorption du LCS sont les gaines péri-neurales entourant les nerfs crâniens et spinaux (particulièrement du nerf olfactif le long de la lame criblée de l'éthmoïde), les vaisseaux lymphatiques de la dure-mère et les granulations arachnoïdiennes (granulations de Pacchioni) qui sont des évaginations de l'arachnoïde au sein des sinus veineux.

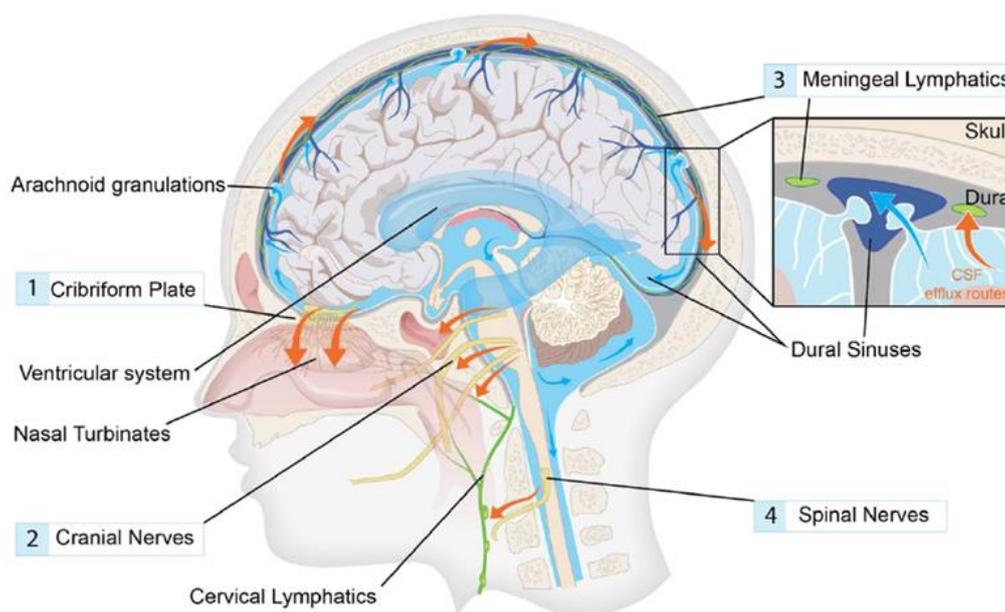


Schéma 4 : la circulation du LCS en coupe sagittale [9]

### *Le système glymphatique.*

Les vaisseaux sanguins cérébraux subarachnoïdiens présentent des zones d'invagination artérielle dans le parenchyme cérébral appelées les espaces de Virchow-Robin. Dans ces espaces, le LCS s'écoule le long des artères pénétrantes et des capillaires. Il en résulte un échange avec le liquide interstitiel. Le liquide interstitiel et les solutés sont éliminés des espaces para-vasculaires via les veines de gros calibres. Le bulk flow entre la voie para vasculaire de l'influx du LCS et l'efflux du liquide interstitiel est facilité par les transporteurs d'eau à travers les canaux à aquaporines 4 (AQP4) exprimés au niveau des pieds des astrocytes [10]. Ce bulk flow facilite la clairance des solutés du liquide interstitiel du cerveau.

Ce système a été renommé « la voie glymphatique », devant les similitudes avec le système lymphatique extra-cérébral et du rôle important des AQP4 des cellules gliales.

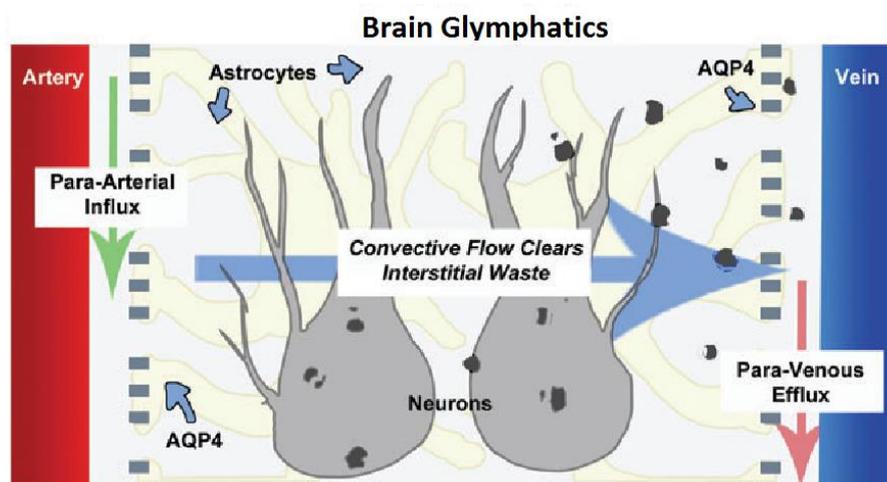


Schéma 5 : la voie glymphatique [11]

### *Circulation pulsatile du LCS*

Les écoulements des fluides cérébraux ne sont pas constants dans le temps. Les vitesses sont influencées par le rythme cardiaque et par la respiration. La circulation des sites de sécrétion vers les sites de résorption dépend largement de l'ondée systolique et la respiration, quant à elle, induit des modulations rythmiques des pulsations du LCS entraînant une chasse du LCS en inspiration.

## **2. Troubles de la marche et chutes chez le sujet âgé**

### **a. Etiologie des chutes**

#### **i. Facteurs de risques de chute**

L'étiologie des chutes est majoritairement plurifactorielle. On distingue couramment deux catégories de facteurs de risque intervenant dans ce processus : les facteurs extrinsèques (environnementaux et comportementaux) et les facteurs intrinsèques (résultat du vieillissement physiologique ou pathologique).

Parmi les facteurs de risque de chutes intrinsèques, on retrouve principalement la faiblesse musculaire, les antécédents de chute, les troubles de la marche ou de l'équilibre, le recours à une aide technique, les troubles de la vision, l'arthrose, la dépendance, les troubles neurocognitifs, la dépression et un âge supérieur à 80 ans.

Sans oublier la polymédication et la iatrogénie (les psychotropes, les antidépresseurs, les hypnotiques, les benzodiazépines, les neuroleptiques, la digoxine, les antiarythmiques, les diurétiques et les inhibiteurs de l'enzyme de conversion).

#### **ii. Démarche diagnostic**

La démarche diagnostic devant une chute doit être complète et rigoureuse pour permettre de recueillir les circonstances, les symptômes, les pathologies concomitantes et les facteurs précipitants afin d'orienter les examens complémentaires.

L'examen clinique est complété par la recherche d'une hypotension orthostatique, d'un électrocardiogramme pour la recherche d'une arythmie ou de trouble de la conduction cardiaque, d'un examen de la vision et d'une révision de l'ordonnance.

La démarche peut être complétée par un bilan biologique ou une imagerie selon le contexte et l'examen clinique.

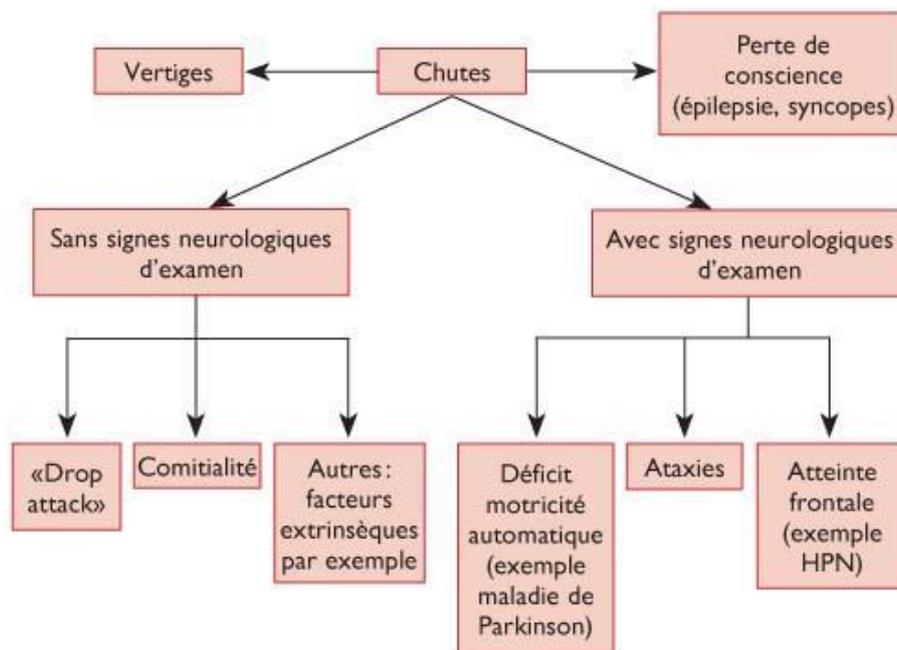


Figure 1 : démarche diagnostique en cas de chute [2]

Concernant les principaux types de troubles de la marche rencontrés chez le patient âgé chuteur, on retrouve la marche :

- Antalgique (boiterie d'esquive)
- Parétique/hypotonique (steppage)
- Spastique
- Vestibulaire
- Ataxie sensitive et cérébelleuse
- Extra-pyramidale
- Précautionneuse/syndrome postchute
- Centrale

Pour compléter cette démarche diagnostique, il existe des tests de dépistages validés permettant d'apprécier la marche, l'équilibre, la force musculaire et d'estimer également le risque de chute, tels que le Timed Up and Go test, le test de Tinetti et le test de lever de chaise.

<b>Test de Tinetti simplifié</b>	Cotation à deux niveaux (0: non; 1: oui) de 7 items <ul style="list-style-type: none"> <li>• Evaluation de l'équilibre:               <ul style="list-style-type: none"> <li>– Instabilité lors du passage debout-assis</li> <li>– Incapacité à se tenir sur un pied sans aide</li> <li>– Instabilité lors d'un tour complet de 360°</li> <li>– Instabilité lors d'une légère poussée déséquilibrante sur le sternum</li> </ul> </li> <li>• Evaluation de la marche:               <ul style="list-style-type: none"> <li>– Augmentation du balancement du tronc</li> <li>– Incapacité à augmenter la vitesse de marche</li> <li>– Anomalie de la trajectoire (augmentation des écarts)</li> </ul> </li> </ul>	Score total $\leq 2^*$
<b>Timed Up and Go test</b>	Le patient doit se lever d'une chaise, marcher trois mètres jusqu'à un repère, se retourner de 180°, puis revenir vers la chaise pour y reprendre place. L'utilisation d'un moyen auxiliaire est autorisée	Temps $\leq 20$ sec
<b>Test du lever de chaise à cinq reprises</b>	Le patient doit se lever et s'asseoir d'une chaise, à cinq reprises, sans l'aide des bras et le plus rapidement possible	Temps $\leq 15$ sec ou incapacité
*Risque relatif de chute de 1,4 pour un score allant de 3 à 5; il est de 1,9 pour un score allant de 6 à 7.		

Tableau 1 : tests d'évaluation de la marche, de l'équilibre et de la force musculaire [2]

## b. Hydrocéphalie chronique de l'adulte

### i. Diagnostic de l'HCA

L'hydrocéphalie chronique de l'adulte a été décrite pour la première fois en 1965 par Adams et Hakim. La triade clinique repose sur l'association de troubles neurocognitifs, de la marche et sphinctériens.

Le diagnostic est difficile devant une triade peu spécifique, ce qui explique un fort sous-diagnostic.

Le début de la pathologie est insidieux et l'évolution est progressive. L'âge de début de la maladie se situe entre 60 et 80 ans avec une prévalence de 5,9% chez les patients de 80 ans et plus [12].

L'HCA est une entité clinique dont la physiopathologie reste encore débattue et dont le sujet a entraîné de nombreuses études ces dernières années [13].

Les premiers symptômes de la maladie sont les troubles de la marche. La triade de Adams et Hakim représenterait déjà un stade évolué de la pathologie.

Les troubles de la marche se caractérisent par une diminution de l'amplitude du pas, une diminution de la vitesse de marche avec un aspect de marche « magnétique » et une tendance à la rétropulsion.

Les troubles sphinctériens sont fréquents (présents chez plus de 75% des patients) et essentiellement de type mictionnel. Ils commencent habituellement par une pollakiurie nocturne puis évoluent vers les urgences mictionnelles et l'incontinence urinaire [14].

Les troubles neurocognitifs sont décrits quant à eux par un profil sous-corticofrontal aspécifique avec au premier plan un ralentissement psycho-moteur, un syndrome dysexécutif, des troubles attentionnels et des troubles mnésiques.

Le diagnostic de la maladie est difficile chez les personnes âgées car bien souvent ces sujets présentent des troubles neurocognitifs, des troubles de la marche en dehors de toute HCA et les comorbidités associées peuvent être nombreuses. La présence d'autres pathologies n'exclut pas la possibilité de coexistence d'une HCA [15].

Les principaux diagnostics différentiels sont la Maladie d'Alzheimer, les démences vasculaires, les syndromes parkinsoniens atypiques et la Maladie de Parkinson.

## **ii. Examens complémentaires**

Les examens complémentaires reposent sur l'imagerie cérébrale et sur la déplétion de LCS par ponction lombaire soustractive [16]. Néanmoins aucun examen complémentaire ne permet actuellement de poser le diagnostic d'HCA de manière certaine. Les examens radiologiques permettent de mettre en évidence la dilatation ventriculaire, mais son appréciation reste subjective [17].

Devant l'apparition des symptômes, l'imagerie cérébrale par scanner ou IRM doit mettre en évidence :

- Une dilatation ventriculaire non entièrement attribuable à une atrophie cérébrale, utilisation de l'indice d'Evans, positif si supérieur à 0,3 (cet index correspond à la largeur maximale des cornes frontales ventriculaires divisée par la largeur maximale du crane à sa face interne).
- Aucune obstruction macroscopique à l'écoulement du LCS
- Au moins une des caractéristiques suivantes pour affirmer l'hypothèse :
  - La dilatation des cornes temporales des ventricules latéraux n'est pas en totalité imputable à une atrophie des hippocampes.
  - Un angle de 40° du corps calleux ou plus.

-La preuve d'une modification du contenu en eau du parenchyme cérébral, y compris les modifications de signal périventriculaire en scanner ou en IRM qui ne sont pas attribuables à des changements microvasculaires ischémiques ou à une démyélinisation.

- Un manque de flux de LCS dans l'aqueduc ou le quatrième ventricule en IRM.

L'analyse morphologique par IRM cérébrale a permis une avancée importante dans la prise en charge non-invasive avec l'établissement d'un score diagnostique et pronostic des HCA appelé le DESH score (Disproportionately Enlarged Subarachnoid-space Hydrocephalus). Ce score analyse le degré de dilatation ventriculaire selon l'index d'Evans, l'angle du corps calleux et la répartition du LCS au niveau des espaces sous-arachnoïdiens. Un score supérieur ou égal à six sur dix permettrait de prédire une amélioration après dérivation avec 66% de chances.

L'IRM par contraste de phase est le seul examen non-invasif permettant l'analyse des variations de volume des différents compartiments liquidiens intracrâniens au cours d'un cycle cardiaque. Cette étude par IRM-CP sera détaillée ultérieurement pages 26 à 29.

### **iii. Traitement de l'HCA**

Le traitement de l'HCA repose principalement sur un procédé chirurgical qui est la dérivation (ou shunt) permettant de drainer l'excès de LCS. Les trois types de dérivations du LCS sont : le shunt ventriculo-péritonéal, le shunt ventriculoatrial et le shunt lombopéritonéal.

Il existe une autre technique plus récente, la ventriculostomie endoscopique du troisième ventricule dont la supériorité par rapport au shunt n'a pour l'instant pas été démontrée [18].

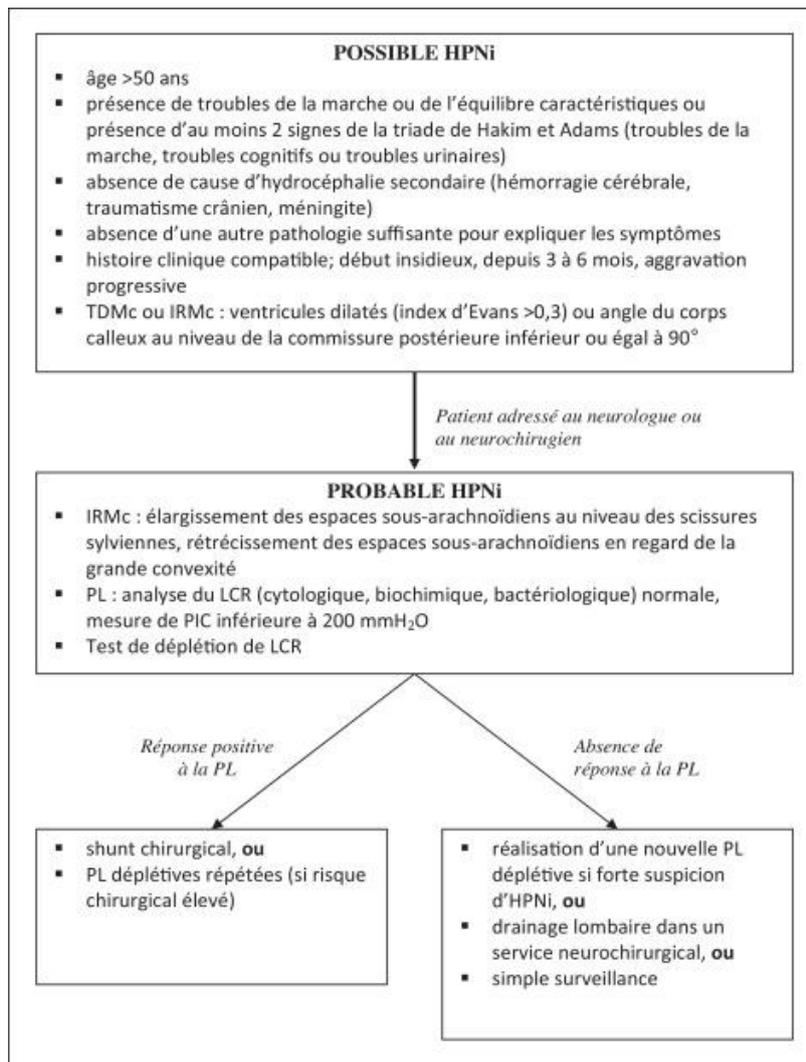


Figure 2 : diagramme récapitulatif de prise en charge des patients suspects d'HPN [12]

### c. IRM en contraste de phase

#### i. Principe d'IRM en contraste de phase

L'Imagerie par Résonance Magnétique cérébrale en contraste de phase (IRM-CP) est une technique non-invasive utilisant le champ magnétique et permettant l'analyse des flux vasculaires et des flux du LCS au cours d'un cycle cardiaque [19,20].

Le signal IRM est caractérisé par son amplitude ou par sa phase, ainsi une imagerie de phase peut être reconstruite par les informations acquises en IRM, au même titre qu'une imagerie d'amplitude reflétant l'anatomie.

L'IRM-CP utilise la technique d'écho de gradient qui dépend de la vitesse des spins et des inhomogénéités du champ magnétique mais qui est très sensible aux artefacts.

Pour supprimer les effets des inhomogénéités du champ magnétique, on applique deux gradients de même amplitude, de même durée mais de polarités différentes.

## **ii. Synchronisation cardiaque**

Les écoulements de sang et de LCS ne sont pas constants dans le temps. Les vitesses sont influencées par le rythme cardiaque et par la respiration. Ainsi la synchronisation cardiaque permet d'acquérir plusieurs images au cours du cycle cardiaque.

Deux méthodes permettent de réaliser la synchronisation :

- La première méthode par l'utilisation d'un capteur d'électrocardiogramme (ECG), de façon prospective (acquisition des images déclenchée après la détection de l'onde R de l'ECG) ou de façon rétrospective.

- La deuxième méthode par l'utilisation d'un capteur périphérique au doigt pour capter le pouls.

Le nombre d'images obtenu pendant le cycle cardiaque représente un moyennage de l'ensemble des images qui ont été acquises pendant toute la durée de l'acquisition.

Ce nombre d'images dépend du temps d'écho, du temps de répétition et de l'angle de bascule.

## **iii. Reconstruction des images et traitement des données de flux**

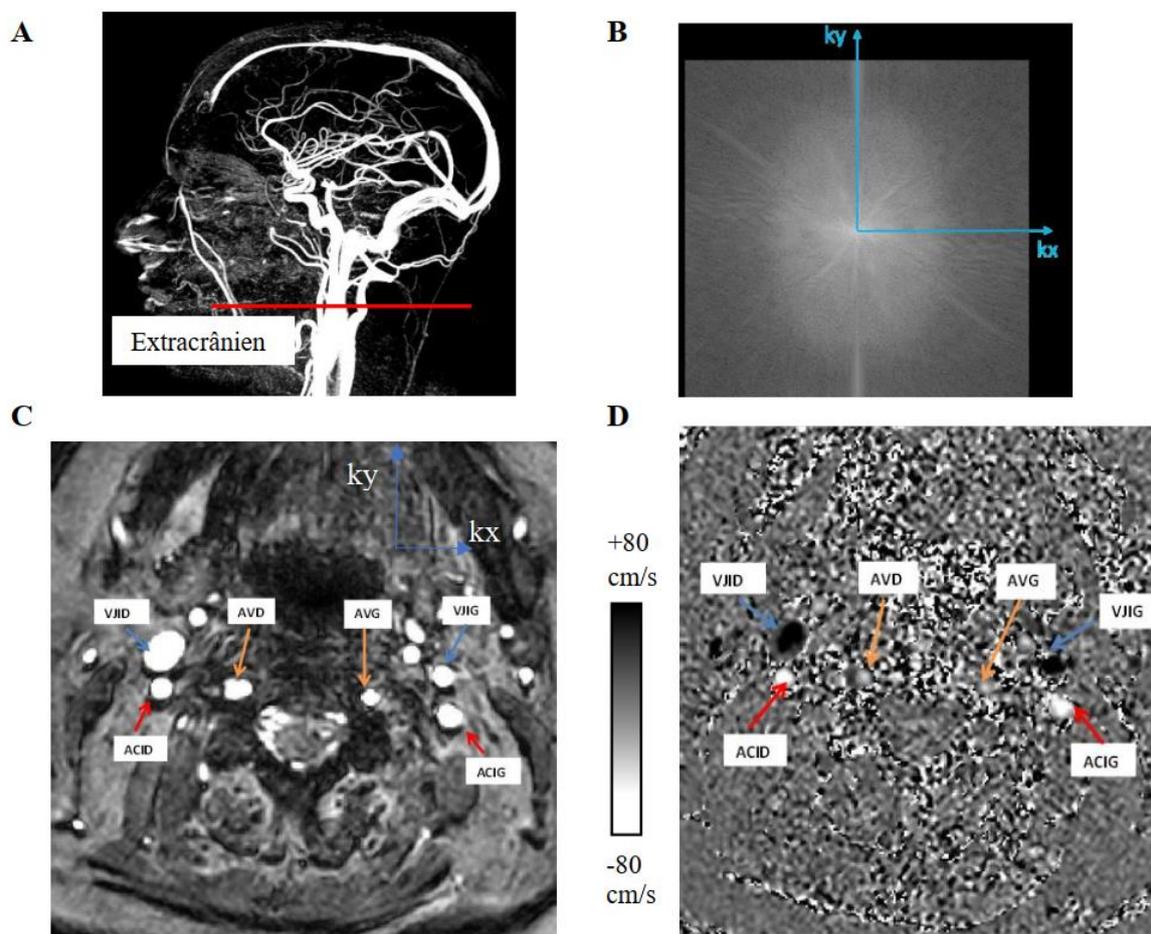
Lors d'une IRM en contraste de phase, après la sélection du plan de coupe et après synchronisation, la série d'images obtenues au cours du cycle cardiaque est enregistrée dans l'espace fréquentiel. La transformée de Fourier permet d'obtenir la cartographie de la distribution des vitesses à différentes localisations.

Afin d'obtenir une image dans le domaine temporel et ainsi la rendre compréhensible par l'œil humain, il faut appliquer la transformée de Fourier inverse.

La transformée de Fourier apporte deux types d'informations, une information sur la phase et une information sur l'amplitude.

L'imagerie d'amplitude permet une étude morphologique grâce à une imagerie pondérée en T2 et l'imagerie de phase permet quant à elle de quantifier les vitesses.

Les pixels apparaissent en surintensité si l'écoulement est dans le même sens que la vitesse d'encodage. A l'inverse, l'intensité diminue en fonction de la vitesse de l'écoulement.



**Figure 3 :** reconstruction des images en IRM-CP.

(A) plan de coupe positionné en extracranien avec une vitesse d'encodage de 80 centimètres par seconde (cm/s).

(B) Image dans le domaine fréquentiel, après transformée de Fourier inverse, on passe dans le domaine temporel et on obtient les images C et D.

(C) Image IRM d'amplitude (image morphologique) associée à l'image d'IRM de phase (image de flux).

(D) Image de phase, le sens caudo-cranial est codé en blanc et le sens cranio-caudal est codé en noir. ACID et ACIG représentent les artères carotides internes droite et gauche. AVD et AVG représentent les artères vertébrales droite et gauche. VJID et VJIG représentent les veines jugulaires internes droite et gauche [21].

L'analyse quantitative des images est réalisée par un logiciel dédié aux traitements des données de flux. Le laboratoire d'imagerie du CHU d'Amiens utilise le logiciel Flow développé dans le laboratoire par O.Balédent, M-C.Henry-Feugeas, et I.Idy-Peretti [22].

Le logiciel Flow lit les fichiers au format Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM).

Les étapes après le chargement du fichier DICOM sont les suivantes :

**-Choix de la série à traiter.**

**-Définition de la région d'intérêt** (correspond au vaisseau à segmenter ou au LCS à analyser).

**-Filtrage** (permet de supprimer le bruit de l'image).

**-Création d'une nouvelle image paramétrique** (application de la transformée de Fourier rapide, permettant d'obtenir pour chacun des pixels de l'image un spectre d'amplitude. Si la composante fréquentielle du pixel est inférieure à la fréquence cardiaque, le pixel est éliminé. Ainsi on obtient une nouvelle image binaire).

**-Seuillage** (consiste à appliquer la transformée de Fourier rapide aux vitesses de chaque pixel des différentes images successives couvrant le cycle cardiaque. Ce seuil est utilisé pour extraire les pixels avec une courbe de vitesse synchronisée avec le cycle cardiaque et dont l'amplitude de vitesse est supérieure au seuil sélectionné).

**-Correction du bruit** (corrige les erreurs provoquées par les courants de Foucault qui se traduisent par un décalage positif ou négatif sur la valeur de la vitesse mesurée).

**-Correction de l'aliasing** (Erreur dans les mesures de vitesses que l'on observe par une brusque décroissance sur les courbes aux instants où elles devraient être au maximum. Cela est visible quand la vitesse encodée est inférieure à la vitesse réelle du fluide. Le logiciel est capable de corriger l'aliasing).

**-Extraction des données de vitesse et courbe de débit** (une fois la segmentation effectuée, les courbes de vitesse minimale, moyenne et maximale pendant le cycle cardiaque à travers la région segmentée sont reconstruites).



## **PARTIE 2 : ANALYSE HYDRO-HEMODYNAMIQUE DES FLUIDES CEREBRAUX PAR IRM EN CONTRASTE DE PHASE CHEZ LE SUJET AGE CHUTEUR**

### **1. Hypothèse de la recherche**

Face à l'absence d'examen permettant de poser avec certitude le diagnostic d'HCA et à la clinique peu spécifique chez le sujet âgé gériatrique, nous avons cherché à mettre en évidence les modifications hydro-hémodynamiques des fluides cérébraux par IRM-CP chez les patients de plus de 75 ans chuteurs au sein de notre établissement.

Cela permettra de mieux comprendre les flux cérébraux, de mettre en avant les similitudes des flux chez les sujets âgés chuteurs et de pouvoir permettre le diagnostic d'HCA par une technique non invasive.

### **2. Matériel et méthodes**

#### **a. Autorisations**

Le protocole HYDROFALL a été approuvé le 13 Juin 2016 par le Comité de protection des personnes (CPP) sous le numéro 22.02023.000104.

HYDROFALL est une cohorte suivie au CHU Amiens Picardie pour suspicion d'HCA.

#### **b. Objectif principal**

L'objectif de cette étude est l'analyse hydro-hémodynamique des fluides cérébraux par IRM-CP chez le sujet âgé chuteur.

#### **c. Objectif secondaire**

Comparaison des paramètres de flux cérébraux entre le groupe HCA radiologique et le groupe non-HCA radiologique.

#### **d. Critères d'inclusion et de non inclusion**

Tous les patients de plus de 75 ans présentant des troubles de la marche ou des chutes ayant bénéficié d'une IRM-CP sur la période du 14 avril 2021 au 4 avril 2023 à partir de la cohorte d'HYDROFALL ont été inclus. Les critères de non inclusion sont l'absence d'interprétation de l'IRM-CP et une analyse incomplète de l'IRM en lien avec l'absence de plan de coupe.

## **e. Protocole IRM et analyse des données**

### **i. Protocole IRM**

Les patients issus de la cohorte HYDROFALL ont bénéficié d'un examen par IRM craniospinale en deux temps.

Un premier temps permettant une analyse morphologique puis dans un second temps des séquences complémentaires en contraste de phase permettant l'étude des flux des neurofluides cérébraux (artério-veineux et LCS).

L'équipement utilisé est une IRM à 3T (Signa HDx General Electric) avec antenne tête à 16 éléments.

Le protocole IRM comportait en premier lieu les séquences 3D T1, 3D FLAIR et 3D IRM en écho de gradient avec état d'équilibre et renforcement du contraste (balanced FFE ou balanced SSFP) en coupe sagittale permettant une analyse morphologique identique à la réalisation d'une IRM cérébrale conventionnelle. Cette analyse permettait de définir le score Fazekas, l'échelle de Scheltens, l'angle du corps calleux, l'index d'Evans et le DESH score [23].

Le protocole était complété par les images de flux, acquises grâce à la technique d'IRM 2D en contraste de phase avec synchronisation rétrospective par un oxymètre de pouls. L'analyse se déroulait perpendiculairement à la direction présumée du flux dans les vaisseaux ou à la direction des écoulements du LCS.

Les plans de coupe pour l'analyse des flux de LCS étaient réalisés entre la 2<sup>ème</sup> et la 3<sup>ème</sup> vertèbre cervicale (C2-C3) et au niveau de l'aqueduc.

Les plans de coupe pour l'étude du flux des vaisseaux sanguins étaient quant à eux réalisés en extracrânien entre C2-C3 pour le flux des artères carotides internes, des artères vertébrales et des veines jugulaires internes, puis en intracrânien pour l'évaluation des artères carotides internes, de l'artère basilaire et des sinus sagittal et droit.

Concernant les paramètres de la séquence des images de flux, l'angle de bascule était compris entre 20° et 45°, l'épaisseur de coupe était de 5 mm, le nombre d'images reconstruites pour un cycle cardiaque était de 32 et la vitesse d'encodage était de 10 cm/s au niveau de l'aqueduc, de 5 cm/s pour le LCS cervical et 80 cm/s pour les vaisseaux sanguins.

### **ii. Analyse des données**

L'analyse des données a été réalisée avec le logiciel Flow par une personne formée au traitement des informations de flux, comme décrit précédemment (pages 28-29).

Plusieurs paramètres sont alors extraits :

*-Calcul du débit cérébral artériel* : le débit cérébral artériel extracrânien (DCA extracrânien) correspond à l'addition des flux dans les artères carotides internes et des artères vertébrales. Le

débit cérébral artériel intracrânien (DCA intracrânien) correspond quant à lui au flux des artères carotides internes et de l'artère basilaire.

*-Calcul du débit cérébral veineux* : le débit cérébral veineux extracrânien (DCV extracrânien) est l'addition du débit des veines jugulaires internes droite et gauche. Le débit cérébral veineux intracrânien (DCV intracrânien) correspond à l'addition du débit des sinus sagittal et droit.

Les facteurs de correction veineux intracrânien et extracrânien permettent de mesurer le drainage par les veines périphériques, non pris en compte dans le calcul du débit cérébral veineux (le facteur de correction veineux est le ratio entre le débit cérébral artériel et débit cérébral veineux au niveau intra et extracrânien). Ainsi le débit cérébral artériel est équivalent au débit cérébral veineux.

*-Mesure du volume oscillatoire du sang* : le volume oscillatoire ou stroke volume du sang intracrânien (VO sang intra) correspond à l'amplitude de volume du débit artério-veineux intracrânien et est obtenu par l'intégrale de la courbe du débit artério-veineux intracrânien.

Le volume oscillatoire du sang extracrânien (VO sang extra) est obtenu quant à lui par le biais de l'intégrale de la courbe du débit artério-veineux extracrânien. Le débit artério-veineux résulte de la différence entre le débit cérébral artériel et le débit cérébral veineux corrigé à chaque instant du cycle cardiaque au niveau extracrânien et intracrânien.

*-Calcul du volume oscillatoire du LCS* : le volume oscillatoire du LCS est calculé par l'intermédiaire de l'intégrale de la courbe du débit de LCS spinal (VO spi) et du débit de LCS au niveau de l'aqueduc (VO aqu). Le volume oscillatoire du LCS représente le volume oscillatoire moyen dans le sens cranio-caudal et caudo-cranial au cours d'un cycle cardiaque.

*-Mesure de l'index de pulsatilité* : l'index de pulsatilité est calculé pour le sang artériel, pour le sang veineux, pour le secteur intracrânien et pour le secteur extracrânien. Il représente le ratio entre l'amplitude maximum/minimum du flux et sa moyenne.

### **iii. Analyse secondaire**

Analyser et comparer les flux cérébraux par IRM-CP au sein de notre cohorte entre le groupe HCA radiologique, correspondant aux patients ayant un faisceau d'arguments à l'imagerie en faveur d'une hydrocéphalie chronique de l'adulte selon le radiologue et le groupe non-HCA radiologique.

### **f. Déroulement de la recherche**

C'était une étude descriptive (transversale), mono-centrique, basée sur le protocole de recherche HYDROFALL dont le recrutement a été prospectif.

Le recueil de données de cette étude a été quant à lui réalisé de façon rétrospectif du 17 avril au 21 avril 2023 à partir de la cohorte HYDROFALL et de la base de données de DXCARE du CHU d'AMIENS, retenant 22 patients. Non inclusion pour absence d'interprétation de l'IRM (n=1) et non inclusion pour analyse incomplète de l'IRM (n=6) soit un échantillon final de 15 patients à analyser (figure 4).

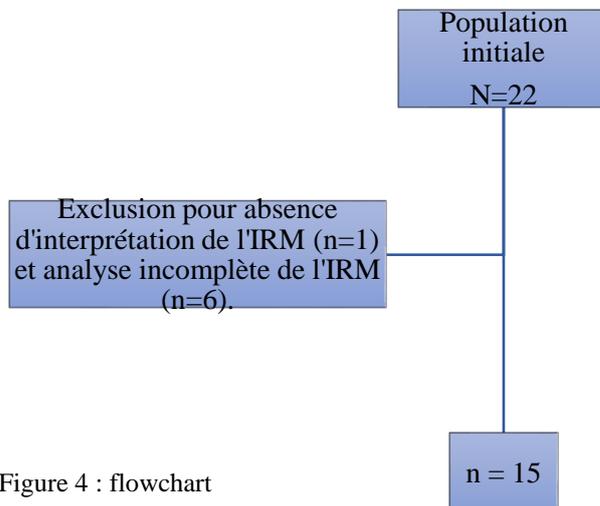


Figure 4 : flowchart

### 3. Statistiques

Les variables catégorielles ont été présentées en termes de fréquence et de pourcentage. Les variables continues ont été présentées en termes de moyenne et d'écart-type.

Les caractéristiques des patients ont été décrites pour la cohorte entière puis par groupe (HCA radiologique et non-HCA radiologique), et comparées à l'aide du test chi<sup>2</sup> de Pearson, du test de Student ou du test de Mann-Whitney-Wilcoxon selon les cas.

Tous les tests étaient bilatéraux, avec un niveau de signification de 5%.

Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel R (R Core Team 2021). R: A language and environment for statistical computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

### 4. Résultats

#### a. Caractéristiques générales de la population

La médiane d'âge était de 83,3 ans allant de 76 à 90 ans. L'échantillon était homogène avec 8 femmes et 7 hommes.

La principale comorbidité était l’hypertension artérielle (HTA) chez 86,7% des patients, suivi par les antécédents pulmonaires à 33,3% (bronchopneumopathie chronique obstructive (BPCO), syndrome d’apnées obstructives du sommeil et embolie pulmonaire).

On retrouvait l’insuffisance rénale chronique (IRC) et la coronaropathie à 26,7%, le diabète à 20% puis les AVC et l’insuffisance cardiaque à 13,3%.

Les principaux traitements pouvant avoir une part de iatrogénie sur les chutes étaient les anti-HTA chez 86,7% de la population et les anxiolytiques présents à 20%.

A noter que 66,7% des patients avaient un antiagrégant dans leur ordonnance.

Tableau 2 : Caractéristiques générales des patients

Caractéristiques	Total
Patients	15 (100%)
Age	83.3 ±4.17
Sexe	
Femme	8 (53.3%)
Homme	7 (46.7%)
Poids	72.5 ±14.9
IMC	26.6 ±4.30
Comorbidités	
HTA	13 (86.7%)
Diabète	3 (20%)
AVC	2 (13.3%)
Coronarien	4 (26.7%)
Cancer actif	1 (6.67%)
Antécédent pulmonaire	5 (33.3%)
Insuffisance rénale chronique <sup>1</sup>	4 (26.7%)
Insuffisance cardiaque	2 (13.3%)
FA	0
Ethylisme chronique	1 (6.67%)
Maladie de Parkinson	1 (6.67%)
TNC majeurs	1 (6.67%)
Traitements	
Anti HTA	13 (86.7%)
Anticoagulant	1 (6.67%)
Antiagrégant	10 (66.7%)
Hypnotique	2 (13.3%)
Anxiolytique	3 (20%)
Neuroleptique	1 (6.67%)

Abréviations : IMC, indice de masse corporelle ; HTA, hypertension artérielle ; AVC, accident vasculaire cérébral ; FA, fibrillation auriculaire ; TNC majeurs, troubles neurocognitifs majeurs.

1, Estimation faite par la formule « Modification of Diet in Renal Disease » (MDRD) en ml/min/1.73 m<sup>2</sup>.

## b. Paramètres gériatriques de la population

L'analyse des dossiers a permis de recueillir 7 paramètres gériatriques : l'échelle de fragilité clinique avec le score de Rockwood (Annexe 1), l'index de comorbidité avec le score de Charlson, le dosage de l'albuminémie, les activités de la vie quotidienne estimées par l'échelle Activities of Daily Living (ADL, Annexe 2), un évaluation cognitive avec le mini mental state examination (MMSE, Annexe 3), le nombre de médicaments et l'incontinence urinaire.

Notre échantillon était représentatif d'une population gériatrique avec un score de Charlson moyen de 5,73 (allant de 3 à 9).

Nos patients étaient principalement vulnérables sans être dépendants avec un Rockwood moyen à 4,80 (allant de 3 à 6) et le niveau des ADL était à 5,47 avec un intervalle de 4 à 6.

Concernant la partie neurocognitive, le MMSE moyen était de 23,8 (s'étendant de 16 à 29).

Les ordonnances avaient une médiane de 7,6 médicaments, l'albumine moyenne était de 36,3 g/L et l'incontinence urinaire était présente chez 4 individus.

Tableau 3 : Paramètres gériatriques

Caractéristiques	Total
Rockwood <sup>1</sup>	4.80 ±0.77
Charlson <sup>2</sup>	5.73 ±1.75
Albuminémie	36.3 ±6.41
ADL	5.47 ±0.58
MMSE	23.8 ±4.63
Nombre de médicaments	7.60 ±2.75
Incontinence urinaire	4 (26.7%)

Abbréviations : ADL, Activity of Daily Living (échelle de Katz) ; MMSE, mini mental state examination (GRECO).

1, Échelle de fragilité clinique.

2, Index de comorbidité.

## c. Données sur les chutes et les troubles de la marche de la population

La présence de chutes répétées était notifiée pour 33,3% des patients de notre échantillon (selon l'HAS, les chutes à répétitions sont caractérisées par au moins 2 chutes dans l'année).

Une hospitalisation dans les suites d'une chute était retrouvée chez 46,7% des individus avec une station au sol prolongée (> 1 heure) mise en évidence chez 20% de la population.

Le test d'hypotension orthostatique a été positif dans 26,7% des cas.

Concernant les aides techniques, 53,3% de la population utilisait une canne et 6,67% un déambulateur. Les 40% restant ne possédait pas d'aide technique.

Les principaux troubles de la marche mis en avant étaient un élargissement du polygone de sustentation, une diminution de la longueur et de la hauteur du pas.

Tableau 4 : Données sur les chutes et les troubles de la marche de la population

Caractéristiques	Total
Chutes à répétitions	5 (33.3%)
Station au sol prolongée	3 (20%)
Hospitalisation suite à une chute	7 (46.7%)
Hypotension orthostatique	4 (26.7%)
Aide technique	
Canne	8 (53.3%)
Déambulateur	1 (6.67%)
Pas d'aide technique	6 (40%)

#### d. Le critère de jugement principal

L'analyse morphologique cérébrale par l'IRM-CP (tableau 5) mettait en avant un Index de Evans médian positif à 0.52 (allant de 0.20 à 3.11) et un angle moyen du corps calleux élevé à 106° (compris entre 66.7 et 142.6).

Notre cohorte avait un score de DESH moyen à 4.40 s'étendant de 1 à 8.

Tableau 5 : Analyse morphologique cérébrale

Caractéristiques	Total
FAZEKAS <sup>1</sup>	1.80 ±0.77 (0-3)
Échelle de Scheltens	2.53 ±0.99 (0-4)
Index Evans	0.52 ±0.72 (0.20-3.11)
Angle du corps calleux	106 ±22.3 (66.7-142.6)
Score de DESH	4.40 ±1.99 (1-8)

Abréviations : DESH score, Disproportionately Enlarged Subarachnoid-space Hydrocephalus ; 1, Classification des lésions de la substance blanche en fonction de leur degré de sévérité.

L'analyse hydro-hémodynamique des fluides cérébraux aux niveaux extracrâniens et intracrâniens sont résumés dans le tableau 6.

Le débit cérébral artériel (DCA) était plus important au niveau intracrâniens avec un débit à 424 ml/min ±173 contre un débit extracrâniens à 338 ml/min ±289.

Le débit cérébral veineux (DCV) était similaire entre le niveau extracrâniens et intracrâniens (respectivement 384 ml/min ± 200 contre 335 ml/min ±92.4).

Le facteur de correction veineux était également similaire entre les deux secteurs (1.40 ±2.43 en extracrâniens et 1.25 ±0.36 en intracrâniens).

Le volume oscillatoire sanguin (VO sang) était identique entre le niveau extracrânien et le niveau intracrânien (respectivement  $0.92 \pm 0.73$  vs  $0.89 \pm 0.39$ ).

L'index de pulsatilité artériel (IPA) était plus élevé dans le secteur extracrânien comparativement au secteur intracrânien ( $2.06 \pm 0.59$  contre  $1.35 \pm 0.44$ ) et l'index de pulsatilité veineux (IPV) était relativement identique pour les deux niveaux ( $1.22 \pm 0.85$  pour le niveau extracrânien contre  $0.84 \pm 0.42$  pour le niveau intracrânien).

Tableau 6 : Analyse hydro-hémodynamique des fluides cérébraux

Caractéristiques	Total
DCA extracrânien (ml/min)	$338 \pm 289$ (51-1156)
DCA intracrânien (ml/min)	$424 \pm 173$ (130-793)
DCV extracrânien (ml/min)	$384 \pm 200$ (68-832)
DCV intracrânien (ml/min)	$335 \pm 92.4$ (239-574)
Facteur de correction veineux extra	$1.40 \pm 2.43$ (0.24-9.91)
Facteur de correction veineux intra	$1.25 \pm 0.36$ (0.46-1.8)
VO sang extra (ml)	$0.92 \pm 0.73$ (0.26-3.01)
VO sang intra (ml)	$0.89 \pm 0.39$ (0.16-1.66)
VO aqu (ml)	$0.11 \pm 0.07$ (0.01-0.21)
VO spi (ml)	$0.50 \pm 0.29$ (0.12-1.27)
IPA extra	$2.06 \pm 0.59$ (1.34-3.34)
IPA intra	$1.35 \pm 0.44$ (0.11-2.17)
IPV extra	$1.22 \pm 0.85$ (0.33-3.63)
IPV intra	$0.84 \pm 0.42$ (0.42-2.06)
Rythme cardiaque (bpm)	$74.1 \pm 8.37$ (60-91)

Abbreviations : DCA, débit cérébral artériel ; DCV, débit cérébral veineux ; VO sang, volume oscillatoire du sang ; VO spi, volume oscillatoire du LCS au niveau spinal ; VO aqu, volume oscillatoire du LCS au niveau de l'aqueduc ; IPA, index de pulsatilité artériel ; IPV, index de pulsatilité veineux ; Extra, extracrânien ; Intra, intracrânien ; Bpm, battements par minute.

### e. Analyse du critère secondaire

Dans notre cohorte de 15 patients, nous avons pu identifier 7 patients ayant un faisceau d'arguments à l'IRM en faveur d'une HCA selon l'interprétation du radiologue et 8 patients n'ayant pas une imagerie en faveur de ce diagnostic.

Concernant l'analyse morphologique, le score de DESH est statistiquement plus élevé dans le groupe HCA avec un score à  $5.57 \pm 1.72$  contre  $3.38 \pm 1.69$  dans le groupe non-HCA radiologique avec un p à 0.027.

Concernant l'analyse de flux, il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les deux groupes. Néanmoins, le débit cérébral artériel (DCA) extracrânien était à  $476 \pm 330$  ml/min dans le groupe HCA radiologique contre  $218 \pm 195$  ml/min dans le groupe non-HCA avec un p à 0.101.

Le facteur de correction veineux extracrânien était à  $2.41 \pm 3.39$  dans le groupe HCA radiologique et  $0.52 \pm 0.18$  dans le groupe non-HCA avec un p à 0.192.

Le volume oscillatoire sanguin extracrânien (VO sang extra) était à  $1.19 \pm 0.86$  ml dans le groupe HCA radiologique et  $0.68 \pm 0.55$  ml dans le groupe non-HCA avec un p à 0.207.

L'index de pulsatilité artériel intracrânien (IPA intra) était à  $1.17 \pm 0.52$  dans le groupe HCA radiologique contre  $1.51 \pm 0.31$  dans le groupe non-HCA radiologique avec un p à 0.160.

Pour terminer, l'index de pulsatilité veineux extracrânien (IPV extra) était à  $0.91 \pm 0.48$  dans le groupe HCA radiologique et  $1.50 \pm 1.03$  dans le groupe non-HCA avec un p à 0.177.

Tableau 7 : Analyse morphologique et hydro-hémodynamique des fluides cérébraux dans les groupes HCA radiologique et non-HCA radiologique.

Caractéristiques	Total	Groupe HCA	Groupe non-HCA	p
Patients	15	7	8	
FAZEKAS <sup>1</sup>	$1.80 \pm 0.77$	$1.57 \pm 0.79$	$2.00 \pm 0.76$	0.304
Échelle de Scheltens	$2.53 \pm 0.99$	$3.00 \pm 0.58$	$2.12 \pm 1.13$	0.081
Index Evans	$0.52 \pm 0.72$	$0.76 \pm 1.04$	$0.32 \pm 0.12$	0.302
Angle du corps calleux	$106 \pm 22.3$	$95.1 \pm 12.9$	$115 \pm 25.3$	0.076
Score de DESH	$4.40 \pm 1.99$	$5.57 \pm 1.72$	$3.38 \pm 1.69$	<b>0.027</b>
DCA extracrânien (ml/min)	$338 \pm 289$	$476 \pm 330$	$218 \pm 195$	0.101
DCA intracrânien (ml/min)	$424 \pm 173$	$431 \pm 231$	$418 \pm 120$	0.895
DCV extracrânien (ml/min)	$384 \pm 200$	$365 \pm 143$	$400 \pm 249$	0.736
DCV intracrânien (ml/min)	$335 \pm 92.4$	$348 \pm 109$	$323 \pm 80.7$	0.638
Facteur de correction veineux extra	$1.40 \pm 2.43$	$2.41 \pm 3.39$	$0.52 \pm 0.18$	0.192
Facteur de correction veineux intra	$1.25 \pm 0.36$	$1.21 \pm 0.47$	$1.30 \pm 0.27$	0.657
VO sang extra (ml)	$0.92 \pm 0.73$	$1.19 \pm 0.86$	$0.68 \pm 0.55$	0.207
VO sang intra (ml)	$0.89 \pm 0.39$	$0.87 \pm 0.47$	$0.90 \pm 0.35$	0.907
VO aqu (ml)	$0.11 \pm 0.07$	$0.13 \pm 0.07$	$0.09 \pm 0.06$	0.250
VO spi (ml)	$0.50 \pm 0.29$	$0.40 \pm 0.10$	$0.57 \pm 0.36$	0.232
IPA extra	$2.06 \pm 0.59$	$1.86 \pm 0.54$	$2.24 \pm 0.61$	0.218
IPA intra	$1.35 \pm 0.44$	$1.17 \pm 0.52$	$1.51 \pm 0.31$	0.160
IPV extra	$1.22 \pm 0.85$	$0.91 \pm 0.48$	$1.50 \pm 1.03$	0.177
IPV intra	$0.84 \pm 0.42$	$0.91 \pm 0.58$	$0.78 \pm 0.25$	0.588
Rythme cardiaque (bpm)	$74.1 \pm 8.37$	$75.7 \pm 7.50$	$72.8 \pm 9.33$	0.508

**Abréviations :** DCA, débit cérébral artériel ; DCV, débit cérébral veineux ; VO sang, volume oscillatoire du sang ; VO spi, volume oscillatoire du LCS au niveau spinal ; VO aqu, volume oscillatoire du LCS au niveau de l'aqueduc ; IPA, index de pulsatilité artériel ; IPV, index de pulsatilité veineux ; Extra, extracrânien ; Intra, intracrânien ; Bpm, battements par minute.



## PARTIE 3 : DISCUSSION

### *Principaux résultats :*

En reprenant les caractéristiques de notre population, on peut mettre en évidence plusieurs facteurs précipitants des chutes. Tout d'abord la iatrogénie avec un traitement anti HTA présent pour 86,7% de la population, un anxiolytique chez 20% des patients et un nombre moyen de médicaments par ordonnance à 7,6. L'hypotension orthostatique peut également avoir une importance dans ces chutes avec un test positif pour 26,7% de la population.

Concernant la triade de Hakim, l'incontinence urinaire était présente chez 26,7% de notre échantillon, seul un patient présentait des troubles neurocognitifs majeurs (la moyenne du score MMSE était à 23,8 pour notre cohorte) et l'ensemble de la population présentaient des troubles de la marche et ou des chutes.

L'analyse morphologique cérébrale par IRM permettait de mettre en avant un score de DESH plutôt élevé à 4,40.

Dans cette étude, sur les 15 patients inclus, nous avons pu mettre en évidence les mouvements des flux cérébraux chez les sujets âgés chuteurs par l'intermédiaire de marqueurs non invasifs de la pulsativité cranio-spinale grâce à l'IRM-CP.

En comparant les niveaux extracrâniens et intracrâniens dans notre cohorte de patients chuteurs, le débit cérébral artériel était plus important dans le niveau intracrânien et l'index de pulsativité était augmenté dans le niveau extracrânien. Le reste des paramètres étaient similaires dans les deux secteurs.

Selon les données de la littérature, le vieillissement entraîne une baisse du débit cérébral artériel [24] et une augmentation du volume oscillatoire du LCS au niveau cervical, sans modification du volume oscillatoire du LCS au niveau de l'aqueduc [21].

En réalisant une analyse qualitative et comparative de l'hydro-hémodynamique de fluides cérébraux par IRM-CP de notre cohorte et de la cohorte de volontaires âgés sans troubles de la marche de l'étude sur l'impact du crâne et de l'âge sur la dynamique cranio-spinale dans le vieillissement physiologique, extrait de la thèse de Lokossou A [21], nous pouvons mettre en évidence des modifications de ces mouvements (annexe 4).

En effet, on remarque une diminution du débit cérébral artériel extracrânien et intracrânien chez les sujets âgés chuteurs avec respectivement un débit à  $338 \pm 289$  ml/min et  $424 \pm 173$  ml/min contre  $588 \pm 119$  ml/min pour le secteur extracrânien et  $593 \pm 107$  ml/min pour le secteur intracrânien chez les volontaires âgés sans troubles de la marche.

Le débit cérébral veineux extracrânien est également diminué chez les patients âgés chuteurs avec un débit à  $384 \pm 200$  ml/min contre  $533 \pm 161$  ml/min. Pour le débit cérébral veineux intracrânien, il est similaire dans les deux groupes.

En ce qui concerne le volume oscillatoire du LCS, le volume est identique au niveau spinal pour les deux populations mais il est augmenté au niveau de l'aqueduc chez les chuteurs âgés avec un volume à  $0,11 \pm 0,07$  ml contre  $0,05 \pm 0,03$  ml chez les volontaires âgés.

Les index de pulsatilité artériel et veineux sont plus élevés dans les secteurs intracrânien et extracrânien de la populations de chuteurs. Concernant le volume oscillatoire du sang intracrânien et extracrânien, il est identique pour les deux groupes.

Au sein de notre cohorte en comparant le groupe HCA radiologique et le groupe non-HCA radiologique, on ne retrouve pas de différence statistique significative pour l'analyse de flux.

Mais néanmoins le débit cérébral artériel (DCA) extracrânien était à  $476 \pm 330$  ml/min dans le groupe HCA radiologique contre  $218 \pm 195$  ml/min dans le groupe non-HCA avec un p à 0.101. L'index de pulsatilité artériel intracrânien (IPA intra) était à  $1.17 \pm 0.52$  dans le groupe HCA radiologique contre  $1.51 \pm 0.31$  dans le groupe non-HCA radiologique avec un p à 0.160 et l'index de pulsatilité veineux extracrânien (IPV extra) était à  $0.91 \pm 0.48$  dans le groupe HCA radiologique et  $1.50 \pm 1.03$  dans le groupe non-HCA avec un p à 0.177.

Seul le score de DESH était statistiquement plus élevé dans le groupe HCA-radiologique.

En reprenant les données de la littérature chez les patients présentant une HCA, on retrouve une augmentation de la pulsatilité du LCS au niveau de l'aqueduc [25, 26] et un flux de LCS normal au niveau cervical [17].

L'analyse de la littérature retrouve des résultats discordants, notamment pour la pulsatilité artérielle avec une augmentation de l'IPA intracrânien en cas d'HCA comparativement aux sujets avec troubles neurocognitifs sans leucoaraïose [27] contrairement à l'étude sur l'impact de la boîte crânienne et de l'hydrocéphalie sur la dynamique craniale-spinale qui retrouve une diminution des pulsatilités artérielle et veineuse dans le secteur intracrânien. [21].

L'hétérogénéité des résultats de notre étude et de la littérature indique bien que le diagnostic par imagerie de l'HCA reste difficile à poser. L'examen complémentaire gold standard pour la mise en évidence de l'HCA demeure la déplétion de LCS par ponction lombaire soustractive.

### *Limitations de l'étude*

Notre population était principalement indépendante, sans troubles neurocognitifs majeurs mais néanmoins représentative d'une population gériatrique avec un score de Charlson moyen de 5,73.

La principale limite pouvant avoir une incidence sur les résultats est le manque de puissance en lien avec un petit échantillon de 15 patients.

### *Futures recherches*

Pour les futurs travaux, il serait intéressant de définir une norme des différents marqueurs de la pulsativité cranio-spinale, afin de pouvoir mettre en évidence des critères d'hyperdynamiques ou d'hypodynamiques des fluides cérébraux.

L'IRM-CP pourrait alors permettre une meilleure compréhension de la physiologie des mouvements cérébraux, de poser le diagnostic de l'HCA par une technique non invasive et de prédire l'efficacité de la dérivation chirurgicale du LCS.



## CONCLUSION

La prévalence des chutes augmente avec l'âge, ainsi que la prévalence de l'hydrocéphalie chronique de l'adulte, qui reste largement sous diagnostiqué, surtout chez le patient âgé chuteur ou présentant des troubles de la marche.

Cette étude a montré que par l'intermédiaire de l'IRM-CP, les flux cérébraux sont facilement quantifiables et cela permet la mise en avant des perturbations de l'hydro-hémodynamique en cas de chutes ou de pathologie comme l'HCA.

En opposant notre population de sujets âgés chuteurs à une population gériatrique sans troubles de la marche, nous avons pu mettre en évidence des modifications des flux cérébraux, notamment une diminution du débit cérébral artériel extracrânien et intracrânien chez les chuteurs. Toujours chez les chuteurs, on constate une diminution du débit cérébral veineux extracrânien, une augmentation du volume oscillatoire du LCS au niveau de l'aqueduc et une augmentation des index de pulsativité.

En comparant au sein de notre échantillon le groupe HCA radiologique et le groupe non-HCA radiologique, on ne retrouve pas de différence statistique significative pour l'analyse de flux. Cela probablement par un biais de puissance mais surtout en lien avec un diagnostic par imagerie de l'HCA qui reste compliqué à poser.

Ce travail ouvre la voie à de futures recherches, notamment pour permettre une normalisation des différents paramètres de flux, pour diagnostiquer l'HCA de façon non invasive et pour prédire la réponse à la dérivation chirurgicale du LCS.



## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. HAS, Société Française de Gériatrie et de Gérontologie. Recommandations de bonnes pratiques professionnelles. Evaluation et prise en charge des personnes âgées faisant des chutes répétées. [En ligne]. 2009 [cité le 04 mai 2023]. Disponible: [https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2009-06/chutes\\_repetees\\_personnes\\_agees\\_-\\_recommandations.pdf](https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2009-06/chutes_repetees_personnes_agees_-_recommandations.pdf)
2. Trombetti A, Hars M, Marcant D, Rizzoli R, Ferrari S. Prévention de la chute: un enjeu de taille dans la stratégie visant à prévenir les fractures chez le sujet âgé. *Rev Med Suisse*. 2009;5:1318-24
3. Deffon D. Gait disorders and falls in the elderly. *Revue du rhumatisme*. 2019;86(2019):178-182
4. Bret P, Guyotat J, Chazal J. Is normal pressure hydrocephalus a valid concept in 2002? A reappraisal in five questions and proposal for a new designation of the syndrome as "chronic hydrocephalus". *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 2002;73(1):9-12
5. Daniel J, Carsten W, Katrin R, Thomas M, Christer J, Svante Ö, et al. Mortality and risk of dementia in normal-pressure hydrocephalus: A population study. *Alzheimer's & Dementia*. 2017;13(8):850-857
6. Bouchon JP. 1+2+3 ou comment tenter d'être efficace en gériatrie?. *Rev Prat*. 1984;34:888-92
7. Sakka L, Coll G, Chazal J. Anatomie et physiologie du liquide cébrospinal. *Annales françaises d'oto-rhino-laryngologie et de pathologie cervico-faciale*. 2011;128:359-366
8. Natyinfirmiere. [En ligne]. 2010 [cité le 18 mai 2023]. Disponible: <https://natyinfirmiere.files.wordpress.com/2010/10/systeme-nerveux-central.pdf>
9. Rasmussen MK, Kaag M, Mestre H, Nedergaard M. The Glymphatic Pathway in Neurological Disorders. *The Lancet Neurology*. 2018;17(11):1016-24
10. Jessen NA, Finmann Munk AS, Lundgaard I, Nedergaard M. The Glymphatic System: A Beginner's Guide. *Neurochemical Research*. 2015;40(12):2583-99
11. Mendelsohn AR, Larrick JW. Sleep facilitates clearance of metabolites from the brain: glymphatic function in aging and neurodegenerative diseases. *Rejuvenation Res*. 2013;16(6):518-23
12. Mongin M, Hommet C, Mondon K. Normal pressure hydrocephalus: A review and practical aspects. *La Revue de médecine interne*. 2015;36(2015):825-833

13. Bekaert O, Grandjacques B, Hodel J, Nseir R, Decq P. Gait disturbances and normal pressure hydrocephalus. *Revue neurologie*. 2009;166(2010):229-234
14. Chazal J, Khalil T, Sakka L, Mendes V, Coste A, Lemaire JJ. Chronic hydrocephalus in adult (or normal pressure hydrocephalus) forty years later. *La Lettre du Neurologue*. 2006;10(8):270-275
15. Fournier JY, Hildebrandt G, Gautschi OP. Hydrocéphalie à pression normale. *Rev Med Suisse*. 2010;6:836-9
16. Bey E, Nicot B, Casez O, Le Normand L. Lower urinary tract dysfunction in normal pressure hydrocephalus: Review of the literature. *Progrès en urologie*. 2016;26:1191-1199
17. Mouton Paradot G, Balédent O, Sallioux G, Lehmann P, Gondry Jouet C, Le Gars D. Contribution of phase-contrast MRI to the management of patients with normal pressure hydrocephalus: Can it predict response to shunting?. *Neurochirurgie*. 2009;56(2010):50-54
18. Bret P, Chazal J, Lemaire JJ, Guyotat J, Ricci AC. Hydrocéphalie chronique de l'adulte (hydrocéphalie à pression normale). *Encycl Méd Chir, Neurologie*, 17-154-B-10, 2002, 11 p.
19. Balédent O, Gondry Jouet C, Stoquart Elsankari S, Bouzerar R, Le Gars D, Meyer M E. Value of phase contrast magnetic resonance imaging for investigation of cerebral hydrodynamics. *Journal of neuroradiology*. 2006;33(5):292-303
20. Lokossou A, Metanbou S, Gondry Jouet C, Balédent O. Extracranial versus intracranial hydro-hemodynamics during aging: a PC-MRI pilot cross-sectional study. *Fluids Barriers CNS*. 2020;17(1):1
21. Lokossou A. Etude de la plasticité liquidienne du système cranio-spinal: de la physiologie à la pathologie [Thèse de doctorat biologie-santé]. Amiens, France: Université de Picardie Jules Verne; 2019
22. Balédent O, Henry Feugeas M C, Idy Peretti I. Cerebrospinal fluid dynamics and relation with blood flow: a magnetic resonance study with semiautomated cerebrospinal fluid segmentation. *Invest Radiol*. 2001;36(7):368-77
23. Shinoda N, Hirai O, Hori S, Mikami K, Bando T, Shimo D, et al. Utility of MRI-based disproportionately enlarged subarachnoid space hydrocephalus scoring for predicting prognosis after surgery for idiopathic normal pressure hydrocephalus: clinical research. *J Neurosurg*. 2017;127(6):1436-42
24. Xu X, Wang B, Ren C, Hu J, Greenberg D A, Chen T, et al. Age-Related Impairment of Vascular Structure and Functions. *Aging and Disease*. 2017;8(5):590
25. Luetmer P H, Huston J, Friedman J A, Dixon G R, Petersen R C, Jack C R, et al. Measurement of Cerebrospinal Fluid Flow at the Cerebral Aqueduct by Use of Phase-Contrast

Magnetic Resonance Imaging: Technique Validation and Utility in Diagnosing Idiopathic Normal Pressure Hydrocephalus. *Neurosurgery*. 2002;50(3): 534–543

26. Balédent O, Gondry-Jouet C, Meyer M E, De Marco G, Le Gars D, Henry-Feugeas M C, et al. Relationship between Cerebrospinal Fluid and Blood Dynamics in Healthy Volunteers and Patients with Communicating Hydrocephalus. *Investigative Radiology*. 2004;39(1):45-55

27. Bateman G A. Pulse-Wave Encephalopathy: A Comparative Study of the Hydrodynamics of Leukoaraiosis and Normal-Pressure Hydrocephalus. *Neuroradiology*. 2002;44(9):740-748

## ANNEXES

### ANNEXE 1 : Clinical frailty score (indice de Rockwood)

Clinical Frailty Scale	
 <p><b>1 Very Fit</b> – People who are robust, active, energetic and motivated. These people commonly exercise regularly. They are among the fittest for their age.</p>	 <p><b>7 Severely Frail</b> – Completely dependent for personal care, from whatever cause (physical or cognitive). Even so, they seem stable and not at high risk of dying (within ~ 6 months).</p>
 <p><b>2 Well</b> – People who have no active disease symptoms but are less fit than category 1. Often, they exercise or are very active occasionally, e.g. seasonally.</p>	 <p><b>8 Very Severely Frail</b> – Completely dependent, approaching the end of life. Typically, they could not recover even from a minor illness.</p>
 <p><b>3 Managing Well</b> – People whose medical problems are well controlled, but are not regularly active beyond routine walking.</p>	 <p><b>9 Terminally Ill</b> – Approaching the end of life. This category applies to people with a life expectancy &lt;6 months, who are not otherwise evidently frail.</p>
 <p><b>4 Vulnerable</b> – While not dependent on others for daily help, often symptoms limit activities. A common complaint is being “slowed up”, and/or being tired during the day.</p>	
 <p><b>5 Mildly Frail</b> – These people often have more evident slowing, and need help in high order IADLs (finances, transportation, heavy housework, medications). Typically, mild frailty progressively impairs shopping and walking outside alone, meal preparation and housework.</p>	
 <p><b>6 Moderately Frail</b> – People need help with all outside activities and with keeping house. Inside, they often have problems with stairs and need help with bathing and might need minimal assistance (cuing, standby) with dressing.</p>	

**Scoring frailty in people with dementia**

The degree of frailty corresponds to the degree of dementia. Common **symptoms in mild dementia** include forgetting the details of a recent event, though still remembering the event itself, repeating the same question/story and social withdrawal.

In **moderate dementia**, recent memory is very impaired, even though they seemingly can remember their past life events well. They can do personal care with prompting.

In **severe dementia**, they cannot do personal care without help.

## ANNEXE 2 : Echelle d'autonomie de KATZ (ADL)

24.10.2001

### **ECHELLE D'AUTONOMIE DE KATZ (A.D.L.)**

(S'informer auprès de l'infirmière et de l'Aide-Soignante).

NOM :

Prénom :

Date de naissance :

<u>ECHELLE A.D.L.</u> (Aide-soignante Infirmière)	<u>1ère évaluation</u> Date : Score:	<u>2ème évaluation</u> Date : Score:	<u>3ème évaluation</u> Date : Score:
<b><u>HYGIENE CORPORELLE</u></b>			
. autonomie	1	1	1
. aide	½	½	½
. dépendant(e)	0	0	0
<b><u>HABILLAGE</u></b>			
. autonomie pour le choix des vêtements et l'habillement	1	1	1
. autonomie pour le choix des vêtements, l'habillement mais a besoin d'aide pour se chausser	½	½	½
. dépendant(e)	0	0	0
<b><u>ALLER AUX TOILETTES</u></b>			
. autonomie pour aller aux toilettes, se déshabiller et se rhabiller ensuite	1	1	1
. doit être accompagné(e) ou a besoin d'aide pour se déshabiller ou se rhabiller	½	½	½
. ne peut aller aux toilettes seul(e)	0	0	0
<b><u>LOCOMOTION</u></b>			
. autonomie	1	1	1
. a besoin d'aide	½	½	½
. grabataire	0	0	0
<b><u>CONTINENCE</u></b>			
. continent(e)	1	1	1
. incontinence occasionnelle	½	½	½
. incontinent(e)	0	0	0
<b><u>REPAS</u></b>			
. mange seul(e)	1	1	1
. aide pour couper la viande ou peler les fruits	½	½	½
. dépendant(e)	0	0	0
<b>TOTAL</b>			

Département de Gériatrie – Hôpital NORD – CÉBAZAT – CHU CLERMONT-FERRAND.

## ANNEXE 3 : Mini mental state examination (MMSE)

<b>MINI MENTAL STATE EXAMINATION (M.M.S.E)</b>	Etiquette du patient
Date : .....	
Évalué(e) par : .....	
Niveau socio-culturel .....	

### ORIENTATION

Je vais vous poser quelques questions pour apprécier comment fonctionne votre mémoire. Les unes sont très simples, les autres un peu moins. Vous devez répondre du mieux que vous pouvez.

Quelle est la date complète d'aujourd'hui ? .....

⇒ Si la réponse est incorrecte ou incomplète, posez les questions restées sans réponse, dans l'ordre suivant :

- |                                  |       |  |  |                              |       |
|----------------------------------|-------|--|--|------------------------------|-------|
| 1. en quelle année sommes-nous ? | !Ouf! |  |  | 4. Quel jour du mois ?       | !Ouf! |
| 2. en quelle saison ?            | !___! |  |  | 5. Quel jour de la semaine ? | !___! |
| 3. en quel mois ?                | !___! |  |  |                              |       |
- ⇒ Je vais vous poser maintenant quelques questions sur l'endroit où nous nous trouvons.
- |  |       |
|--|-------|
| 6. Quel est le nom de l'Hôpital où nous sommes ?                       | !___! |
| 7. Dans quelle ville se trouve-t-il ?                                  | !___! |
| 8. Quel est le nom du département dans lequel est située cette ville ? | !___! |
| 9. Dans quelle province ou région est situé ce département ?           | !___! |
| 10. A quel étage sommes-nous ici ?                                     | !___! |

### APPRENTISSAGE

⇒ Je vais vous dire 3 mots ; je voudrais que vous me les répétiez et que vous essayiez de les retenir car je vous les demanderai tout à l'heure.

- |            |    |         |    |           |  |       |
|------------|----|---------|----|-----------|--|-------|
| 11. Cigare |    | [citron |    | [fauteuil |  | !___! |
| 12. fleur  | ou | [clé    | ou | [tulipe   |  | !___! |
| 13. porte  |    | [ballon |    | [canard   |  | !___! |

Répéter les 3 mots.

### ATTENTION ET CALCUL

⇒ Voulez-vous compter à partir de 100 en retirant 7 à chaque fois ?

- |        |       |
|--------|-------|
| 14. 93 | !___! |
| 15. 86 | !___! |
| 16. 79 | !___! |
| 17. 72 | !___! |
| 18. 65 | !___! |

⇒ Pour tous les sujets, même pour ceux qui ont obtenu le maximum de points, demander : « voulez-vous épeler le mot MONDE à l'envers » : E D N O M.

### RAPPEL

⇒ Pouvez-vous me dire quels étaient les 3 mots que je vous ai demandé de répéter et de retenir tout à l'heure ?

- |            |    |         |    |           |  |       |
|------------|----|---------|----|-----------|--|-------|
| 19. Cigare |    | [citron |    | [fauteuil |  | !___! |
| 20. fleur  | ou | [clé    | ou | [tulipe   |  | !___! |
| 21. porte  |    | [ballon |    | [canard   |  | !___! |

### LANGAGE

- |  |       |
|--|-------|
| 22. quel est le nom de cet objet? Montrer un crayon.                     | !___! |
| 23. Quel est le nom de cet objet Montrer une montre                      | !___! |
| 24. Ecoutez bien et répétez après moi : « PAS DE MAIS, DE SI, NI DE ET » | !___! |

⇒ Poser une feuille de papier sur le bureau, la montrer au sujet en lui disant : « écoutez bien et faites ce que je vais vous dire » (consignes à formuler en une seule fois) :

- |   |       |
|---|-------|
| 25. prenez cette feuille de papier avec la main droite. | !___! |
| 26. Pliez-la en deux.                                   | !___! |
| 27. et jetez-la par terre ».                            | !___! |

⇒ Tendre au sujet une feuille de papier sur laquelle est écrit en gros caractères : « FERMEZ LES YEUX » et dire au sujet :

- |                                 |       |
|---------------------------------|-------|
| 28. «faites ce qui est écrit ». | !___! |
|---------------------------------|-------|

⇒ Tendre au sujet une feuille de papier et un stylo en disant :

- |   |       |
|---|-------|
| 29. voulez-vous m'écrire une phrase, ce que vous voulez, mais une phrase entière. » | !___! |
|---|-------|

### PRAXIES CONSTRUCTIVES.

⇒ Tendre au sujet une feuille de papier et lui demander :

- |   |       |
|---|-------|
| 30. « Voulez-vous recopier ce dessin ». | !___! |
|---|-------|



**SCORE TOTAL (0 à 30)**      !\_\_\_!

#### **ANNEXE 4 : Analyse hydro-hémodynamique des fluides cérébraux par IRM-CP chez les sujets âgés chuteurs et chez les sujets volontaires âgés**

Tableau comparatif sur l'analyse hydro-hémodynamique des fluides cérébraux par IRM-CP dans notre cohorte de sujets gériatriques chuteurs et dans la cohorte de volontaires âgés sans troubles de la marche de l'étude sur l'impact du crâne et de l'âge sur la dynamique cranio-spinale dans le vieillissement physiologique, extrait de la thèse de Lokossou A [21].

Caractéristiques	Sujets chuteurs âgés	Sujets volontaires âgés
Nombre de sujets	15	19
DCA extracrânien (ml/min)	338 ±289	588 ±119
DCA intracrânien (ml/min)	424 ±173	593 ±107
DCV extracrânien (ml/min)	384 ±200	533 ±161
DCV intracrânien (ml/min)	335 ±92.4	379 ±88
Facteur de correction veineux extra	1.40 ±2.43	1.24 ±0.52
Facteur de correction veineux intra	1.25 ±0.36	1.59 ±0.41
VO sang extra (ml)	0.92 ±0.73	0.98 ±0.32
VO sang intra (ml)	0.89 ±0.39	1.08 ±0.21
VO aqu (ml)	0.11 ±0.07	0.05 ±0.03
VO spi (ml)	0.50 ±0.29	0.51 ±0.20
IPA extra	2.06 ±0.59	1.31 ±0.32
IPA intra	1.35 ±0.44	1.16 ±0.17
IPV extra	1.22 ±0.85	0.86 ±0.40
IPV intra	0.84 ±0.42	0.52 ±0.16
Rythme cardiaque (bpm)	74.1 ±8.37	70 ±11

Abréviations : DCA, débit cérébral artériel ; DCV, débit cérébral veineux ; VO sang, volume oscillatoire du sang ; VO spi, volume oscillatoire du LCS au niveau spinal ; VO aqu, volume oscillatoire du LCS au niveau de l'aqueduc ; IPA, index de pulsatilité artériel ; IPV, index de pulsatilité veineux ; Extra, extracrânien ; Intra, intracrânien ; Bpm, battements par minute.

**Titre : Analyse hydro-hémodynamique des fluides cérébraux par IRM-CP chez le sujet âgé chuteur.**

**Introduction** : Chez le sujet âgé, la chute est très fréquente et fait partie des grands syndromes gériatriques. Les objectifs de ce travail étaient l'analyse hydro-hémodynamique des fluides cérébraux par IRM en contraste de phase chez le sujet âgé chuteur et la comparaison des paramètres de flux entre les patients présentant une hydrocéphalie chronique de l'adulte (HCA) radiologique et les patients non-HCA radiologique.

**Matériel et méthode** : Cette étude était transversale, mono-centrique, basée sur le protocole de recherche HYDROFALL. Le recueil de données a été réalisé de façon rétrospective du 17 au 21 avril 2023, permettant l'inclusion de 15 patients. Les patients ont bénéficié d'un examen par IRM craniospinale en deux temps, un premier temps permettant une analyse morphologique puis dans un second temps des séquences complémentaires en contraste de phase permettant l'étude des flux des neurofluides.

**Résultats** : En comparant les niveaux extracrâniens et intracrâniens dans notre cohorte de patients chuteurs, le débit cérébral artériel était plus important dans le niveau intracrânien et l'index de pulsatilité était augmenté dans le niveau extracrânien. Le reste des paramètres étaient similaires dans les deux secteurs.

Au sein de notre cohorte en comparant le groupe HCA radiologique et le groupe non-HCA radiologique, on ne retrouve pas de différence statistique significative pour l'analyse de flux. Seul le score de DESH était statistiquement plus élevé dans le groupe HCA-radiologique avec un score à  $5.57 \pm 1.72$  contre  $3.38 \pm 1.69$  et un  $p$  à 0.027.

**Conclusion** : Cette étude a montré que par l'intermédiaire de l'IRM-CP, les flux cérébraux sont facilement quantifiables et cela permet la mise en avant des perturbations de l'hydro-hémodynamique en cas de chutes ou de pathologie comme l'HCA. L'hétérogénéité des résultats de notre étude et de la littérature indique bien que le diagnostic par imagerie de l'HCA reste difficile à poser. Ce travail ouvre la voie à de futures recherches.

**Mots-clés** : Gériatrie – IRM CP – Sujet âgé chuteur – Hydrocéphalie chronique de l'adulte

---

**Title: Hydro-haemodynamic analysis of cerebral fluids by MRI-CP in the elderly subject liable to fall.**

**Introduction**: In the elderly, falling is very common and is part of the major geriatric syndromes. The objectives of this work were to analyse the hydro-hemodynamics of cerebral fluids by phase contrast MRI in the elderly and to compare the flow parameters between patients with chronic adult radiological hydrocephalus (HCA) and non-HCA radiological patients.

**Methods**: This study was cross-sectional and monocentric, based on the HYDROFALL research protocol. Data collection for this study was carried out retrospectively from 17 to 21 April 2023, with the inclusion of 15 patients. Patients underwent a craniospinal MRI examination in two stages, a first one allowing a morphological analysis and in the second stage complementary sequences in phase contrast were done allowing the study of cerebral fluids.

**Results**: By comparing extracranial and intracranial levels in our cohort of falling patients, arterial cerebral output was greater in the intracranial level and the pulsatility index was increased in the extracranial level. The remaining parameters were similar in both sectors. Within our cohort, by comparing the radiological HCA group and the radiological non-HCA group, there is no significant statistical difference in flow analysis. Only the DESH score was statistically higher in the HCA-radiological group with a score at  $5.57 \pm 1.72$  versus  $3.38 \pm 1.69$ ,  $p$  value at 0.027.

**Conclusion**: This study showed that MRI-CP allows the study of cerebral flows which is easily quantifiable permitting the highlighting of hydro-haemodynamic disturbances in case of falls or pathology such as HCA. The heterogeneity in the results of our study and the literature review indicate that the diagnosis of HCA remains a challenging task. This work paves the way for future research.

**Keywords**: Elderly – MRI-CP – Elderly subject liable to fall – Chronic adult hydrocephalus