



**HAL**  
open science

# Confrontation radiologique au test d'infusion dans l'hydrocéphalie chronique de l'adulte idiopathique

Déesse Dji'Ala

► **To cite this version:**

Déesse Dji'Ala. Confrontation radiologique au test d'infusion dans l'hydrocéphalie chronique de l'adulte idiopathique. Médecine humaine et pathologie. 2022. dumas-04052359

**HAL Id: dumas-04052359**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04052359>**

Submitted on 3 Apr 2023

**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

UNIVERSITÉ DE PICARDIE JULES VERNE  
FACULTE DE MEDECINE  
ANNEE : 2022

**THESE POUR LE DIPLÔME D'ETAT  
DE DOCTEUR EN MEDECINE  
Radiodiagnostic et Imagerie médicale  
N° 2022 – 152**

**CONFRONTATION RADIOLOGIQUE AU TEST D'INFUSION  
DANS L'HYDROCEPHALIE CHRONIQUE DE L'ADULTE  
IDIOPATHIQUE**

Présentée et soutenue publiquement le vendredi 14 octobre 2022

A la salle des thèses

**Par Madame Déesse DJI'ALA**

**JURY**

**Président :**

**Monsieur le Professeur Jean-Marc CONSTANS**

**Assesseurs :**

**Monsieur le Professeur Frédéric BLOCH**

**Monsieur le Docteur Cyrille CAPEL**

**Monsieur le Docteur Olivier BALEDENT**

**Directeur de Thèse :**

**Monsieur le Docteur Serge METANBOU**



## REMERCIEMENTS

**Monsieur le Professeur Jean-Marc CONSTANS**

*Responsable du centre d'activité de Neuroradiologie*

*Coresponsable de l'équipe Universitaire CHIMERE*

*Coordonnateur du DES d'Imagerie Médicale*

*Responsable Médical et de la recherche clinique sur l'IRM de recherche du GIE Faire Faces*

*Professeur des Universités-Praticien Hospitalier*

*(Radiologie et Imagerie médicale)*

*Pôle Imagerie*

C'est un honneur de vous avoir en tant que président de mon jury de thèse.

Veillez recevoir toute ma gratitude et mes remerciements pour les connaissances que vous m'avez transmises en imagerie médicale et en neuroradiologie.

**Monsieur le Professeur Frédéric BLOCH**

*Professeur des Universités – Praticien Hospitalier*

*Chef du service de Gériatrie*

*(Gériatrie)*

Vous me faites l'honneur de siéger à mon jury de thèse et de juger mon travail.

Recevez mes plus sincères remerciements et ma profonde gratitude.

**Monsieur le Docteur Cyrille CAPEL**

*Praticien Hospitalier*

*(Neurochirurgie)*

Vous me faites l'honneur de siéger à mon jury de thèse et de juger mon travail.

Merci pour votre contribution à la réalisation de cette thèse et pour vos encouragements.

Recevez mes plus sincères remerciements et ma profonde gratitude.

**Monsieur le Docteur Olivier BALEDENT**

*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*

Vous me faites l'honneur de siéger à mon jury de thèse.

Recevez ma profonde gratitude et mes sincères remerciements pour votre encadrement, votre disponibilité et les précieux conseils que vous m'avez apportés tout au long de ce travail.

Votre passion pour votre travail, vos talents d'orateur et votre capacité de transmission de vos connaissances à vos étudiants sont pour moi une source d'inspiration.

Merci pour votre confiance à mon égard et vos encouragements.

**Monsieur le Docteur Serge METANBOU**

*Praticien Hospitalier*

*(Radiologie et Imagerie médicale)*

Merci de m'avoir fait l'honneur d'être mon directeur de thèse.

Merci pour votre encadrement tout au long de ce travail de thèse à travers le temps et les connaissances que vous avez mis à ma disposition.

Merci pour votre écoute, votre aide et vos encouragements lorsque j'en ai eu besoin.

Recevez mes sincères remerciements et ma profonde gratitude.



## DEDICACES

*« De tout mon cœur, Seigneur, je te rends grâce : tu as entendu les paroles de ma bouche.*

*Je te chante en présence des anges, vers ton temple sacré, je me prosterne ».*

*Psaumes 137 : 1-2.*

*« Je veux remercier le SEIGNEUR, je veux remercier le Dieu saint de tout mon cœur !*

*Oui, je veux dire merci au SEIGNEUR, sans oublier un seul de ses bienfaits. »*

*Psaumes 103 : 1-14.*

*« Tout est possible à qui rêve, ose, travaille et n'abandonne jamais ! » Xavier Dolan*

C'est avec une immense joie et le cœur rempli d'émotions que j'écris ces dédicaces. Je ne saurais commencer sans remercier mon Dieu, le Père tout puissant qui me fait la grâce de voir ce jour. Merci Seigneur d'être aux commandes de ma vie. Tu m'as guidé tout au long de mes études de médecine et de ce travail de thèse qui marque l'aboutissement d'un long parcours et la réalisation d'un rêve d'enfant : devenir Docteur. Père Éternel, je te confie la suite de mon parcours afin que par l'intermédiaire de ton Esprit Saint, tu me conduises sur le chemin de bonheur et de réussite que tu souhaites pour moi.

Je dédie ce travail :

A mes parents qui m'ont donné la vie et accompagné avec amour durant toutes ces années.

- A mon feu papa, Docteur Gustave, merci de m'avoir inculqué l'amour de l'école et de l'effort. Merci pour tous les efforts que tu as consentis pour notre éducation et notre réussite. Tu me manques papa, ta présence, ton rire, tes conseils. J'aurai tant aimé partager tous ces événements de la vie avec toi. Je sais que de là-haut tu veilles sur nous. Nous ferons de notre mieux pour te rendre fier.
- A ma formidable maman, Florence, merci d'avoir toujours fait de tes enfants une priorité. Merci de prendre soin de nous comme tu sais si bien le faire. Je garde en mémoire les bons petits plats que tu me concoctais pour me donner l'énergie dans les périodes de révision. Tu es un modèle de femme courageuse, battante, douce, attentionnée et aimante. Merci pour tes prières, ton écoute, tes conseils et tes encouragements.

A mes sœurs Zséno Michèle et Céleste avec qui j'ai grandi et avec qui je partage tout. Vous êtes mes sœurs mais aussi mes meilleures amies. Celles en qui je peux avoir confiance et me confier en toutes circonstances. Merci d'avoir toujours été là pour moi. Merci pour vos prières, conseils et encouragements.

A mon chéri, Willy, je rends grâce à Dieu de t'avoir mis à mes côtés. Tu as toujours été présent pour moi dans les bons moments comme dans les difficultés. Merci pour les efforts que tu consens faire pour le bien être de notre famille. Merci pour ton amour, tes prières, ton soutien infaillible dans tous les projets que j'entreprends. Merci pour tes précieux conseils et tes encouragements tout au long de ces années études et durant ce travail de thèse. Que le Seigneur te bénisse et bénisse notre foyer.

A mon fils, Paul William, tu es mon rayon de soleil. Merci mon bébé d'illuminer ma vie par ta présence, ton sourire, ton rire, ta joie de vivre. Je rends grâce à Dieu pour mon magnifique cadeau du ciel que tu es. Tu es une source inépuisable de motivation et de force pour moi. Je t'aime à l'infini.

A ma belle-famille : papa David, maman Rosaline, mes belles sœurs chéries Davilla et Pamy Laure, mes beaux Ilaimé, Joe (alias Jojo), Clémenceau, Béjodi, mon BFC Darhel, un grand merci pour votre soutien et vos encouragements. Soyez bénis.

A mes tantes et oncles : tata Sidonie, tata Virginie, père Armel, tonton Mathurin, tonton Martial, tonton Arnaud (tonton Doudou), merci d'avoir été là pour moi. Vous avez chacun contribué à la personne que je suis aujourd'hui. Merci pour l'éducation, les prières, le soutien et l'amour que vous m'avez apportés.

Tata mirabelle, tata Mirette : mes tatas de cœur, merci votre soutien et vos encouragements.

A mes proches et amis :

- Fanny, Erica, Aicha, Aurélie, Julie : je suis heureuse d'avoir partagé ces années d'université à Rouen avec vous. Merci pour tous les bons moments que nous avons vécus ensemble. J'espère que notre amitié durera encore de longues années.
- Yannick, mon grand frère, merci pour les moments passés ensemble et nos discussions toujours enrichissantes. Merci pour tes bureaux à Rouen que tu nous prêtas gracieusement pour réviser les WE alors que les BU étaient fermées. Tu m'as marquée par ta grande gentillesse, ta simplicité et ta positivité en toutes circonstances.

Sabine, je suis heureuse de te connaître, merci pour ta joie de vivre communicative, ta gentillesse et tes encouragements.

- Rossinie : tu es une personne formidable « ma choupinette ». Merci pour les éclats de rire, ta gentillesse, ta disponibilité et tes encouragements.
- Stéphanie, Amélie : merci pour les moments passés ensemble, toujours dans la joie et la bonne humeur.

A mes co-internes :

- Victor : nous avons découvert ensemble notre métier de radiologue lors de ce fameux 1<sup>er</sup> semestre à Beauvais. Nous nous sommes tout de suite bien entendus et je suis heureuse de te connaître.
- Jean-François : je garde en mémoire nos conversations et rires en salle d'interprétation ou lors des pauses café. Merci pour ces moments détentes mais aussi pour tes astuces et conseils.
- Margaux : mon acolyte lors des sorties entre collègues. Merci pour ton oreille attentive lorsque j'en ai eu besoin.
- David M, Jean C, Mickael, Andy, Wilfried, Lyliia : je suis contente d'avoir vécu mon internat avec vous. Vous avez chacun contribué à le rendre agréable.
- Et tous mes autres co-internes : David L, Amélie, Antoine, Cyril, Charles V, Yasmine, Justine, Margaux G, Natanyel, Charles B, Victor E, vous avez également contribué de près ou de loin à rendre mon internat agréable, merci.

A mes anciens co-internes devenus jeunes chefs :

- Jessy, Céline, Alexandre, Julie, Amandine, Charlotte, Geoffrey, Quentin, Xavier, Emna, Wesley, Olivier, ... : merci pour votre gentillesse, votre disponibilité pour revoir des examens et les connaissances que vous m'avez transmises.
- Kevin S : il sera difficile pour moi d'oublier la fameuse blague à laquelle j'ai eu droit tous les jours de mon internat « Déesse Dji'ala, T'es djà là ? »

A tous mes chefs de CA, tous les médecins radiologues et manipulateurs que j'ai eu à rencontrer durant mes stages d'internat à Beauvais, au CHU d'Amiens, au GHU de Saint-Anne, au GHPSO, mes sincères remerciements pour tout ce que vous m'avez enseigné.

Enfin, à toutes celles et ceux que je n'ai pas pu citer qui ont eu un impact positif dans ma vie ou dans mes études, un grand merci.



## LISTE DES ABBREVIATIONS

ASC	Aire sous la Courbe
bFFE	Balance Fast Field Echo
DESH	Élargissement disproportionnée des espaces sous-arachnoïdiens
DVP	Dérivation Ventriculo-Péritonéale
ESA	Espace Sous-Arachnoïdien
FIESTA	Fast Imaging Employing Steady-State Acquisition
FLAIR	Fluid Attenuation Inversion Recovery
GE	General Electric medical systems
HCAi	Hydrocéphalie Chronique de l'Adulte idiopathique
IC	Intervalle de Confiance
IRM	Imagerie par Résonance Magnétique
LCS	Liquide Cérébro-spinal
MMSE	Mini Mental State Examination
PIC	Pression Intra Crânienne
PC-IRM	IRM en Contraste de Phase
ROC	Receiver Operating Characteristics
Se	Sensibilité
Sp	Spécificité
SV	Stroke Volume ou volume oscillatoire
SVa	Stroke Volume mesuré au niveau de l'aqueduc de Sylvius
SV <sub>C2-C3</sub>	Stroke Volume mesuré au niveau des ESA cervicaux à hauteur de C2-C3

TE	Temps d'Echo
TR	Temps de Répétition
VPP	Valeur Prédictive Positive
VPN	Valeur Prédictive Négative

# TABLE DES MATIERES

<b>I. INTRODUCTION</b> .....	<b>21</b>
<b>A. GENERALITES SUR L’HCAI</b> .....	<b>21</b>
1. DEFINITION.....	21
2. EPIDEMIOLOGIE .....	21
3. PHYSIOPATHOLOGIE .....	22
<b>B. DIAGNOSTIC DE L’HCAI</b> .....	<b>24</b>
1. CLINIQUE.....	25
2. IMAGERIE .....	26
3. ANALYSES HYDRODYNAMIQUES.....	29
<b>C. TRAITEMENT DE L’HCAI</b> .....	<b>31</b>
<b>D. RATIONNEL ET OBJECTIFS DE L’ETUDE</b> .....	<b>32</b>
<b>II. MATERIELS ET METHODES</b> .....	<b>33</b>
<b>A. CARACTERISTIQUES DE L’ETUDE</b> .....	<b>33</b>
1. TYPE D’ETUDE .....	33
2. CRITERES D’ELIGIBILITE ET D’EXCLUSION .....	33
<b>B. NOTRE PROTOCOLE IRM</b> .....	<b>34</b>
1. IRM MORPHOLOGIQUE .....	34
2. IRM DE FLUX.....	39
<b>C. REALISATION DES TESTS D’INFUSION</b> .....	<b>42</b>
<b>D. GOLD STANDARD ET REPARTITION DES PATIENTS</b> .....	<b>43</b>
<b>E. ANALYSE STATISTIQUE</b> .....	<b>44</b>
<b>III. RESULTATS</b> .....	<b>47</b>
<b>IV. DISCUSSION</b> .....	<b>53</b>
<b>A. CONCORDANCE DE NOS RESULTATS AVEC LA LITTERATURE</b> .....	<b>53</b>
<b>B. LIMITES DE NOTRE ETUDE</b> .....	<b>56</b>
1. LE CHOIX DU GOLD STANDARD .....	56

2. LES DELAIS ENTRE L'IMAGERIE ET LES TESTS D'INFUSION .....	57
3. L'ANALYSE DES IMAGES .....	57
4. LE NOMBRE DE PATIENTS.....	58
<b>C. PERSPECTIVES.....</b>	<b>58</b>
<b>V. CONCLUSION.....</b>	<b>61</b>
<b>VI. ANNEXES.....</b>	<b>63</b>
<b>A. FIGURES .....</b>	<b>63</b>
<b>B. TABLEAUX.....</b>	<b>64</b>
<b>VII. BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>65</b>

## RESUME

### **Confrontation radiologique au test d'infusion dans l'Hydrocéphalie Chronique de l'Adulte idiopathique.**

**Introduction** - L'objectif est d'évaluer l'utilité du diagnostic non invasif basé sur des paramètres d'imagerie par résonance magnétique (IRM) morphologique et de flux en contraste de phase, comparativement au test d'infusion chez des patients suspects d'hydrocéphalie chronique de l'adulte idiopathique (HCAi).

**Matériels et méthodes** – Entre janvier 2020 et décembre 2021, au CHU d'Amiens, 40 patients suspects d'HCAi ont bénéficié d'une IRM incluant des séquences de flux et d'un test d'infusion lombaire avec monitoring de la pression du LCS afin de calculer la résistance à l'écoulement (Rout) du liquide cérébro-spinal (LCS), indicateur prédictif de la réussite potentielle d'une chirurgie par shunt ventriculaire. Les séquences morphologiques d'IRM ont été analysées de manière rétrospective afin de déterminer le score DESH en évaluant l'index d'Evans, l'angle calleux, la compression des espaces sous-arachnoïdiens de la convexité et de la ligne médiane, la dilatation des fissures sylviennes et la dilatation sulcale focale. Les paramètres de flux étudiés étaient : le stroke volume de l'aqueduc (SVa), le stroke volume cervical en C2-C3 (SV<sub>C2-C3</sub>), les stroke volumes vasculaires intra et extra-crâniens et les stroke volumes vasculaires et du LCS intra et extra-crâniens. Les résultats ont été comparés entre 2 groupes de patients répartis en fonction de la valeur du Rout (en mmHg/ml/min) : 15 patients potentiellement non répondeurs au shunt (lorsque Rout < 12) et 25 patients potentiellement répondeurs au shunt (lorsque Rout > 12).

**Résultats** – Chez les patients potentiellement répondeurs, le score DESH était significativement augmenté ( $p < 0,001$ ) avec la présence plus fréquente d'une compression sévère des espaces sous-arachnoïdiens de la convexité et de la ligne médiane. Des dilatations sulcales focales nombreuses étaient également plus fréquentes. L'index d'Evans, l'angle calleux, la dilatation des fissures sylviennes et les paramètres de flux pris indépendamment n'étaient pas significativement différents entre les deux groupes.

**Conclusion** – Nos résultats indiquent que le score DESH est corrélé au Rout. Un score DESH élevé est un argument complémentaire pour la sélection des patients potentiellement répondeurs au shunt. Une analyse individuelle des paramètres de flux ne semble pas être contributive au diagnostic d'HCAi.

**Mots-clés** : Hydrocéphalie chronique de l'adulte idiopathique, score DESH, IRM de flux, stroke volume, test d'infusion, résistance à l'écoulement du LCS.



## SUMMARY

### **Radiological confrontation with the lumbar infusion test in adults idiopathic Chronic Hydrocephalus.**

**Introduction** - The objective is to evaluate the utility of non-invasive diagnosis based on morphologic and phase-contrast flow magnetic resonance imaging (MRI) parameters, compared to lumbar infusion test in adult's patients with suspected idiopathic chronic hydrocephalus (iCH).

**Materials and methods** – Between January 2020 and December 2021, at the University Hospital of Amiens, 40 adult's patients suspected of iCH underwent an MRI including flow sequences and a lumbar infusion test with monitoring of CSF pressure in order to calculate the resistance to outflow (Rout) of cerebrospinal fluid (CSF), a predictive indicator of the potential success of ventricular shunt surgery. Morphological MRI sequences were retrospectively analyzed to determine the DESH score by evaluating the Evans index, callosal angle, compression of the convexity and midline subarachnoid spaces, sylvian fissures dilation and focal sulcal dilation. The flow parameters studied were: the aqueductal stroke volume (SV<sub>a</sub>), the cervical stroke volume in C2-C3 (SV<sub>C2-C3</sub>), the intra and extra-cranial vascular stroke volumes and the intra and extra-cranial vascular and CSF stroke volumes. The results were compared between 2 groups of patients divided according to the Rout value (in mmHg/ml/min): 15 patients potentially non-responsive to the shunt (when Rout < 12) and 25 patients potentially responding to the shunt (when Rout > 12).

**Results** – In potentially responder patients, the DESH score was significantly increased ( $p < 0.001$ ) with the presence more frequently of severe compression of the subarachnoid spaces at high convexity and midline area. Many focal sulcal dilatations were also more frequent. Evans index, callosal angle, sylvian fissure dilation and flow parameters taken independently were not significantly different between the two groups.

**Conclusion** – Our results indicate that DESH score is correlated with Rout. A high DESH score is an additional argument for the selection of patients potentially responsive to the shunt. An individual analysis of flow parameters does not seem to contribute to the diagnosis of iCH.

**Keywords:** Adults idiopathic chronic hydrocephalus, DESH score, flow MRI, stroke volume, lumbar infusion test, CSF flow resistance.



# I. INTRODUCTION

---

## A. Généralités sur l'HCAi

### 1. Définition

L'hydrocéphalie chronique de l'adulte (HCA) est une pathologie définie par une triade clinique comprenant des troubles de la marche, des troubles sphinctériens et des troubles cognitifs, associée radiologiquement à une dilatation ventriculaire avec ou sans altération de la pression intracrânienne (PIC).

Cette pathologie chronique atteint préférentiellement les sujets âgés avec un début entre 60 et 80 ans (âge moyen de 75 ans).

L'hydrocéphalie chronique de l'adulte (anciennement appelé Hydrocéphalie à Pression Normale) a été décrite pour la première fois par Hakim et Adams en 1965 [1]. Ils reportaient une série de cas de 3 patients présentant la triade clinique précédemment décrite associée à une dilatation ventriculaire (ventriculomégalie) et une pression du liquide cébrospinal (LCS) normale à la ponction lombaire, d'où le nom d'« Hydrocéphalie à Pression Normale ».

On distingue 2 grandes catégories d'HCA [2] :

- HCA secondaire (HCAs) : à une hémorragie sous-arachnoïdienne, un traumatisme crânien, une méningite, une tumeur intracrânienne ou intrarachidienne, une malformation de la charnière cervico-occipitale ou des espaces sous-arachnoïdiens (ESA).
- HCA idiopathique (HCAi) : sans cause évidente retrouvée.

Nous nous intéresserons dans notre étude aux hydrocéphalies chroniques de l'adulte idiopathique (HCAi).

### 2. Epidémiologie

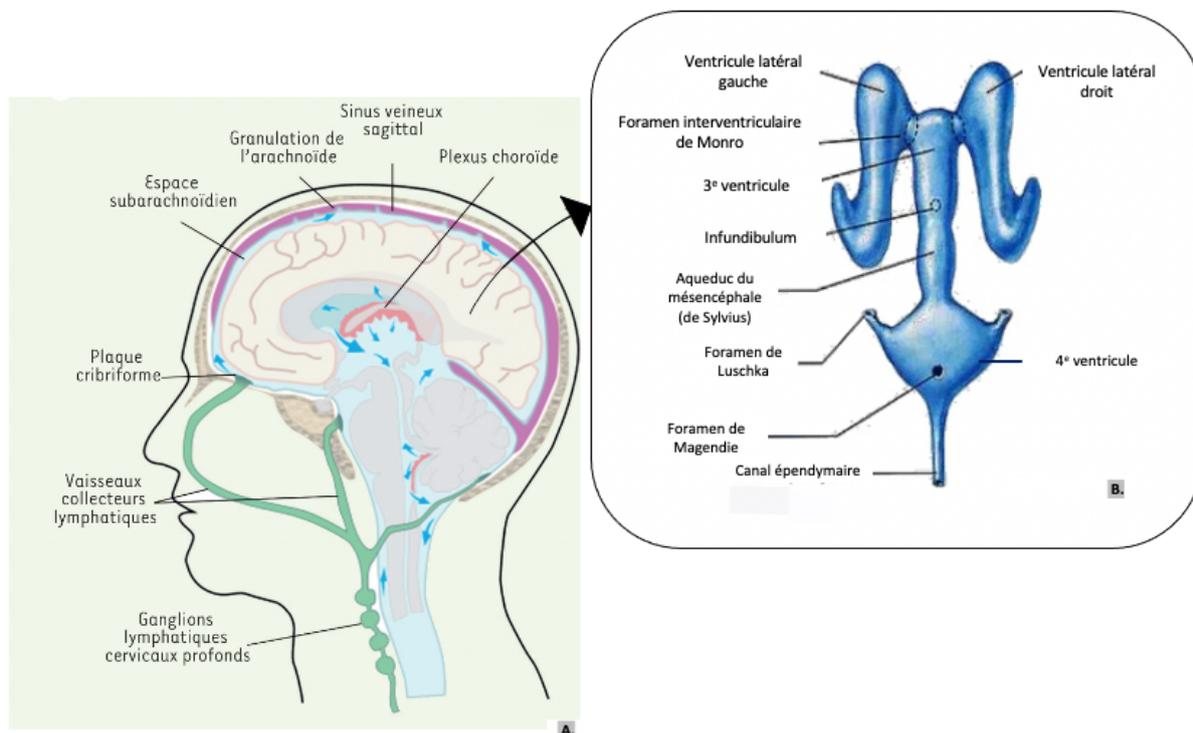
La détermination précise de l'incidence et de la prévalence de l'HCAi est difficile car les données épidémiologiques sont limitées.

Une revue de la littérature de 21 articles publiés jusqu'en 2014 sur l'épidémiologie de l'HCAi, a retrouvé une prévalence moyenne de 1,3 pour 100 habitants chez les sujets âgés de plus de 65

ans, ce qui était presque 50 fois supérieure à la prévalence obtenue lors des enquêtes porte-à-porte sur la maladie de Parkinson [3]. D'après le registre des dérivations posées en France, l'incidence de la forme idiopathique serait de 1,8 nouveaux cas par an pour 100 000 habitants [4]. L'HCAi ne semble pas être une pathologie si rare et est sans doute largement sous-diagnostiquée.

### 3. Physiopathologie

Le mécanisme physiopathologique de l'hydrocéphalie chronique de l'adulte idiopathique (HCAi) n'est pas encore clairement connu. Nous savons que l'HCAi est la conséquence d'un trouble de l'hydrodynamique du liquide cérébro-spinal (LCS) à l'origine d'une augmentation de son volume dans le système ventriculaire intracérébral.



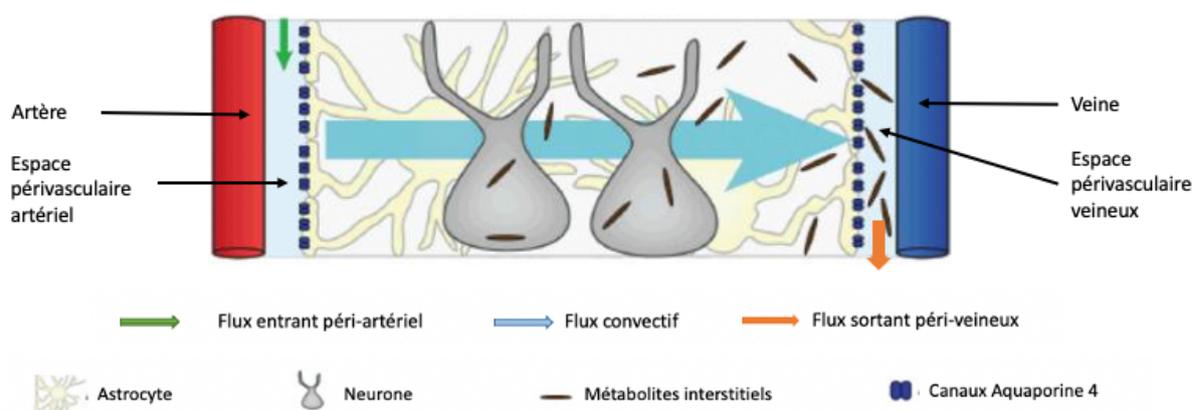
**Figure 1** : Schéma de la circulation du liquide cérébro-spinal (A) en vue sagittale et de l'anatomie des systèmes ventriculaires (B) en vue coronale.

A : Extrait de l'article *Système lymphatique et cerveau*, <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02970139/document>.

Pour rappel, le LCS (en bleu) est un liquide clair dans lequel baigne l'encéphale et la moelle épinière. Il est contenu dans le système ventriculaire et les espaces sous-arachnoïdiens cérébraux et spinaux. Nous avons classiquement appris que le LCS est produit par les plexus choroïdes dans les ventricules latéraux et le quatrième ventricule à partir du sang. Il passe dans

le troisième ventricule par les foramens interventriculaires de Monro (un droit et un gauche), puis rejoint le quatrième ventricule en passant par l'aqueduc du mésencéphale. Le LCS quitte le système ventriculaire au travers les foramens de Luschka (un droit et un gauche) et de Magendie (unique et médian) et se dirige vers les espaces sous-arachnoïdiens péri cérébraux et péri-médullaires. Le LCS rejoint ensuite les ESA de la convexité, où il est réabsorbé. Le principal site de réabsorption est localisé au sein du sinus veineux sagittal supérieur à travers les granulations arachnoïdiennes (ou encore granulations de Pacchioni).

Depuis la découverte par Iliff et al. en 2012 du système lymphatique cérébral appelé « système glymphatique », nous savons que le LCS pénètre dans le parenchyme cérébral [5]. En effet, le LCS pénètre dans le cerveau via les espaces périvasculaires situés le long des artères et traverse l'interstitium cérébral pour y drainer les métabolites intra parenchymateux. La circulation intracérébrale du LCS serait favorisée par le flux convectif lié à l'activité de canaux perméables aux solutions aqueuses composés d'aquaporine 4 localisés exclusivement sur les pieds astrocytaires entourant les vaisseaux (figure 2). Le LCS ressort avec les métabolites du parenchyme cérébral le long des espaces périvasculaires des veines. Il est ensuite éliminé dans les sinus veineux via les granulations arachnoïdiennes, mais aussi dans les vaisseaux lymphatiques situés dans la dure-mère au contact des sinus veineux intracrâniens. Le système lymphatique méningé constitue donc une autre voie de réabsorption du LCS via la plaque cribreuse olfactive, et le long de la gaine des nerfs crâniens (figure 1).



**Figure 2 :** Schéma illustrant le système glymphatique cérébral normal ©(Iliff et al. 2012).

La circulation du LCS est pulsatile en réponse aux périodes systoliques et diastoliques du cycle cardiaque. Selon la loi de Monro-Kellie [6], le système nerveux central intracrânien, ses arborescences artérielles et veineuses, et les différents compartiments du LCS sont contenus

dans une structure ostéo-durale inextensible : la boîte crânienne. Toute augmentation de volume d'un des compartiments se fait aux dépens des autres, et doit donc être compensée par le retrait d'un volume égal dans l'un des deux autres compartiments afin de maintenir une pression intracrânienne (PIC) constante. Chacun de ces compartiments peut être caractérisé par sa compliance (C), témoin de sa distensibilité. Elle correspond à l'augmentation de pression qui se produit dans un système lorsqu'un volume lui est ajouté.  $C = \Delta V / \Delta P$ .

Pendant la systole, le sang artériel afflue rapidement dans le cerveau. Le cerveau et le système vasculaire artériel intracrânien s'expandent à la fois vers l'extérieur comprimant les veines corticales et les espaces sous-arachnoïdiens péri-cérébraux et, vers l'intérieur, comprimant le système ventriculaire cérébral. Le LCS est alors chassé vers le canal spinal. Il s'agit du flux systolique crânio-caudal [7, 8].

Pendant la diastole, le flux artériel diminue. Le flux veineux cérébral devient supérieur au flux artériel entraînant une baisse du volume du cerveau et une dépression qui stoppe la chasse du LCS et inverse son flux. Le LCS remonte alors dans le compartiment intracrânien via le foramen magnum et dans le système ventriculaire par les foramens de Luschka, Magendie et l'aqueduc de Sylvius. C'est le flux diastolique caudo-crânial [7, 8].

Dans l'HCAi, il est bien admis que le déséquilibre entre la production et la résorption du LCS n'est pas lié à une surproduction de LCS. Parmi les hypothèses postulées, citons un trouble de la résorption liquidienne lié au vieillissement des leptoméniges et du système villositaire avec l'âge, un changement de la compliance cérébrale à la pulsation liquidienne ainsi que des facteurs vasculaires et génétiques. Des altérations du fonctionnement du système glymphatique pourraient être impliqués dans la pathogénie de l'HCAi [9].

## **B. Diagnostic de l'HCAi**

Le diagnostic pré-thérapeutique de l'hydrocéphalie chronique de l'adulte idiopathique (HCAi) est complexe et jusqu'à ce jour non consensuel. Dans la plupart des centres, elle repose sur une évaluation multidisciplinaire incluant des données cliniques, d'imagerie et hydrodynamiques. L'objectif étant de classer les patients en HCAi probable, possible ou improbable.

Le diagnostic final étant établi par convention après traitement devant une amélioration significative des symptômes.

## 1. **Clinique**

L'HCAi se manifeste cliniquement par une triade de symptômes typiques mais non spécifiques comprenant : troubles de la marche, troubles sphinctériens et troubles cognitifs. Le début est habituellement insidieux, après l'âge de 40 ans. L'évolution spontanée se fait vers une aggravation progressive en l'absence de traitement d'où l'importance d'un diagnostic le plus précoce possible [10].

### ***Troubles de la marche***

Les troubles de la marche sont les plus fréquents (présents chez environ 88% des patients) et surviennent généralement parmi les premiers symptômes de la maladie [11].

Ils se caractérisent essentiellement par : une diminution de l'amplitude du pas (marche à petits pas), une diminution de la vitesse de marche, une instabilité posturale avec tendance à la rétroimpulsion et des difficultés lors de la rotation autour de l'axe du corps.

Un examen standardisé de la marche permet d'objectiver ces anomalies, par exemple le « Timed Up and Go test » (TUG) sur 3 mètres.

### ***Troubles sphinctériens :***

Fréquents (75% des patients) et précoces, ils sont dominés par des symptômes urinaires pouvant aller de l'urgenterie ou pollakiurie à l'incontinence urinaire. Ces symptômes sont en lien avec une hyperactivité du muscle détroisor qui peut être objectivée lors de tests urodynamiques [12]. A des stades très avancés de la maladie, une incontinence fécale peut survenir.

### ***Troubles cognitifs et démence***

Des troubles cognitifs sont observés chez près de 83% des patients atteints d'HCAi, bien que ceux-ci n'apparaissent généralement qu'à un stade avancé de la maladie.

Les symptômes sont ceux d'une démence sous-corticale typique et aspécifique avec au premier plan une bradyphrénie (ralentissement global des fonctions mentales), des troubles de l'attention, des troubles mnésiques. Au stade évolué, des troubles exécutifs, visuo-spatiaux et des troubles du comportement peuvent également survenir [13].

Le « Mini-Mental Status Examination » (MMSE) est un bon test de dépistage du déficit cognitif. Néanmoins il doit être complété par un bilan neuropsychologique plus spécifique, réalisé par un neuropsychologue ou un orthophoniste à l'aide de différents tests standardisés.

La triade clinique classiquement précédemment décrite n'est présente de manière complète que chez environ 50% des patients. Dans 12% des cas, elle se manifeste de manière monosymptomatique par des troubles de la marche.

L'établissement du diagnostic clinique d'une HCAi probable nécessite la présence de deux symptômes principaux de la triade de Hakim, un âge supérieur à 40 ans, un début insidieux, une évolution progressive avec une durée de symptômes supérieure à 3 mois, et l'exclusion des principaux diagnostics différentiels. On parle d'HCAi possible sur le plan clinique en présence d'au moins des symptômes de la triade, non entièrement expliqué par d'autres maladies du patient, survenu après l'âge de 40 ans [10].

## **2. Imagerie**

### ***a) IRM morphologique dans l'HCAi***

Devant un patient présentant une symptomatologie clinique évocatrice d'HCAi, l'Imagerie par Résonance Magnétique (IRM) est l'examen de choix pour l'évaluation morphologique.

De nombreux critères d'imagerie ont été proposés afin de diagnostiquer l'HCAi dans le but de sélectionner les patients éligibles au traitement. Ces critères varient selon les centres et comprennent classiquement (1) un index d'Evans augmenté ( $> 0,3$ ), (2) l'absence d'obstruction à l'écoulement du LCS et (3) la présence d'au moins un des critères suivants : un angle calleux rétréci, un élargissement des cornes temporales des ventricules latéraux non entièrement due à l'atrophie hippocampique, des hypersignaux de la substance blanche périventriculaire, un artéfact de flux en regard de l'aqueduc de Sylvius ou du 4<sup>e</sup> ventricule. Malgré tous ces marqueurs d'imagerie, l'HCA idiopathique reste régulièrement difficile à différencier du vieillissement normal et des démences vasculaires dans lesquelles ces anomalies radiologiques peuvent aussi être présents.

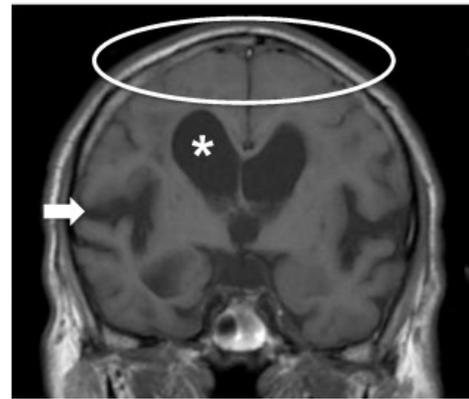
En 1998, le critère DESH [*élargissement disproportionné des espaces sous-arachnoïdien (en anglais, DESH : Disproportionately Enlarged Subarachnoid space Hydrocephalus)*] a été décrit pour la première fois par l'équipe japonaise de Kitagaki et al sur une imagerie cérébrale [14].

Cela correspond à la coexistence chez un même patient de ventricules dilatés et de grandes fissures sylviennes contrastant avec des espaces sous-arachnoïdiens serrés au niveau de la haute convexité et de la ligne médiane. Ils ont prouvé dans leur étude utilisant des données de volumétrie des espaces du LCS que la présence du critère DESH était en faveur du diagnostic d'HCAi. Ils ont également rapporté qu'un élargissement des citernes de la base, des fissures sylviennes dilatées et des sillons focalement dilatés sont des caractéristiques de l'HCAi.

En 2010, l'étude prospective multicentrique SINPHONI (Study of Idiopathic Normal Pressure Hydrocephalus on Neurological Improvement), a permis de confirmer la valeur diagnostique du critère DESH en démontrant sa haute valeur prédictive positive (80%) pour l'identification des patients répondeurs au traitement par shunt [15].

En 2017, Shinoda et al ont développé un score radiologique non invasif, le score DESH, afin de prédire la réponse au traitement par dérivation ventriculaire des patients atteints d'HCAi [16]. Ce score comprend 5 items notés de 0 à 2 points : l'index d'Evans, l'angle calleux, la compression des espaces sous-arachnoïdiens de la haute convexité et de la ligne médiane, la dilatation des fissures sylviennes et la dilatation sulcale focale. Ils ont rapporté qu'un score DESH élevé (> 6/10) a une importante valeur prédictive positive (74%) de l'amélioration neurologique après intervention chirurgicale de l'HCAi et est donc utile au diagnostic.

Le score DESH est actuellement admis dans la littérature internationale mais n'est pas encore communément utilisé en pratique courante par de nombreux hôpitaux.



**Figure 3 :** Coupe coronale T1 illustrant le critère DESH.

*Ventricules élargis (\*), fissures sylviennes dilatées (flèche) et compression sévère des espaces sous-arachnoïdiens de la haute convexité et de la ligne médiane (cercle ovale).*

***b) IRM de flux***

L'IRM en contraste de phase ou IRM de flux est une méthode d'imagerie non invasive largement utilisée pour mesurer la pulsatilité et la vitesse du LCS dans l'aqueduc du mésencéphale, en synchronisant l'acquisition des images avec le cycle cardiaque.

Bradley et Al ont été les premiers à démontrer des anomalies de flux du LCS dans l'hydrocéphalie chronique de l'adulte avec notamment un hyper dynamisme du LCS à travers l'aqueduc, mesuré par un volume d'éjection systolique du LCS dans l'aqueduc (Stroke Volume aqueducal ou SVa) élevé. Le SVa a été défini comme le volume moyen de LCS circulant de manière cranio-caudale pendant la systole et caudo-crânienne pendant la diastole. Il est aussi appelé volume oscillatoire. Une valeur élevée (supérieur à 42  $\mu$ L) était significativement corrélée à une réponse favorable au traitement par shunt avec une valeur prédictive positive initialement décrite de 100 % et une valeur prédictive négative de 50 % [17].

Plusieurs autres études ont depuis lors étudié ce concept mais ils présentent des résultats contradictoires. Certaines études récentes ne retrouvaient pas de corrélation significative entre le SVa et la réponse au traitement, et donc ne soutenaient pas l'utilisation du SVa comme marqueur pronostique du résultat chirurgical [18, 19]. Dans l'étude prospective de Shanks et Al [20] comparant les paramètres de débit de LCS chez les patients atteints d'HCAi et des témoins sains, il a été démontré que le SVa était significativement plus élevé dans le groupe patients. Une corrélation significative négative entre le SVa et l'angle calleux, ainsi qu'une diminution du SVa après shunt étaient également retrouvée. Cependant, le SVa préopératoire n'était pas corrélé à l'amélioration clinique après la chirurgie de shunt chez les patients atteints d'HCAi.

Bien que l'utilisation du SVa seul est controversé du fait de réserve lié au chevauchement des valeurs entre patients et témoins, les dernières directives de pratique de l'American Academy of Neurology [21] suggèrent que les patients ayant un débit aqueducal plus élevé sont plus susceptibles de répondre au shunt.

Par ailleurs, l'analyse d'autres paramètres de flux notamment le flux de LCS à l'étage cervical et les flux vasculaires intra et extra-crâniens a été préconisée par certains auteurs afin de mieux appréhender l'hydrodynamique cérébrospinale, les flux vasculaires étant le moteur des flux de LCS [22, 23].

### 3. Analyses hydrodynamiques

#### a) *Ponction Lombaire évacuatrice*

En cas de tableau clinique et d'imagerie évocateur, une ponction lombaire évacuatrice est généralement effectuée. Le principe est de réaliser une évacuation de 30–50 ml de LCS afin de simuler l'effet de l'implantation d'un shunt dans le but d'évaluer le bénéfice potentiel d'une dérivation ventriculaire.

Une amélioration clinique peut débuter quelques heures (voire minutes) après la ponction et peut persister pendant 1 à 3 jours. Une réponse pour les troubles de la marche est typiquement observée. Un test positif présente une valeur prédictive élevée (73–100%) pour une sensibilité toutefois faible (26–61%) à l'origine de faux négatifs [24, 25]. En d'autres termes, l'amélioration clinique après ponction est corrélée à un bon résultat après dérivation permanente du LCS, mais bien que n'ayant tiré aucun bénéfice de la PL soustractive, un bon nombre de patient (40 à 70%) sera tout de même amélioré par une dérivation permanente du LCS. Par conséquent, la négativité d'une ponction évacuatrice ne peut être suffisante pour récuser l'indication d'une dérivation.

#### b) *Drainage lombaire externe prolongé*

La constatation de faux négatifs avec la ponction lombaire évacuatrice a conduit certaines équipes à mettre en place comme test complémentaire, un drainage lombaire externe prolongé du LCS. Cela consiste en une évacuation d'environ 100 cc quotidien de LCS pendant en moyenne 3 – 4 jours (retrait total moyen de 500 ml de LCS).

La sensibilité de cette méthode est supérieure à celle de la PL soustractive ( $\geq 90\%$ ) avec une VPP très élevée (de 80 à 100%) [25]. Cependant, elle nécessite une hospitalisation et présente deux principaux inconvénients : la morbidité plus élevée (notamment le risque infectieux) et l'impossibilité de tester les troubles de la marche pendant la période de drainage.

#### c) *Test d'infusion lombaire*

Le test d'infusion lombaire (ou test de perfusion intrathécale) a été développé dans les années 1970 par Marmarou et Al [26]. Cela consiste en l'administration par perfusion intrathécale d'un volume contrôlé de NaCl 0,9% (équivalent d'un LCS artificiel) avec mesure concomitante de la pression intracrânienne (PIC). Le but est d'évaluer l'adéquation des capacités de réabsorption

du LCS. Ce test est indiqué dans les cas fréquents de non réponse ou de doute thérapeutique après ponction lombaire évacuatrice.

Les principaux paramètres étudiés sont : la pression intracrânienne, son amplitude, la résistance à l'écoulement du LCS (*Rout* : *Resistance to outflow en anglais*) et la compliance de l'enceinte crano-spinale estimée par l'indice pression-volume [27]. Parmi ces derniers, le paramètre ayant la plus forte valeur pronostique est la résistance à l'écoulement du LCS (« *Rout* » en mmHg/[ml/min]), reflet de l'impédance des mécanismes de drainage du LCS (volume de LCS qui peut être résorbé par unité de temps). Le *Rout* est égal à l'augmentation effective de la pression intracrânienne (PIC plateau – PIC de base) divisée par le débit de perfusion.

Chez les patients atteints d'HCAi, le *Rout* est typiquement accrue indiquant une capacité de résorption réduite. Le test est considéré comme pathologique si le *Rout* est supérieur à 12 mmHg/ml/min [28]. Entre 12 à 14 mmHg/ml/min, la valeur prédictive positive (VPP) du test serait de l'ordre de 80 %. Ainsi, 80% des patients avec un *Rout* supérieur à 12 seraient améliorés par la dérivation. La VPP du test peut atteindre 92% si la valeur seuil du *Rout* est à 18 mmHg/ml/min et 100% si la valeur seuil du *Rout* est à 20 mmHg/ml/min comme le montre l'étude prospective multicentrique randomisée de Boon et Al [29]. Une méta-analyse ayant évalué tous les seuils proposés dans la littérature (10, 12, 15 et 18 mmHg/ml/min) a montré que le seuil de 12 mmHg/ml/min était le meilleur pour la sélection des patients potentiellement répondeurs à la chirurgie avec une précision de 73%, une sensibilité de 80% et une spécificité modérée de 47% [30].

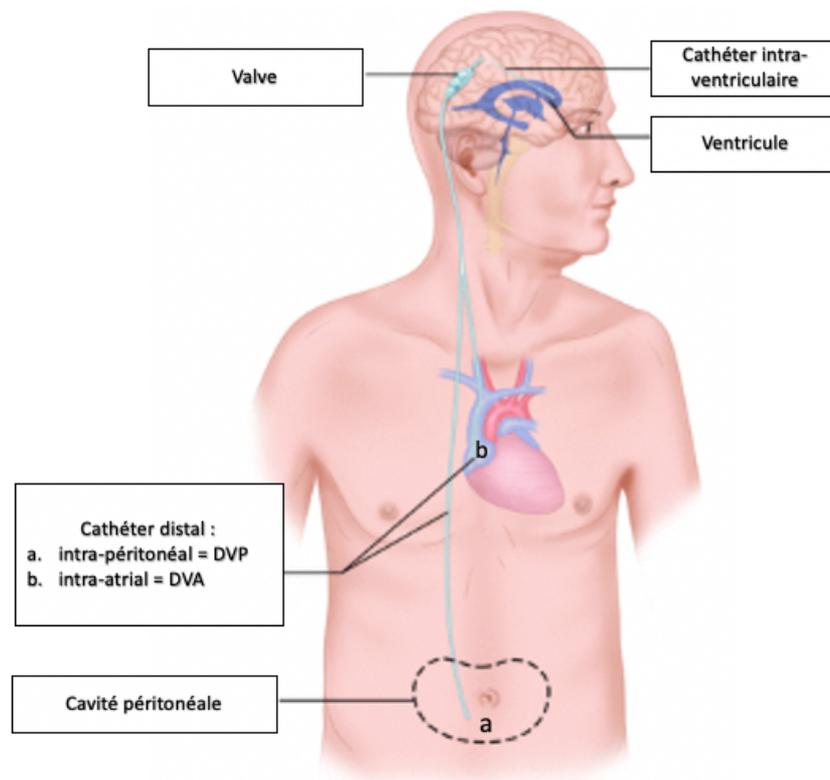
Cependant, dans l'étude multicentrique européenne de Wikkelsø et Al, la valeur prédictive négative du *Rout* ne dépassait jamais 19 % [31].

Au regard de ces éléments, les directives de pratique publiées en 2015 par l'académie Américaine de Neurologie [21] ont conclu qu'une augmentation pathologique de la résistance à l'écoulement du LCS est prédictive d'un meilleur résultat chirurgical. Le *Rout* peut donc être utilisé pour sélectionner les patients éligibles pour la chirurgie de shunt, mais pas pour exclure les patients du traitement étant donné qu'un *Rout* plus faible n'empêche pas la réactivité du shunt.

## C. Traitement de l'HCAi

Le traitement de l'hydrocéphalie chronique de l'adulte idiopathique est neurochirurgical et repose sur une dérivation permanente du LCS.

**La dérivation ventriculaire interne** est le traitement de choix dans cette hydrocéphalie non obstructive. Elle consiste à implanter un drain dans un des ventricules et à le connecter à une valve de dérivation qui permet de réguler le drainage. Le LCS est ensuite dérivé soit vers le péritoine qui a la propriété de réabsorber le LCS (dérivation ventriculo-péritonéale, DVP), soit vers les cavités cardiaques droites (dérivation ventriculo-atriale, DVA).



**Figure 4** : Schéma illustrant les dérivations ventriculaires internes. (a) dérivation ventriculo-péritonéale (DVP) et (b) dérivation ventriculo-atriale (DVA) selon la position du cathéter distal.

Source: © [https://doi.org/10.1007/978-981-10-6304-6\\_9](https://doi.org/10.1007/978-981-10-6304-6_9)

**La dérivation ventriculaire externe** est une solution exceptionnelle réservée aux situations où la pose d'un matériel étranger n'est pas possible (infection en cours, LCS hémorragique). Le drain ventriculaire est connecté à un système de recueil externe. C'est une solution transitoire exposant le patient à un risque infectieux important.

Une alternative en cas de contre-indication absolue ou de refus de la chirurgie serait la réalisation de **pontions lombaires soustractives répétées** +/- associées à un traitement médicamenteux par acétazolamide pour son action inhibitrice sur la sécrétion plexuelle.

Le résultat de la dérivation ventriculaire est une amélioration globale significative du tableau clinique. Elle est plus importante et plus durable pour les troubles de la marche ( $\geq 80\%$ ) que pour les troubles sphinctériens et cognitifs [32]. Les complications possibles sont principalement dominées par les risques infectieux et hémorragiques avec un risque d'évènements indésirables graves de 11% et un taux de mortalité de 2,3 à 7,5% [33].

## **D. Rationnel et objectifs de l'étude**

L'hydrocéphalie chronique de l'adulte idiopathique (HCAi) constitue un défi diagnostique et thérapeutique majeur. En effet, il s'agit d'une des seules causes de démence curable avec une amélioration clinique retrouvée chez 80% des patients à 1 an si l'indication chirurgicale est bien posée.

Cette pathologie reste malheureusement sous-diagnostiquée en France notamment chez les personnes âgées du fait de comorbidités et de symptômes cliniques pouvant être communs avec d'autres pathologies. Les patients souffrant d'HCAi sont souvent diagnostiqués à tort comme maladie d'Alzheimer ou autres maladies neurodégénératives. Cela est à l'origine de coûts évitables et d'une perte de chance pour le patient. D'autre part, un diagnostic en excès d'HCAi serait à l'origine d'une prise en charge inadaptée au bout de laquelle le patient pourrait subir un traitement chirurgical injustifié avec une morbi-mortalité non négligeable.

A l'heure actuelle, il n'existe aucun consensus sur les critères diagnostiques de l'HCAi ni sur les critères permettant de poser l'indication chirurgicale. Or le diagnostic fiable de l'HCAi par des techniques d'imagerie non invasive permettrait d'améliorer la prise en charge des patients en les orientant vers un parcours de soins spécialisé adapté et ainsi d'améliorer significativement leur qualité de vie.

L'objectif de notre étude est d'évaluer l'utilité du diagnostic non invasif basé sur des paramètres d'imagerie par résonance magnétique morphologique et de flux en contraste de phase, comparativement au test d'infusion lombaire chez des patients suspects d'hydrocéphalie chronique de l'adulte idiopathique.

## II. MATÉRIELS ET MÉTHODES

---

### A. Caractéristiques de l'étude

#### 1. Type d'étude

Il s'agit d'une étude rétrospective monocentrique, basée sur les données de patients du Centre Hospitalier et Universitaire d'Amiens, de 2020 à 2021. Cette étude s'intègre dans le cadre du Projet REVERT, projet transfrontalier entre la France et l'Angleterre, déclarée à la Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés (CNIL) ayant pour objectif d'améliorer les soins et la qualité de vie des patients atteints d'hydrocéphalie active (<https://revertproject.org/fr/what-is-normal-pressure-hydrocephalus>).

#### 2. Critères d'éligibilité et d'exclusion

##### a) *Critères d'éligibilité*

Nous avons colligé les données de tous les patients avec une suspicion clinique d'hydrocéphalie chronique de l'adulte définie par la présence d'au moins un des symptômes de la triade de Hakim (troubles de la marche, troubles cognitifs, troubles sphinctériens), ayant bénéficiés d'un test d'infusion et ayant été explorés par IRM morphologique et de flux, au CHU d'Amiens sur la période de janvier 2020 à décembre 2021.

Initialement, 87 patients étaient éligibles.

##### b) *Critères d'exclusion*

Les critères d'exclusion étaient :

- Le caractère congénital ou développemental de l'hydrocéphalie : 1
- Le caractère secondaire de l'hydrocéphalie : 25  
(*Sténose de l'aqueduc, hémorragie méningée, méningite, tumeur cérébrale, ...*)
- L'absence d'imagerie par IRM ou IRM incomplète : 7
- L'absence de test d'infusion pré-thérapeutique : 12

Parmi les 42 patients restants, les dossiers informatiques n'ont pas été retrouvés pour 2 patients.

Au final, 40 patients étaient inclus.

## B. Notre protocole IRM

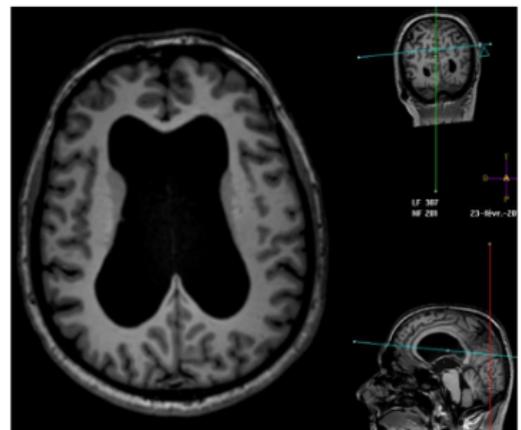
Les examens IRM ont été réalisés sur un appareil 1.5T ou 3T (Signa ; General Electric Medical System, Milwaukee, WI). Le protocole était composé de séquences morphologiques de l'encéphale puis de séquences de flux en contraste de phase du LCS et vasculaire.

### 1. IRM morphologique

#### a) *Les séquences*

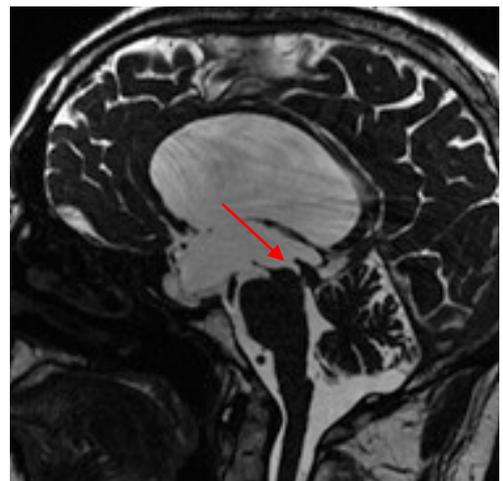
Les séquences morphologiques comprenaient :

- **Séquence 3D T1 Echo de Gradient** : pour l'étude en 3D de la morphologie du parenchyme cérébral et des espaces liquidiens intra- et péri-cérébraux.



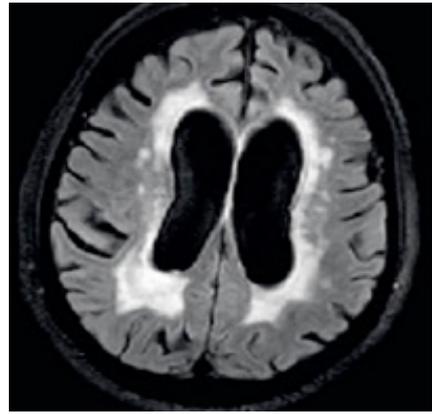
*Figure 5 : Séquence morphologique 3D T1*

- **Séquence 3D FIESTA (ou bFFE), coupes fines** (épaisseur de coupe < 1 mm) : le but étant d'éliminer un obstacle à la circulation du LCS notamment éliminer une éventuelle sténose de l'aqueduc du mésencéphale.



*Figure 6 : Coupe sagittale FIESTA chez un patient avec une sténose de l'aqueduc (membrane fléchée en rouge)*

- **Séquence axiale 3D FLAIR** : à la recherche des hypersignaux FLAIR de la substance blanche périventriculaire en rapport avec l'hydrocéphalie, traduisant la résorption trans-épendymaire et éventuellement de la leucopathie vasculaire associée. Elle permet également la recherche de séquelles ischémiques éventuelles.



**Figure 7** : Coupe axiale FLAIR montrant des hypersignaux T2 FLAIR de la substance blanche périventriculaire.

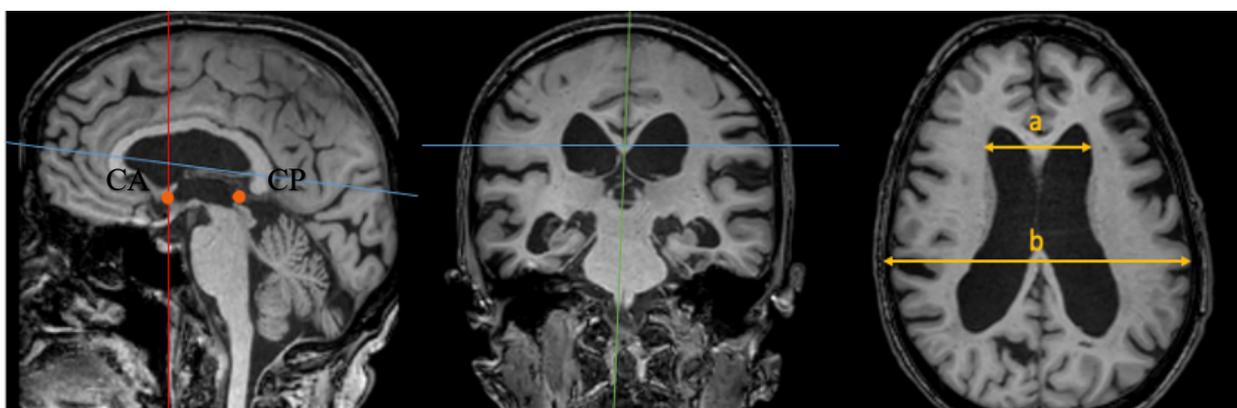
### **b) Post-traitement et calcul du score DESH**

Les images ont été analysées grâce au logiciel de post-traitement AW Server 3.2 (GE Healthcare, Milwaukee, Wis) en épaisseur de coupe de 2,5 mm, en fenêtrage crane (W1000, L500). Aucun filtre d'affichage n'a été utilisé.

Les différentes mesures ont été réalisées par 2 opérateurs : 1 radiologue spécialisé en neuro-imagerie et 1 interne en radiologie en 4<sup>e</sup> année de spécialisation.

#### **La ventriculomégalie**

La ventriculomégalie ou dilatation ventriculaire, évaluée par l'index d'Evans est le critère indispensable au diagnostic d'HCA. Il est mesuré dans le plan axial sur une coupe parallèle au plan passant par le plan commissure antérieure – commissure postérieure (CA-CP). Il correspond au rapport entre le diamètre maximal des cornes frontales des ventricules latéraux (a) sur le diamètre interne bipariétal (b) sur la même coupe (figure 8) [34].



**Figure 8** : Séquence 3D T1 illustrant la méthode de calcul de l'index d'Evans.

La ventriculomégalie était classée comme suit : 0 = normal (indice d'Evans < 0,3) ; 1 = légère dilatation (indice d'Evans 0,3–0,35) ; ou 2 = dilatation (indice d'Evans > 0,35).

### L'angle calleux

L'angle calleux correspond à l'angle entre les ventricules latéraux mesuré dans le plan coronal perpendiculaire au plan des commissures antérieure et postérieure, passant par la commissure postérieure [35].

L'angle était coté - 0 : obtus (> 100°) ; 1 : ni aiguë ni obtus (90°–100°) ; 2 : aigu (< 90°).

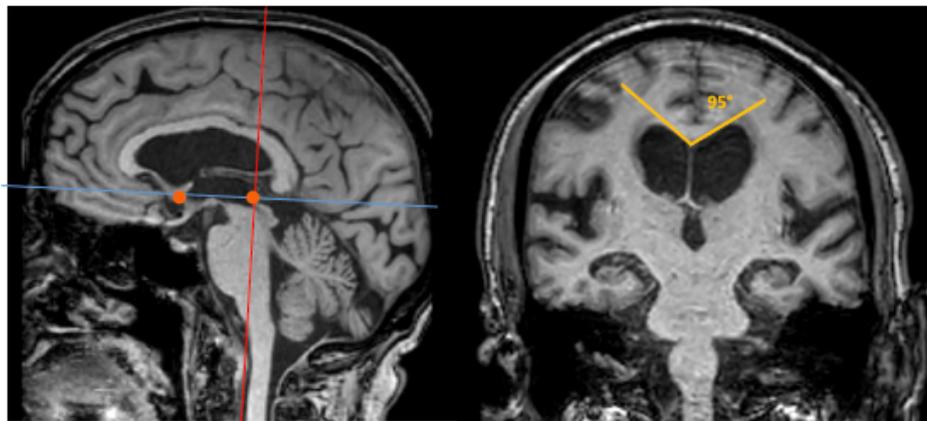


Figure 9 : Coupes sagittale et coronale T1 montrant la méthode de détermination de l'angle calleux

### La compression des espaces sous-arachnoïdiens de la convexité et de la ligne médiane

La compression des espaces sous-arachnoïdiens de la convexité et de la ligne médiane a été évalué dans le plan coronal sur les coupes situées en avant de la commissure postérieure, ou dans le plan axial sur les coupes supérieures [36].

Elle a été classée comme suit : 0 : normal ou plus large que la normale ; 1 : légère compression ; ou 2 : compression sévère.

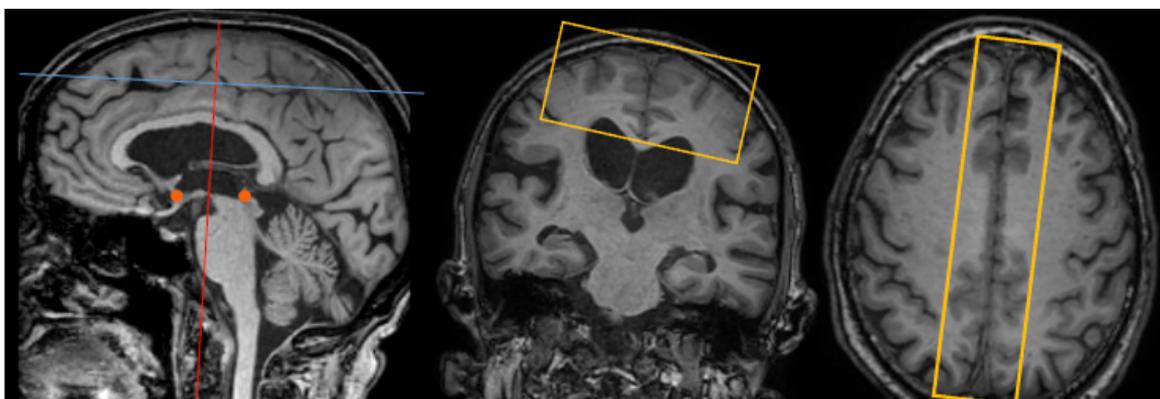
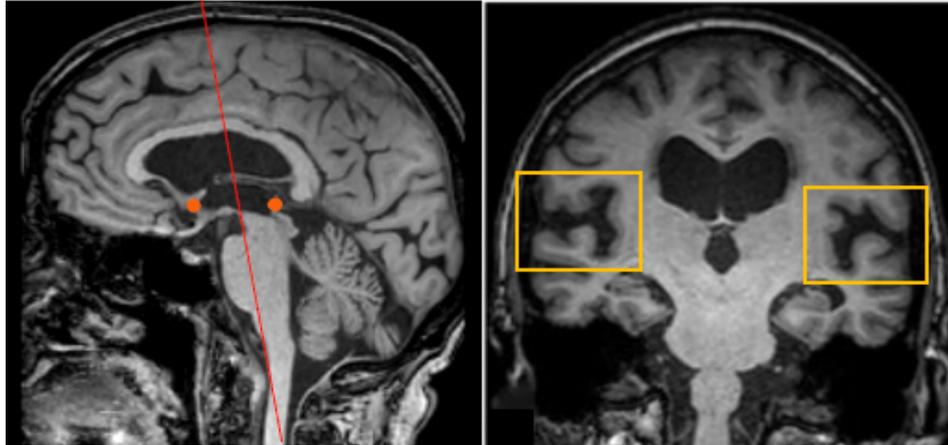


Figure 10 : Coupes 3D T1 montrant la méthode d'évaluation de la compression des sillons de la convexité.

### La dilatation des fissures sylviennes

La dilatation des fissures sylviennes est évaluée dans le plan coronal dans l'axe du tronc cérébral sur les coupes passant au niveau de la partie centrale du tronc cérébral [37].

La dilatation était évaluée comme suit : 0 : *normal ou étroit* ; 1 : *légère dilatation ou unilatérale* ; ou 2 : *dilatation bilatérale*.

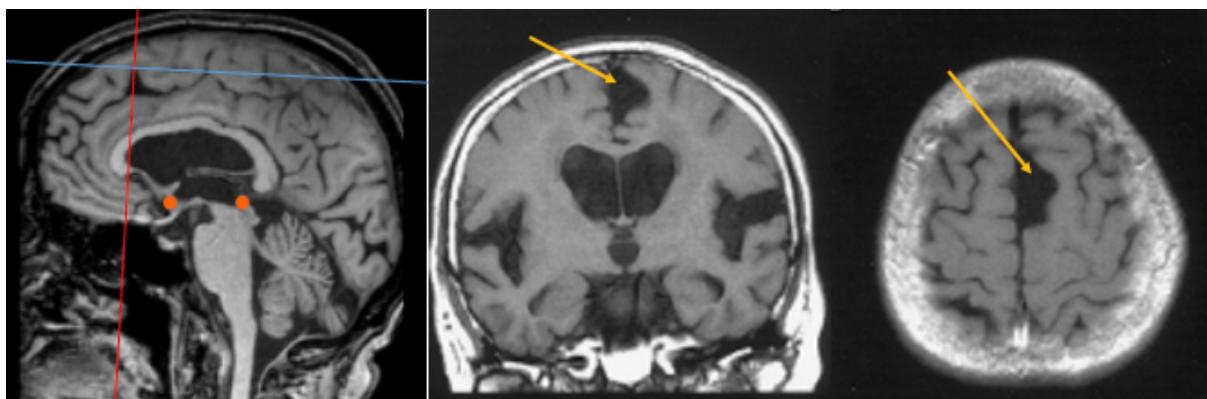


*Figure 11 : Coupes sagittale et coronale T1 montrant la méthode d'évaluation de la dilatation des fissures sylviennes.*

### La dilatation sulcale focale

La dilatation focale de sillons liée à une accumulation de LCS dans les sillons était évaluée dans le plan axial et en coronal sur les coupes supérieures passant par les lobes frontaux et pariétaux [16].

Elle était graduée comme suit : 0 : *pas de sillon dilaté* ; 1 : *certains sillons dilatés* ; 2 : *nombreux sillons dilatés*.



*Figure 12: Coupes 3D T1 montrant une dilatation focale d'un sillon de la convexité frontale (flèches).*

Les points obtenus après l'évaluation des cinq paramètres sus-décrits pour chaque patient ont été ensuite additionnés afin d'obtenir le **score DESH** du patient.

<p><b>Ventriculomégalie</b></p> <p>0 : normal (<math>IE &lt; 0,3</math>)            1 : légère dilatation (<math>IE : 0,3-0,35</math>)            2 : dilatation (<math>IE &gt; 0,35</math>)</p>	<p>0</p>	<p>1</p>	<p>2</p>
<p><b>Angle calleux</b></p> <p>0 : obtus (<math>&gt; 100^\circ</math>)            1 : ni aiguë ni obtus (<math>90^\circ-100^\circ</math>)            2 : aigu (<math>&lt; 90^\circ</math>).</p>	<p>0</p>	<p>1</p>	<p>2</p>
<p><b>Compression des sillons de la convexité</b></p> <p>0 : normal ou plus large que la normale            1 : légère compression            2 : compression sévère</p>	<p>0</p>	<p>1</p>	<p>2</p>
<p><b>Dilatation des fissures sylviennes</b></p> <p>0 : normal ou étroit            1 : légère dilatation ou unilatérale            2 : dilatation bilatérale.</p>	<p>0</p>	<p>1</p>	<p>2</p>
<p><b>Dilatation sulcale focale</b></p> <p>0 : absents            1 : certains sillons dilatés            2 : nombreux sillons dilatés.</p>	<p>0</p>	<p>1</p>	<p>2</p>

Tableau 1 : Score DESH

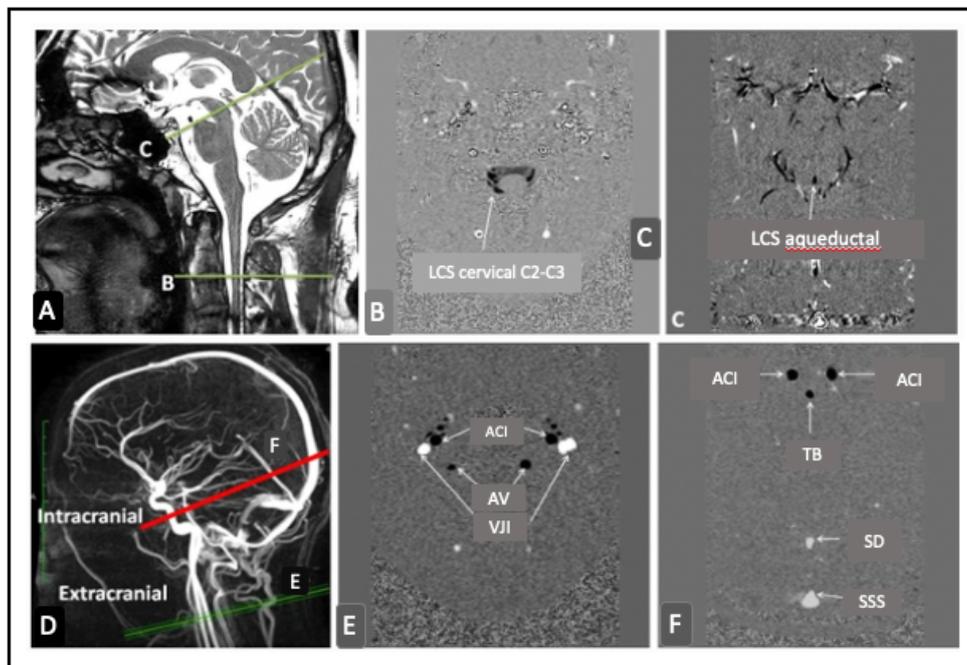
## 2. IRM de flux

### a) *Acquisition*

Les images de flux ont été acquises avec une séquence d'IRM par contraste de phase 2D ciné rapide avec synchronisation rétrospective au cycle cardiaque. Une fréquence cardiaque régulière et normale (entre 45 et 100 battements par minute) mesurée par un oxymètre de pouls était requise pour tous les patients. Le cycle cardiaque était divisé en 32 segments.

Des séquences de reconnaissance sagittales 3D FIESTA (ou bFFE) et 3D en contraste de phase ont été utilisées comme localisateurs pour sélectionner les niveaux anatomiques pour la quantification des flux de sang et du LCS (figure 12). Les flux de LCS étaient enregistrés perpendiculairement à la direction d'écoulement du LCS au niveau des espaces sous arachnoïdiens au niveau cervical à hauteur de C2-C3 (b) et au niveau de l'aqueduc du mésencéphale (c). Les flux vasculaires artériels et veineux étaient également enregistrés au niveau cervical C2-C3 au sein des artères carotides internes (ACI), des artères vertébrales (AV), des veines jugulaires internes (VJI) droites et gauches ; puis au niveau intracrânien au sein des artères carotides internes (ACI), du tronc basilaire (TB), du sinus droit (SD) et du sinus sagittal supérieur (SSS).

Par convention, les flux dans la direction cranio-caudale étaient représentés en blanc (systole) et les flux dans la direction caudo-craniale en noir (diastole).



**Figure 13 :** Acquisition de données par imagerie par résonance magnétique à contraste de phase.

*A : Séquence sagittale 3D FIESTA, localisatrice pour positionner les plans de coupe pour la mesure du débit de LCS, perpendiculairement à la direction du flux de LCS dans les espaces sous-arachnoïdiens. Coupe axiale passant en C2-C3 (b) et au niveau de l'aqueduc de Sylvius (c).*

*D* : Séquence 3D en contraste de phase (angiographie 3D), localisatrice pour positionner les plans de coupe pour la mesure des débits vasculaires, perpendiculairement à la direction du flux sanguin. Coupe axiale dans le compartiment extra-crânien (*e*) pour quantifier les flux vasculaires au sein des artères carotides internes (ACI), artères vertébrales (AV), veines jugulaires internes (VJI) droites et gauches. Coupe axiale dans le compartiment intracrânien (*f*) pour quantifier les flux vasculaires dans les artères carotides internes (ACI), le tronc basilaire (TB), le sinus droit (SD) et le sinus sagittal supérieur (SSS)

Les principaux paramètres d'acquisition des séquences étaient :

<b>Temps de Répétition (TR)/ Temps d'Echo (TE)</b>	- Aqueduc : 14/9 ms - Vaisseaux : 11/6 ms
<b>Nombre d'excitation (NEX)</b>	1
<b>Épaisseur de tranche</b>	2 mm
<b>Champ de vision (FOV)</b>	- Aqueduc : 90 x 80 mm - C2-C3 : 120x120 mm
<b>Angle de bascule</b>	30°
<b>Codage de vitesse (<math>V_{enc}</math>)</b>	- Aqueduc : 10 à 20 cm/s - C2-C3 : 5 cm/s - Vaisseaux : 60 cm/s

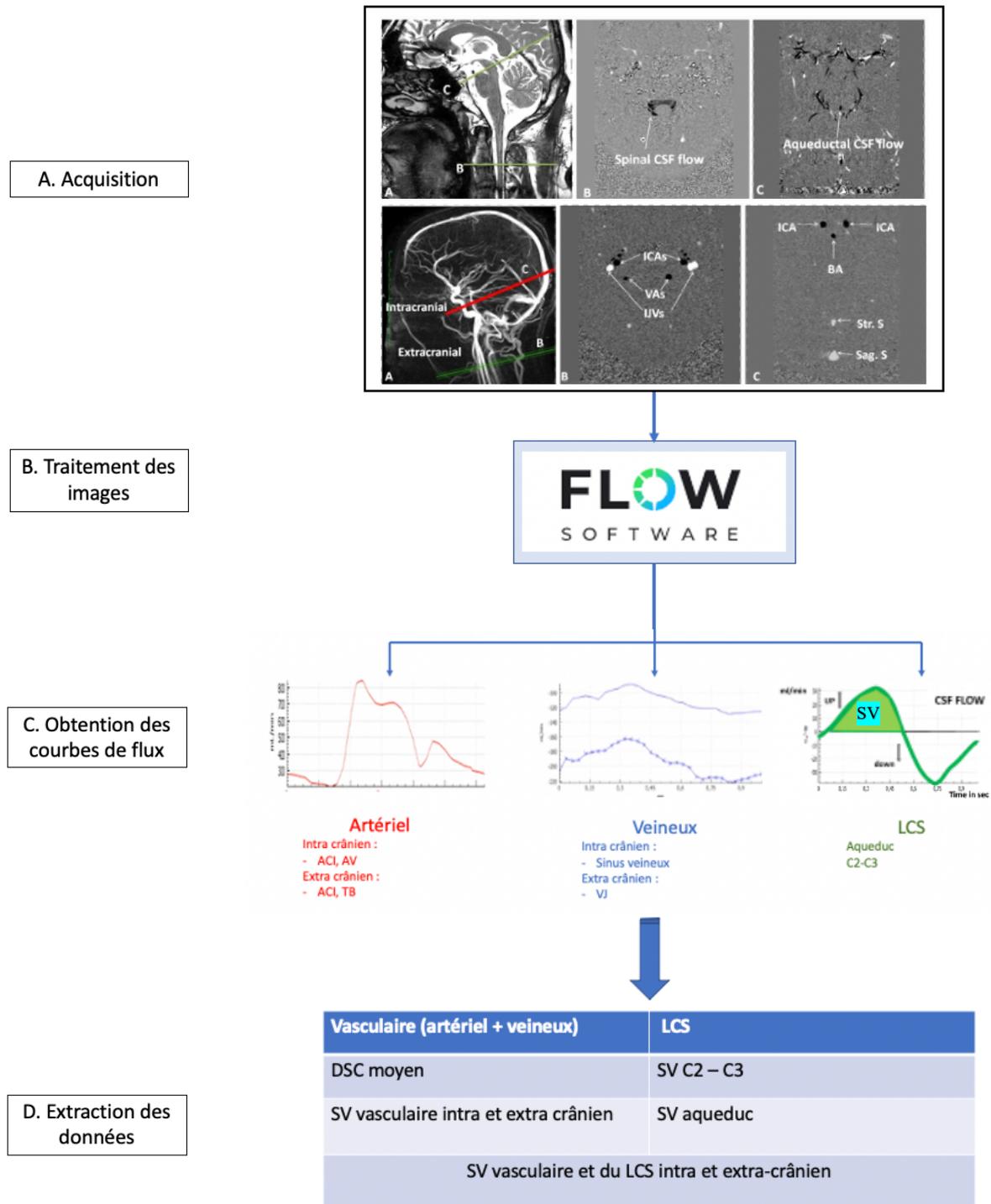
**Tableau 2** : Récapitulatif des paramètres des séquences d'IRM par contraste de phase.

A partir d'une acquisition IRM à contraste de phase, on obtenait 32 images représentant les 32 segments du cycle cardiaque. En cas d'artéfact d'aliasing de vitesse (plus de la moitié des pixels dirigés dans le sens opposé au flux de la région d'intérêt), la séquence était réacquise avec une vitesse d'encodage doublée. Selon la fréquence cardiaque du patient, le temps d'acquisition total était d'environ 2 minutes par séquence de flux.

### ***b)*** ***Post-traitement des images de flux***

L'analyse quantitative des données de l'IRM par contraste de phase a été effectuée à l'aide du logiciel Flow Software développé au CHU d'Amiens.

Grâce à ce logiciel nous avons tout d'abord segmenté de manière semi-automatique nos régions d'intérêt (ROI) grâce à un algorithme optimisé basé sur les propriétés du LCS et du flux sanguin. Nous avons ensuite reconstruit les courbes de débit sanguin (artériel et veineux) ou de débit du LCS pour chaque région d'intérêt, correspondant à toutes les vitesses du flux sanguin et de LCS recueillies au cours des 32 segments du cycle cardiaque. Nous avons ainsi pu mesurer les volumes oscillatoires, plus communément appelées « stroke volume » au niveau aqueducal (SVa), cervical en C2-C3 (SV C2-C3), le débit sanguin cérébral moyen (DSC moyen) ainsi que les stroke volumes vasculaires (artériel et veineux) et stroke volumes vasculaire et du LCS dans les compartiments intra et extra-crâniens (figure 14).



**Figure 14 :** Schéma illustrant la procédure d'extraction des données de flux vasculaires et du LCS à partir des acquisitions obtenues en IRM par contraste de phase.

Le Stroke Volume est représenté par l'aire sous la courbe et correspond au volume moyen de LCS déplacé dans les directions cranio-caudale (systole) et caudo-craniale (diastole) au cours du cycle cardiaque [17].

## C. Réalisation des tests d'infusion

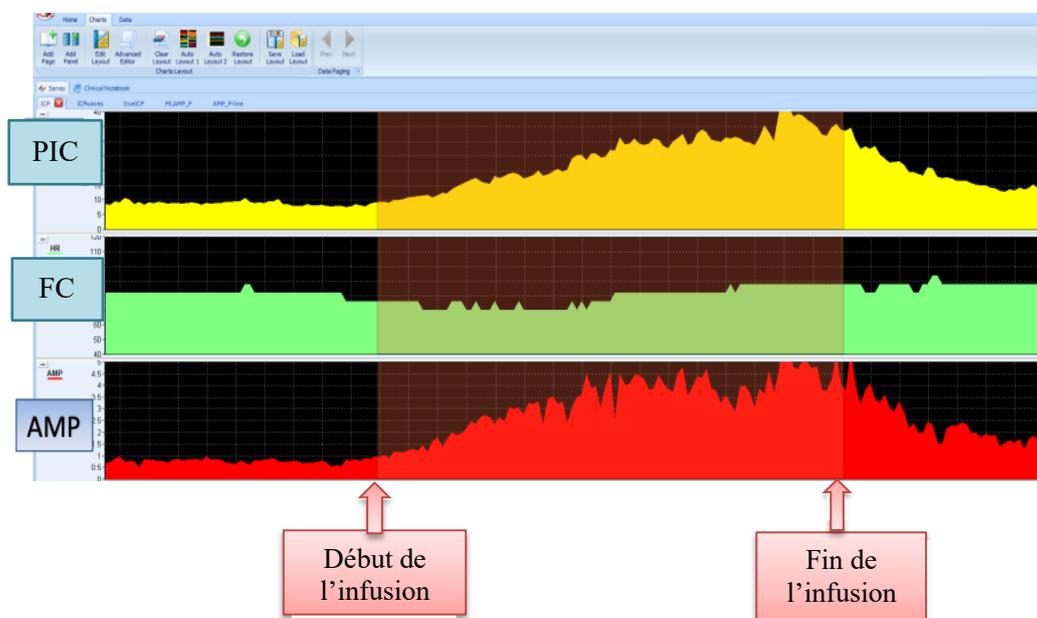
Les tests d'infusion étaient effectués par un neurochirurgien expérimenté du CHU d'Amiens, en ambulatoire, sous anesthésie locale.

Le patient était allongé en décubitus latéral. Une ponction lombaire était effectuée à hauteur de L3-L4 à l'aide d'une aiguille de 20 G. L'aiguille était connectée par un robinet à trois voies d'une part à une seringue électrique (a) permettant l'infusion intrathécale de sérum physiologique (NaCl 0,9%) à une vitesse constante et connue ; et d'autre part à un capteur de pression relié à un dispositif standard de mesure et/ou d'enregistrement (b) (figure 15) [37].



**Figure 15 :** Schéma illustrant la réalisation d'un test d'infusion lombaire.

Extrait de l'article <https://thejns.org/spine/view/journals/j-neurosurg-spine/27/2/article-p227.xml>



**Figure 16 :** Monitoring de la pression intracrânienne (PIC) et de la fréquence cardiaque (FC) au cours d'un test d'infusion.

Avant le début de la l'infusion, nous avons mesuré différents paramètres dont la pression du LCS au niveau lombaire en mm Hg, identique à la pression intracrânienne (PIC) chez un patient allongé et détendu, ainsi que son amplitude (AMP). La pression intracrânienne de base (PIC de base) est la pression moyenne sur une période de 3 à 5 minutes avant le début de la perfusion. Du fait de l'infusion lombaire, le volume de LCS dans le système cérébrospinal augmente entraînant une augmentation continue de la pression intracrânienne jusqu'à ce qu'elle atteigne une pression plateau (PIC plateau). Le plateau correspond au niveau d'équilibre entre la production, l'infusion de LCS et sa résorption. L'infusion est alors interrompue et la PIC diminue de manière exponentielle vers la ligne de base (figure 16).

A partir des tracés et valeurs obtenus lors du monitoring, nous avons déterminé grâce à un logiciel informatique, la Rout (résistance à l'écoulement du LCS), exprimé en mmHg/ml/min, qui est égal à l'augmentation effective de la pression (PIC plateau – PIC base) divisée par le débit de perfusion.

## **D. Gold standard et répartition des patients**

Avec une valeur prédictive positive pouvant atteindre les 100% (lorsque > 20 mmHg) chez les patients suspects d'HCAi, le Rout (résistance à l'écoulement du LCS) est à l'heure actuelle le paramètre paraclinique le plus puissant pour sélectionner les patients potentiellement répondeurs au shunt en cas de suspicion d'HCAi et donc éligibles au traitement neurochirurgical.

Ainsi, le Rout sera utilisé comme référence dans notre étude. Il sera considéré pathologique lorsque supérieur à 12 mmHg/ml/min (VPP de 80%) comme proposé dans de précédentes études [28, 30].

Les 40 patients inclus dans notre étude ont donc été classés en deux groupes :

- Si  $R_{out} > 12$  mmHg/ml/min : groupe « **patients potentiellement répondeurs** » au shunt - 25 patients
- Si  $R_{out} < 12$  mmHg/ml/min : groupe « **patients potentiellement non répondeurs** » au shunt - 15 patients

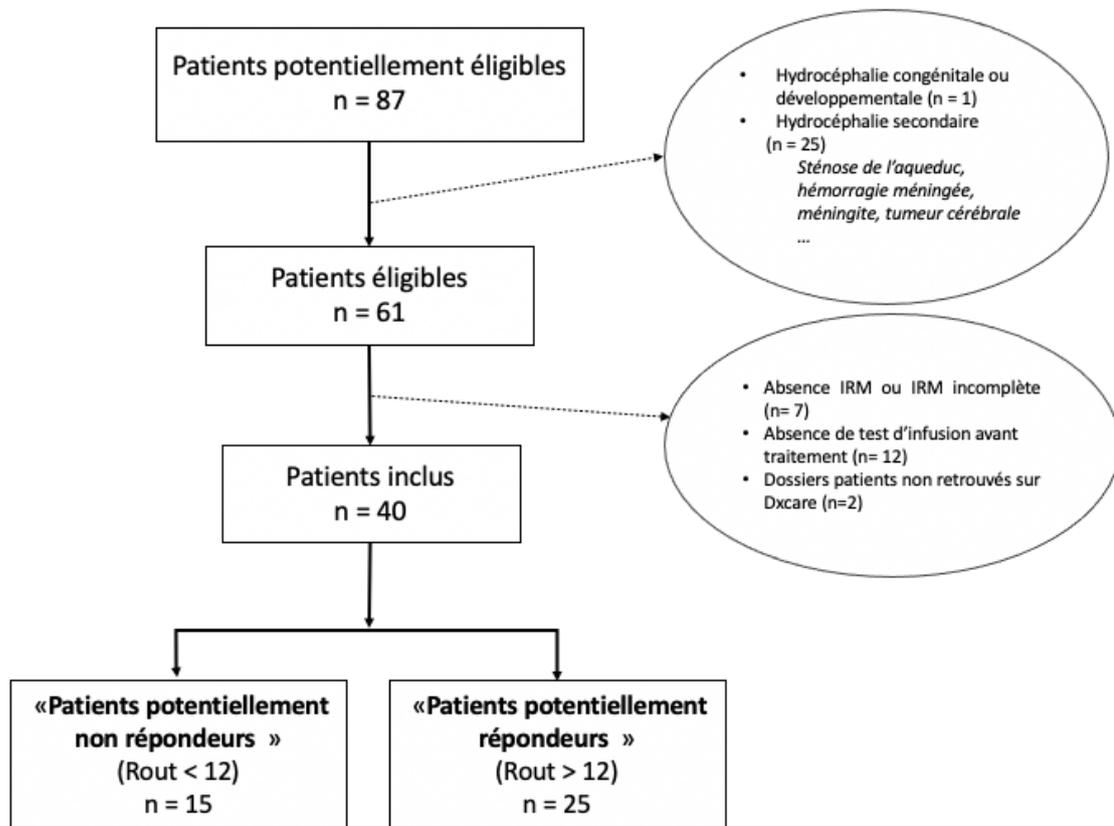


Figure 17 : Diagramme de flux

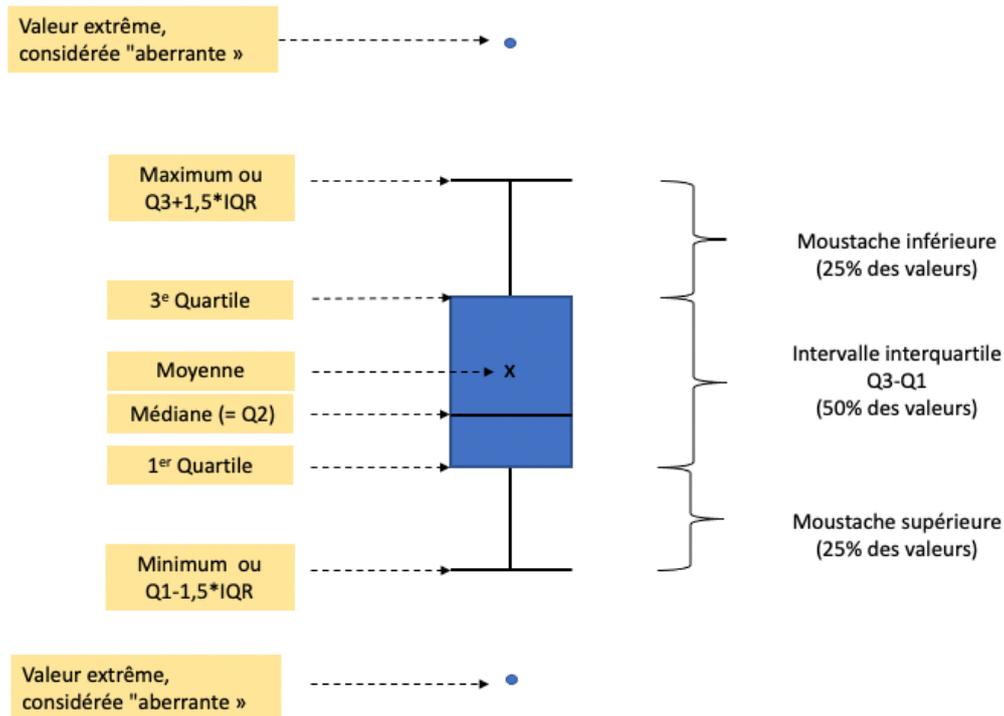
## E. Analyse statistique

Les données ont été analysées grâce au logiciel d'analyse statistique pour les publications médicales scientifiques « pvalue.io » (<https://www.pvalue.io/fr>).

Les tests statistiques ont été calculés avec une erreur de première espèce  $\alpha$  de 0,05.

**Les variables quantitatives** ont été exprimées en moyenne (déviation standard) si elles suivent une distribution normale (gaussienne) ou en médiane (écart interquartile) dans le cas contraire. La normalité des distributions a été évaluée par le test de normalité de Shapiro-Wilk.

Une analyse comparative bivariée des paramètres quantitatifs entre le groupe « patients potentiellement non répondeurs » ( $R_{out} < 12$ ) et le groupe « patients potentiellement répondeurs » ( $R_{out} > 12$ ) a été effectuée par le test non paramétrique de Mann-Whitney. Les résultats ont été représentés sous la forme de boîtes à moustache (boîte de dispersion illustrant la distribution des données) ou de tableaux.



**Figure 18 :** Schéma illustrant l'interprétation d'une boîte à moustache.

Les extrémités des moustaches correspondent aux valeurs minimales et maximales obtenues en multipliant l'intervalle interquartile par 1,5. Si les données ne s'étendent pas jusqu'à l'extrémité des moustaches alors les moustaches s'étendent jusqu'aux valeurs de données minimales et maximales. Si des valeurs tombent au-dessus ou au-dessous de l'extrémité des moustaches, elles sont représentées sous forme de points et sont appelées valeurs « aberrantes » car plus extrêmes que la valeur attendue.

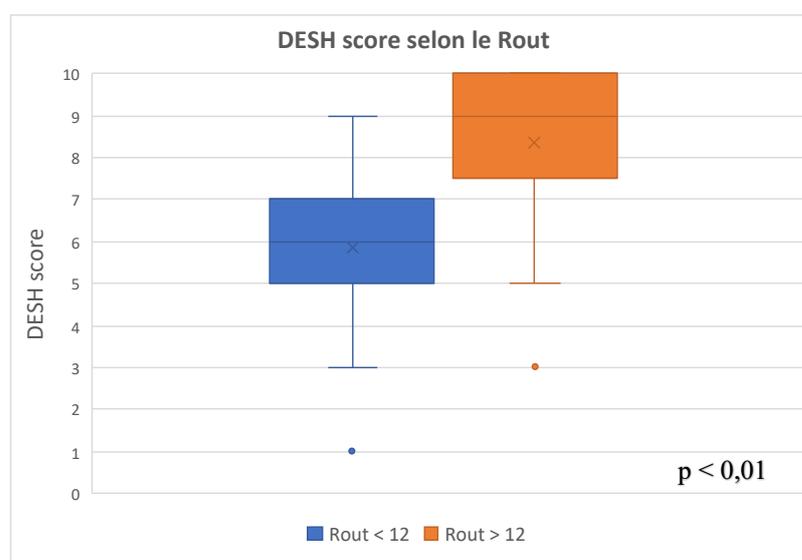
Les paramètres quantitatifs pertinents pour distinguer les deux groupes ont été déterminés à partir de courbes ROC (Receiver Operating Characteristics). La valeur d'Aire Sous la Courbe ROC (ASC) a été calculé et la valeur du seuil optimal pour le diagnostic d'HCAi a été déterminé par l'index de Youden. La Sensibilité (Se) et la Spécificité (Sp) pour le diagnostic d'HCAi ont été calculées avec un Intervalle de Confiance (IC) à 95%.

**Les variables qualitatives** sont exprimées en nombre (pourcentage). La comparaison des paramètres qualitatifs a été faite par un test exact de Fisher du fait de l'effectif faible de notre population. Ils ont été représentés par des histogrammes.



### III. RESULTATS

Concernant les données morphologiques, le **score DESH** était significativement plus élevé dans le groupe « patients potentiellement répondeurs » comparativement au groupe « patients potentiellement non répondeurs » (médiane [écart interquartile] : 9.00 [8.00; 10.0] contre 6.00 [5.00; 7.00]),  $p < 0.01$ .



**Figure 19** : Boîte à moustache comparant le score DESH entre les groupes « patients potentiellement non répondeurs » (Rout < 12) et « patients potentiellement répondeurs » (Rout > 12).

Parmi les 5 items du score DESH, nous avons retrouvé une différence significative entre les deux groupes uniquement pour les critères suivants : compression des espaces sous-arachnoïdiens de la convexité (critère DESH) et dilatation sulcale focale.

Une **compression sévère des espaces sous-arachnoïdiens de la convexité et de la ligne médiane** (figure 20a) était observée dans 80% des cas dans le groupe « patients potentiellement répondeurs » contre seulement 20% des cas dans le groupe « patients potentiellement non répondeurs » ( $p < 0,001$ ).

Des **dilatations sulcales focales** (figure 20b) « nombreuses » étaient beaucoup plus souvent retrouvées chez les « patients potentiellement répondeurs » (48% versus 7%,  $p = 0,02$ ) alors qu'elles étaient plus souvent absentes chez les « patients potentiellement non répondeurs » (60% vs 28%).

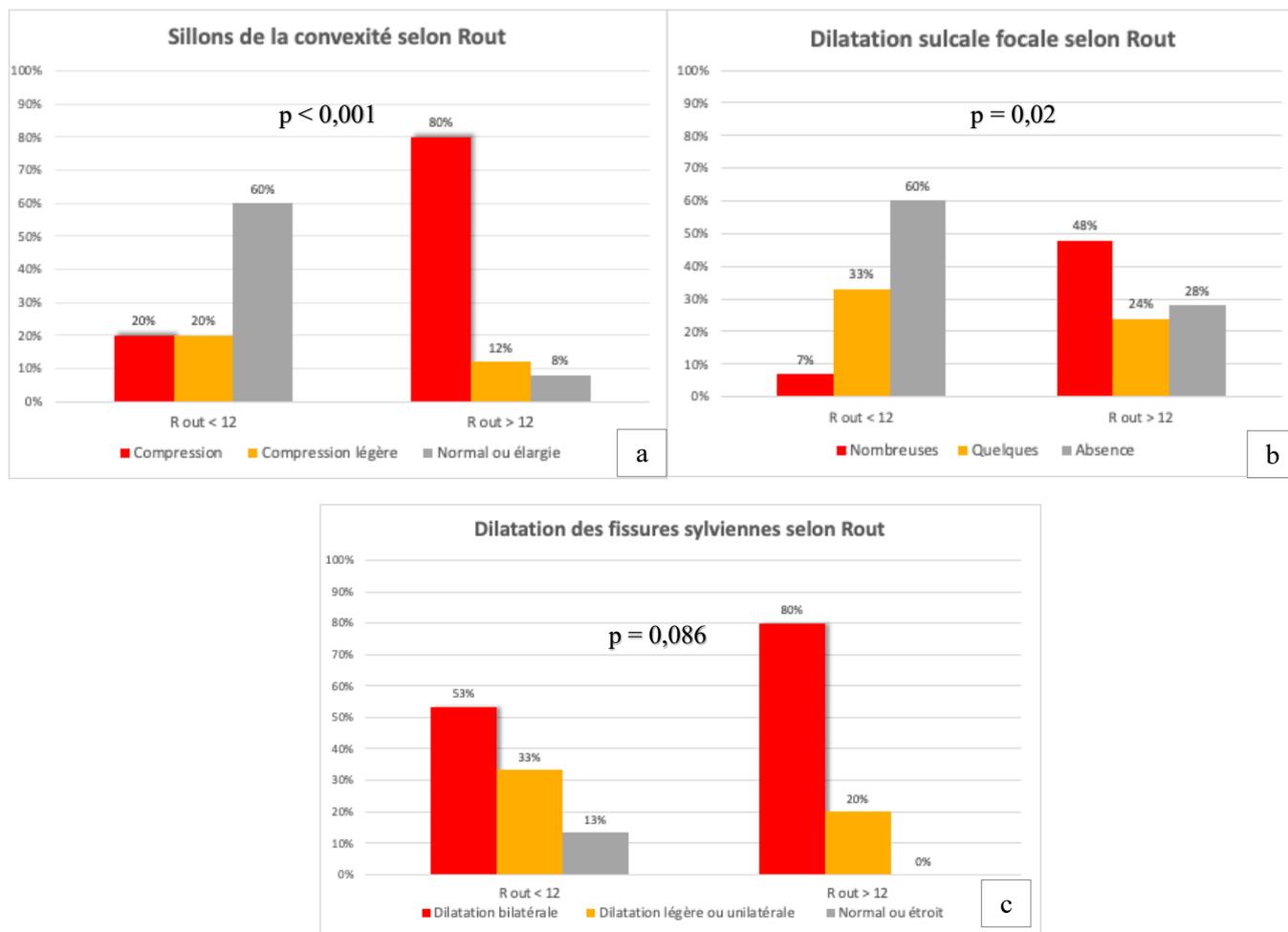


Figure 20 : Histogrammes avec comparant les paramètres IRM qualitatifs : compression des sillons de la convexité (a), dilatation sulcale focale (b) et dilatation des fissures sylviennes (c) entre les deux groupes.

Nous n'avons pas mis en évidence de différence significative entre les deux groupes d'intérêts pour la **dilatation des fissures sylviennes** (figure 20c), l'**index d'Evans** (figure 21a) et l'**angle calleux** (21b).

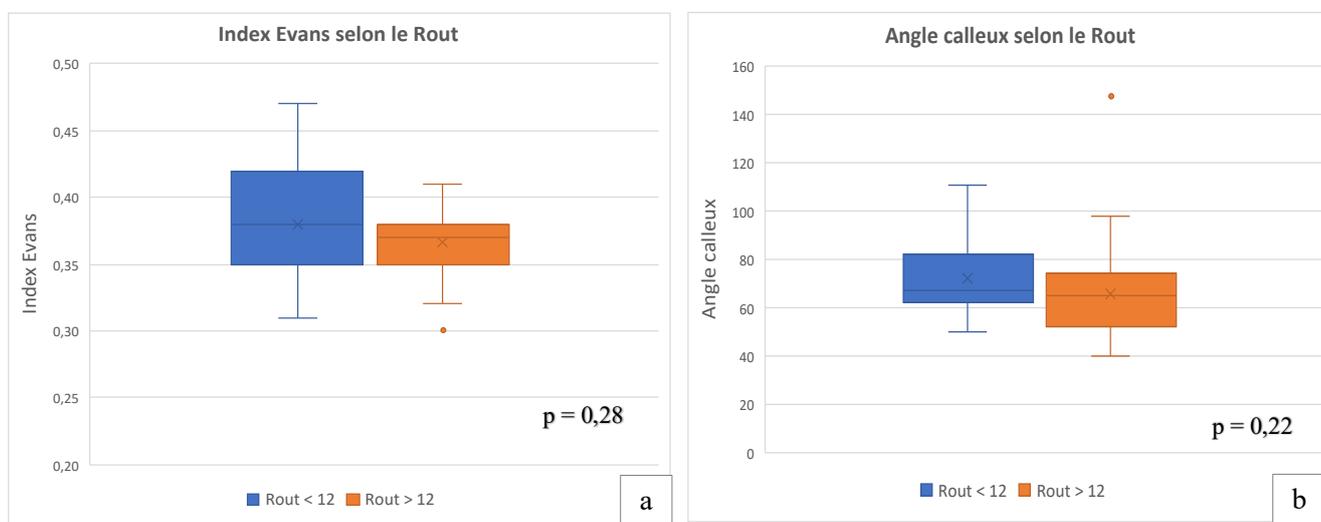
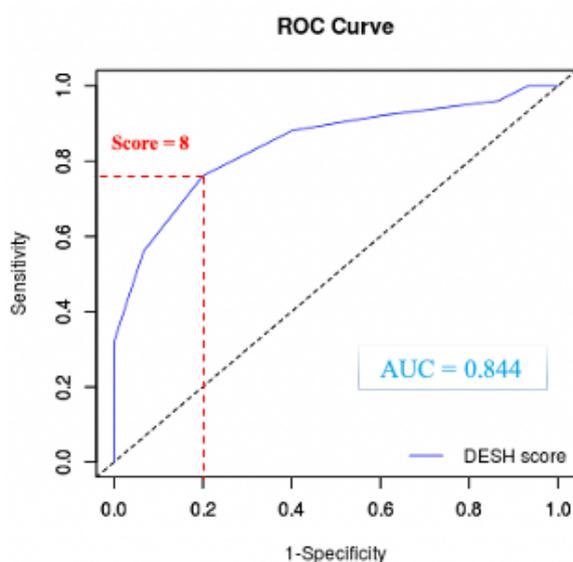


Figure 21 : Boîtes à moustache comparant l'index d'Evans (a) et l'angle calleux (b) entre les deux groupes.

	Index d'Evans		Angle calleux	
	R <sub>out</sub> < 12 (n = 15)	R <sub>out</sub> > 12 (n = 25)	R <sub>out</sub> < 12 (n = 15)	R <sub>out</sub> > 12 (n = 25)
<b>Médiane</b>	0.380	0.370	67.0	65.0
<b>[Q25-75]</b>	[0.35; 0.41]	[0.35; 0.38]	[62.5; 76.0]	[52.0; 74.2]
<b>Moyenne</b>	0,38	0,37	72	66
<b>(Ecart-type)</b>	(0,044)	(0,023)	(17)	(22)
<b>p</b>	<b>0,28</b>		<b>0,22</b>	

**Tableau 3 :** Principaux paramètres statistiques pour les variables morphologiques quantitatives, index d'Evans et angle calleux dans les deux groupes : médiane, intervalle interquartile [Q25-75], moyenne, écart-type et p (seuil de significativité).

Dans l'analyse ROC, l'aire sous la courbe (ASC) du score DESH était de 0,84 (IC95% = 0,72 – 0,96 ; p < 0,05) pour différencier les groupes « patients potentiellement répondeurs » et « patients potentiellement non répondeurs » au shunt.



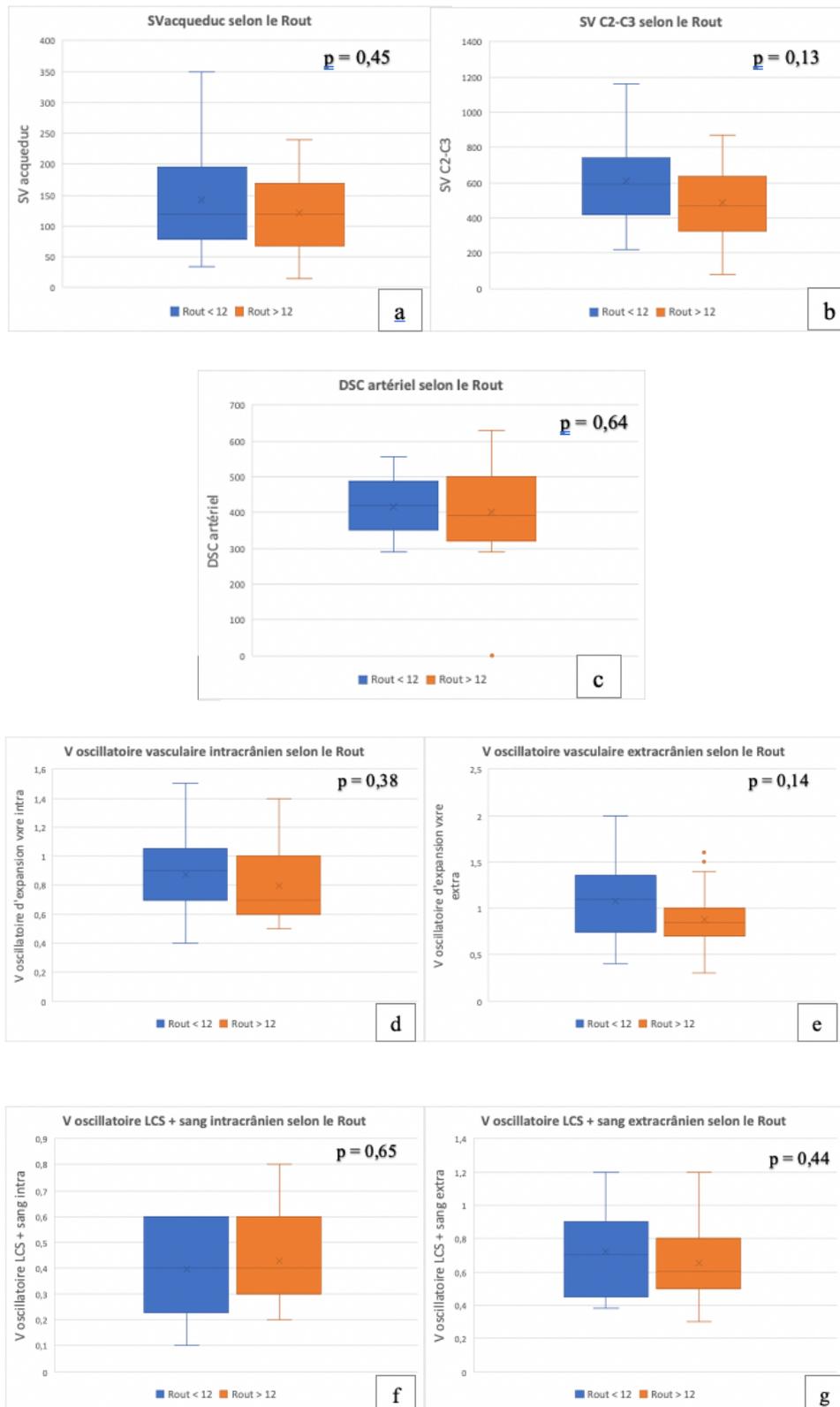
**Figure 22 :** Graphique de l'aire sous la courbe (AUC = ASC) de l'analyse ROC des valeurs du score DESH.

La valeur seuil optimale déterminée selon l'index de Youden est en rouge.

La valeur seuil optimale selon l'index de Youden était de 8 avec une spécificité de 76% (IC95% = 54,9 – 90,6%) et une sensibilité de 80% (IC95% = 51,9 – 95,7%).

Concernant les données vélocimétriques, il n'y avait pas de différence significative entre les deux groupes d'intérêt pour le **stroke volume de l'aqueduc (SVa)**, le **stroke volume cervical en C2-C3 (SV C2-C3)**, les **stroke volumes vasculaires intra et extra-crâniens**, les

stroke volumes vasculaires et du LCS intra et extra-crâniens, ni pour le débit sanguin cérébral moyen (DSC) artériel.



**Figure 23 :** Boite à moustache comparant les paramètres de flux entre les deux groupes.

SV aqueduc (a), SV C2-C3 (b), DSC moyen artériel (c), Volumes oscillatoires (= stroke volume) vasculaire dans les compartiments intra- (d) et extra-crânien (e); volumes oscillatoires vasculaires et du LCS dans les compartiments intra (f) et extra-crânien (g).

	R out < 12 moyenne (écart- type)	R out > 12 moyenne (écart- type)	n	p
SVa (µL/RR)	142 (86.2)	122 (65.3)	39	0.45
SV C2-C3 (µL/RR)	607 (251)	486 (216)	39	0.13
DSC artériel moyen (ml/min)	417 (83.1)	400 (132)	37	0.64
SV vasculaire intra crânien (ml/cc)	0.31 (0,9)	0.26 (0,8)	37	0.38
SV vasculaire extra crânien (ml/cc)	1.08 (0.42)	0.88 (0.31)	37	0.14
SV LCS + sang intra crânien (ml/cc)	0.40 (0.18)	0.43 (0.17)	37	0.65
SV LCS + sang extra crânien (ml/cc)	0.72 (0.25)	0.65 (0.23)	37	0.44

**Tableau 4 :** Comparaison des moyennes et écart-types pour les paramètres d'IRM de flux entre les deux groupes.



## IV. DISCUSSION

---

### A. Concordance de nos résultats avec la littérature

L'hydrocéphalie chronique de l'adulte idiopathique (HCAi) est une cause de démence fréquente chez les sujets âgés mais réversible après traitement neurochirurgical par dérivation ventriculaire (aussi appelé shunt). Tout l'enjeu est donc de pouvoir sélectionner les patients éligibles au shunt en estimant de manière la plus sensible et spécifique possible la probabilité d'amélioration après traitement. A l'heure actuelle, cette sélection nécessite quasi-constamment le recours à des tests invasifs non dénués d'effets indésirables pour les patients.

La présente étude a examiné l'utilité d'un schéma diagnostique non invasif basé sur l'imagerie par résonance magnétique à travers le score DESH et des séquences de flux afin de discriminer les patients éligibles au shunt.

Nous avons montré que le **score DESH** était significativement plus élevé pour les patients suspects d'HCAi potentiellement répondeurs en comparaison aux patients potentiellement non répondeurs. Ce résultat est concordant avec l'étude rétrospective de Shinoda et al [16], stipulant qu'un score DESH élevé (supérieur à 6) était prédictif d'une amélioration neurologique après traitement.

L'aire sous la courbe de notre analyse ROC était de 0.84. Ce qui signifie que, dans 84% des cas, un individu tiré au sort de la population des patients potentiellement répondeurs aura une valeur du DESH score supérieure à celle d'un individu tiré au sort de la population des patients potentiellement non répondeurs. Le DESH score possède donc une bonne capacité à discriminer les patients potentiellement éligibles au shunt avec une valeur seuil optimale de 8 dans notre étude (se 76%, sp 80%).

Kitagaki *et al* dans leur étude cas-témoins impliquant la volumétrie des espaces du LCS, ont souligné que le rétrécissement des ESA de la convexité et de la ligne médiane ainsi que les dilatations sulcales focales étaient en faveur du diagnostic de l'HCAi [14]. Notre étude confirme la valeur diagnostique de ces constatations IRM avec une fréquence significativement plus élevée dans le groupe patients potentiellement répondeurs au shunt. Ainsi dans l'HCAi, le LCS se répartit de manière disproportionnée entre les espaces sous-arachnoïdiens supérieurs et inférieurs ; ce qui la distingue notamment de l'atrophie cérébrale où la répartition du LCS est homogène. L'explication la plus probable de ces anomalies de répartition du LCS dans les ESA

est l'existence d'un obstacle suprasylvien avec un écoulement altéré du LCS en regard des ESA de la convexité et de la ligne médiale inter-hémisphérique. Adams et Al ont suggéré qu'une pathologie méningée peu sévère asymptomatique ou une méningite fibrosante d'étiologie indéterminée pouvait en être responsable [39].

Contrairement à certaines études antérieures, nous n'avons pas mis en évidence de différence significative entre les deux groupes pour les paramètres : index d'Evans et angle calleux (tableau 3). En effet, la moyenne des index d'Evans était sensiblement identique entre les deux groupes (0,37 pour le groupe « patients potentiellement répondeurs » vs 0,38). La moyenne des angles calleux était inférieure dans le groupe « patients potentiellement répondeurs » ( $66^\circ$  vs  $72^\circ$ ) mais de manière non significative.

Ishii et al. [40] en 2013 avaient pourtant rapporté que l'indice d'Evans était bien corrélé avec le volume relatif des ventricules et des fissures sylviennes, et qu'il était inversement corrélé avec le volume relatif des sillons à la haute convexité et à la ligne médiane. L'angle calleux avait également montré une bonne corrélation négative avec le volume relatif des systèmes ventriculaires et des fissures sylviennes, et il était corrélé positivement avec le volume relatif des sillons de la convexité et de la ligne médiane. De plus, Virhammar et al. [37] avait rapporté que l'angle calleux était inversement corrélé à la dilatation focale des sillons ( $r = -0,28$ ).

Cette discordance pourrait être en partie expliquée par l'absence de standardisation des méthodes de mesure car selon les repères anatomiques utilisés pour le positionnement des plans de coupe, les valeurs obtenues peuvent être significativement différentes [41]. En effet, la plupart des marqueurs d'imagerie d'HCAi ont été initialement définis par leurs auteurs en utilisant des paramètres arbitraires en termes de définition de plans de coupe et/ou de techniques de mesure. Certaines techniques de mesure ne sont pas toujours adaptées à la pratique radiologique quotidienne. On citera par exemple, le plan bi-commissural (plan passant par les commissures antérieure et postérieure) qui peut être difficile à utiliser en pratique courante car les repères anatomiques sont fins. De plus, de nombreuses études publiées ne définissent souvent pas avec précision les repères anatomiques utilisés pour l'angulation des coupes dans la section méthodologie. De telles variations méthodologiques pourraient contribuer à l'obtention de résultats très différentes pour les marqueurs d'imagerie selon les auteurs.

Pris individuellement, les **paramètres de flux** étudiés (stroke volume du LCS aqueducal, stroke volume du LCS en C2-C3, débit sanguin cérébral (DSC) artériel moyen, stroke volumes vasculaires, stroke volumes vasculaires et du LCS dans les compartiments intra

et extra-crâniens) n'étaient pas significativement différents entre les groupes « patients potentiellement répondeurs » et « patients potentiellement non répondeurs ».

Néanmoins, en comparaison aux valeurs normales des paramètres d'IRM de flux d'une population témoin de 19 volontaires sains âgés de 63 à 82 ans, extraites de l'étude prospective de Lokossou et al [42], on constate des valeurs pathologiques pour le SV aqueducal dans notre population de patients suspects d'HCAi (tableau 5).

	SVa ( $\mu$ L)	SV C2-C3 ( $\mu$ L)	DSC artériel moyen (ml/cc)
Volontaires sains âgés de 63 à 82 ans Moyenne (écart-type)	50 (30)	510 (200)	591 (102)
Patients potentiellement non répondeurs (Rout < 12), Moyenne (écart-type)	142 (86,2)	607 (251)	417 (83,1)
Patients potentiellement répondeurs (Rout > 12) Moyenne (écart-type)	122 (65.3)	486 (216)	400 (132)

**Tableau 5 :** Comparaison du stroke volume aqueducal, stroke volume cervical et du débit sanguin artériel cérébral moyen entre les groupes patients potentiellement répondeurs, patients potentiellement non répondeurs et des volontaires âgés sains.

Au regard d'une revue de la littérature sur le sujet, nous pouvons dire que le SVa est un paramètre encore débattu pour la sélection des patients éligibles au shunt du fait des résultats contradictoires.

Bradley et Al [17] ont démontré en 1996, l'existence d'un flux hyperdynamique de LCS à travers l'aqueduc chez les patients atteints d'HCAi. Cette accélération de flux était caractérisée par un stroke volume aqueducal élevé ( $> 42 \mu$ L), suggérant l'utilisation de ce paramètre pour aider au diagnostic des patients atteints d'HCAi et donc éligibles au shunt.

Dans l'étude de Dixon et al [19], la mesure du SVa ne permettait pas de prédire de manière fiable quels patients s'amélioreraient après shunt ou l'ampleur de leur amélioration. De plus, Kahlon et al, dans leur étude prospective, ne retrouvait pas un SVa significativement différent entre les patients éligibles à la chirurgie et les patients non éligibles. La sélection pour la chirurgie était basée sur l'amélioration clinique après un test d'infusion ou une ponction lombaire évacuatrice.

Depuis quelques années, des études ont démontré que les flux sanguins cérébraux artériels et veineux interagissent avec le liquide céphalo-spinal (LCS) dans les compartiments intracrânien et extra crânien (intrarachidien). En effet, à chaque cycle cardiaque, le cerveau est soumis à un afflux artériel pulsatile puis à un drainage veineux qui entraîne des oscillations du LCS. Les flux de LCS seraient donc un amortissement des flux vasculaires [7, 8]. C'est dans ce contexte que nous nous sommes intéressés au CHU d'Amiens, à l'analyse de 6 autres paramètres obtenus lors de l'IRM de flux afin d'améliorer l'étude de l'hydro-hémodynamique cérébrale. Ces paramètres sont : le stroke volume du LCS en C2-C3, le débit sanguin cérébral (DSC) artériel moyen, les stroke volumes vasculaires intra et extra crânien, et les stroke volumes vasculaires et du LCS intra- et extra-crânien.

L'étude des flux de LCS et du sang est complexe. Bien qu'aucun des paramètres étudiés n'a montré de corrélation significative avec le Rout (résistance à l'écoulement du LCS), nous ne pouvons pas exclure l'existence d'une altération de la circulation du LCS dans l'HCAi.

Nos résultats semblent montrer qu'une analyse individuelle des paramètres de flux n'est pas contributive au diagnostic ; les flux de LCS devraient être interprétés de manière conjointe aux flux vasculaires. Par ailleurs, étant donné que le SVa pourrait redevenir normal à un stade évolué de la maladie, il serait également intéressant d'étudier l'influence du délai d'apparition des premiers symptômes sur la valeur du SVa.

## **B. Limites de notre étude**

### **1. Le choix du gold standard**

La principale limite de notre étude est le choix du gold standard. Il est communément admis que le diagnostic de certitude de l'HCAi repose sur l'amélioration clinique après traitement neurochirurgical par shunt ventriculaire. Or, ce traitement invasif est réservé aux cas de forte suspicion diagnostique d'HCAi à l'issue des examens complémentaires d'imagerie et hydrodynamiques.

Par conséquent, nous avons choisi comme test diagnostique de référence pour notre étude la résistance à l'écoulement du LCS (Rout) ; paramètre paraclinique robuste ayant démontré une forte valeur prédictive positive (VPP) pour évaluer l'amélioration clinique après shunt, environ égale à 80% pour cut off à 12 mmHg/ml/min [29]. Bien que reconnu par l'Académie Américaine de Neurologie [21] comme un paramètre utile pour sélectionner les patients éligibles au shunt du fait de sa forte VPP, il est tout de même précisé dans les directives de

pratique que sa négativité ne permet pas d'exclure le diagnostic étant donné sa faible valeur prédictive négative (VPN). En effet, l'étude européenne multicentrique de Wikkelsø et al, retrouvait une VPN au mieux égale à 19% exposant ainsi à un très fort risque de faux négatifs [31].

De plus, le Rout est obtenu lors du test d'infusion, test invasif mettant le système nerveux dans des conditions de stress barométrique. On peut supposer des valeurs de Rout différentes dans des conditions physiologiques.

## **2. Les délais entre l'imagerie et les tests d'infusion**

Nous savons que l'HCAi est une maladie évolutive avec une tendance à l'aggravation avec le temps. Pour optimiser la comparabilité des paramètres IRM avec le Rout, l'imagerie et le test d'infusion devraient être effectués dans un délai de temps restreint chez un même patient, idéalement le même jour, en débutant par l'IRM. Dans notre échantillon de population, le délai entre l'imagerie et le test d'infusion variait de 1 jour à 1an et 8 mois.

## **3. L'analyse des images**

L'évaluation de 3 des 5 paramètres du score DESH reposait sur une échelle visuelle donc subjective avec une reproductibilité non démontrée pouvant être à l'origine d'un biais inter-observateur. Il s'agit ici de la dilatation des fissures sylviennes, de la dilatation sulcale focale, et du rétrécissement des espaces sous-arachnoïdiens de la convexité et de la ligne médiane.

Par ailleurs, l'évaluation des paramètres : angle calleux, index d'Evans et dilatation des fissures sylviennes nécessite une rigueur méthodologique pour le positionnement des plans de coupe. En effet, Ryska et al [41] ont montré dans leur étude publiée en 2021, des écarts statistiquement significatifs des valeurs de l'index d'Evans et de l'angle calleux selon l'angulation ou les plans de coupe utilisés. Dans l'étude de Virharmmar et al [37], 3 méthodes différentes étaient décrites pour étudier la dilatation des fissures sylviennes. La première méthode décrite par Kitagaki et al avait une reproductibilité inter-observateur insuffisante ( $k = 0,36$ ).

On pourrait donc supposer que l'absence de consensus universel et précis concernant les techniques d'évaluation de ces paramètres d'imagerie serait à l'origine d'un biais de mesure.

#### 4. Le nombre de patients

Une autre limite de l'étude est le nombre de patients inclus (40 patients) résultant à un effectif relativement faible dans chacun des groupes : 15 dans le groupe « patients potentiellement non répondeurs » ( $R_{out} < 12$ ) et 25 dans le groupe « patients potentiellement répondeurs » ( $R_{out} > 12$ ). Ce faible effectif a pour effet de diminuer la puissance des résultats et pourrait notamment expliquer l'absence de mise en évidence de différence significative pour les paramètres de flux.

### C. Perspectives

Le défi dans cette pathologie potentiellement curable est de parvenir à identifier des paramètres non invasifs performants pour établir le diagnostic et donc déterminer l'éligibilité au traitement.

Les patients inclus dans notre étude sont suivis régulièrement au CHU d'Amiens et de nouveaux patients suspects d'HCAi sont fréquemment adressés dans nos services. Certains parmi eux ont bénéficiés ou bénéficieront du traitement neurochirurgical par shunt ventriculaire.

Il serait intéressant d'évaluer dans une étude ultérieure, l'amélioration clinique après chirurgie de ces patients dérivés afin de préciser l'apport de notre protocole IRM dans la sélection des patients. Cette étude devra inclure plus de patients afin d'augmenter la puissance des tests statistiques, et utiliser comme gold standard la réponse au traitement. Cependant, les faux négatifs (proportion de patients qui auraient potentiellement été améliorés par la chirurgie parmi les patients non dérivés) ne pourront pas être pris en compte dans les analyses statistiques car ils ne seront pas connus. En effet, afin de prendre en compte les faux négatifs à l'issue de la démarche de sélection et augmenter la fiabilité des résultats statistiques, il faudrait dériver tous les patients suspects d'HCAi, ce qui pose des questions éthiques évidentes.

Par ailleurs, le développement d'outils d'évaluation quantitative des espaces sous arachnoïdiens permettrait de réduire la subjectivité pour l'évaluation des paramètres qualitatifs du score DESH : dilatation des fissures sylviennes, dilatation sulcale focale, et compression des espaces sous-arachnoïdiens de la convexité et de la ligne médiane. Des techniques de volumétrie semi-automatique sont en cours de développement.

D'autre part, une standardisation des méthodes de mesure des paramètres quantitatifs (plans de coupe, repères anatomiques pour calcul de l'index d'Evans et de l'angle calleux) est nécessaire

afin d'optimiser la reproductibilité inter-observateur et améliorer la comparabilité des résultats entre les études.

Le post-traitement des images d'IRM de flux pour la mesure des volumes oscillatoires nécessite un temps d'apprentissage du fonctionnement du logiciel puis demande un temps de traitement des images non négligeable (environ 15 min par patient). Une autre perspective serait de développer des logiciels automatisés ou d'améliorer ceux déjà existants, afin de faciliter le post-traitement des séquences de flux.

Par la suite, il serait intéressant d'étudier la valeur diagnostique d'autres marqueurs d'imagerie non invasifs dans le but d'améliorer davantage le diagnostic non invasif de l'HCAi.



## **V. CONCLUSION**

---

Nous avons montré que le score DESH est corrélé au Rout et est pertinent pour contribuer au diagnostic positif d'HCAi. Ce score est rapide, facile à mesurer et donc reproductible dans d'autres centres.

Il serait intéressant d'utiliser le score DESH et le Rout comme des paramètres complémentaires pour la sélection des patients éligibles au shunt.

Notre étude n'a pas permis de mettre en évidence de corrélation significative entre les paramètres de flux pris individuellement et le Rout. Nous pensons néanmoins que l'IRM de flux permet d'apprécier les altérations de la dynamique du LCS et de la dynamique vasculaire, présents dans l'HCAi.



## VI. ANNEXES

### A. Figures

<b>Figure 1</b> : Schéma de la circulation du liquide cérébro-spinal (A) en vue sagittale et de l'anatomie des systèmes ventriculaires (B) en vue coronale.....	22
<b>Figure 2</b> : Schéma illustrant le système glymphatique cérébral normal ©(Iliff et al. 2012)...	23
<b>Figure 3</b> : Coupe coronale T1 illustrant le critère DESH.....	27
<b>Figure 4</b> : Schéma illustrant les dérivations ventriculaires internes. (a) dérivation ventriculo-péritonéale (DVP) et (b) dérivation ventriculo-atriale (DVA) selon la position du cathéter distal. ....	31
<b>Figure 5</b> : Séquence morphologique 3D T1 .....	34
<b>Figure 6</b> : Coupe sagittale FIESTA chez un patient avec une sténose de l'aqueduc (membrane fléchée en rouge) .....	34
<b>Figure 7</b> : Coupe axiale FLAIR montrant des hypersignaux T2 FLAIR de la substance blanche périventriculaire.....	35
<b>Figure 8</b> : Séquence 3D T1 illustrant la méthode de calcul de l'index d'Evans. ....	35
<b>Figure 9</b> : Coupes sagittale et coronale T1 montrant la méthode de détermination de l'angle calleux .....	36
<b>Figure 10</b> : Coupes 3D T1 montrant la méthode d'évaluation de la compression des sillons de la convexité.....	36
<b>Figure 11</b> : Coupes sagittale et coronale T1 montrant la méthode d'évaluation de la dilatation des fissures sylviennes.....	37
<b>Figure 12</b> : Coupes 3D T1 montrant une dilatation focale d'un sillon de la convexité frontale (flèches). ....	37
<b>Figure 13</b> : Acquisition de données par imagerie par résonance magnétique à contraste de phase.....	39
<b>Figure 14</b> : Schéma illustrant la procédure d'extraction des données de flux vasculaires et du LCS à partir des acquisitions obtenues en IRM par contraste de phase.....	41
<b>Figure 15</b> : Schéma illustrant la réalisation d'un test d'infusion lombaire. Extrait de l'article <a href="https://thejns.org/spine/view/journals/j-neurosurg-spine/27/2/article-p227.xml">https://thejns.org/spine/view/journals/j-neurosurg-spine/27/2/article-p227.xml</a> .....	42
<b>Figure 16</b> : Monitoring de la pression intracrânienne (PIC) et de la fréquence cardiaque (FC) au décours d'un test d'infusion. ....	42
<b>Figure 17</b> : Diagramme de flux .....	44
<b>Figure 18</b> : Schéma illustrant l'interprétation d'une boîte à moustache. ....	45
<b>Figure 19</b> : Boîte à moustache comparant le score DESH entre les groupes « patients potentiellement non répondeurs » (Rout < 12) et « patients potentiellement répondeurs » (Rout > 12). ....	47
<b>Figure 20</b> : Histogrammes avec comparant les paramètres IRM qualitatifs : compression des sillons de la convexité (a), dilatation sulcale focale (b) et dilatation des fissures sylviennes (c) entre les deux groupes. ....	48
<b>Figure 21</b> : Boîtes à moustache comparant l'index d'Evans (a) et l'angle calleux (b) entre les deux groupes.....	48

<b>Figure 22</b> : Graphique de l'aire sous la courbe (AUC = ASC) de l'analyse ROC des valeurs du score DESH. ....	49
<b>Figure 23</b> : Boite à moustache comparant les paramètres de flux entre les deux groupes.....	50

## B. Tableaux

<b>Tableau 1</b> : Score DESH .....	38
<b>Tableau 2</b> : Récapitulatif des paramètres des séquences d'IRM par contraste de phase. ....	40
<b>Tableau 3</b> : Principaux paramètres statistiques pour les variables morphologiques quantitatives, index d'Evans et angle calleux dans les deux groupes : médiane, intervalle interquartile [Q25-75], moyenne, écart-type et p (seuil de significativité). ....	49
<b>Tableau 4</b> : Comparaison des moyennes et écart-types pour les paramètres d'IRM de flux entre les deux groupes. ....	51
<b>Tableau 5</b> : Comparaison du stroke volume aqueducal, stroke volume cervical et du débit sanguin artériel cérébral moyen entre les groupes patients potentiellement répondeurs, patients potentiellement non répondeurs et des volontaires âgés sains. ....	55

## VII. BIBLIOGRAPHIE

---

1. Hakim, S. and R.D. Adams, The special clinical problem of symptomatic hydrocephalus with normal cerebrospinal fluid pressure. Observations on cerebrospinal fluid hydrodynamics. *Journal of the Neurological Science*, 1965. 2(4): p. 307-327
2. Hebb AO, Cusimano MD. Idiopathic normal pressure hydrocephalus: a systematic review of diagnosis and outcome. *Neurosurgery*. 2001;49(5): p.1166-84.
3. Martín-Láez R, Caballero-Arzapalo H, López-Menéndez LÁ, Arango-Lasprilla JC, Vázquez-Barquero A. Epidemiology of Idiopathic Normal Pressure Hydrocephalus: A Systematic Review of the Literature. *World Neurosurg*. 2015;84(6):2002-2009.
4. Chazal, Jean et al. Hydrocéphalie chronique de l'adulte (ou hydrocéphalie à pression normale) après 40 ans de publications. *La Lettre du Neurologue*. 2006.
5. Iliff JJ, Nedergaard M. Is there a cerebral lymphatic system? *Stroke*. 2013 Jun;44 (6 Suppl 1): S93-5.
6. Mokri, B., The Monro-Kellie hypothesis: applications in CSF volume depletion. *Neurology*, 2001. 56(12): p. 1746-8.
7. Bradley, W.G., Jr., CSF Flow in the Brain in the Context of Normal Pressure Hydrocephalus. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2015. 36(5): p. 831-8.
8. Baledent, O., M.C. Henry-Feugeas, and I. Idy-Peretti, Cerebrospinal fluid dynamics and relation with blood flow: a magnetic resonance study with semiautomated cerebrospinal fluid segmentation. *Invest Radiol*, 2001. 36(7): p. 368-77.
9. Gavrilov GV, Svistov DV, Korovin AE, Stanishevsky AV & Efimov NS: Idiopaticheskaja normotenzivnaja gidrocephalija kak sovremennaja medicinskaja problema. *Klinicheskaja patofiziologija [Idiopathic normal pressure hydrocephalus as a modern health issue]* *Clinical Pathophysiology* 2016; 22:70-80 (In Russian)
10. Nakajima M, Yamada S, Miyajima M, et al. Guidelines for Management of Idiopathic Normal Pressure Hydrocephalus (Third Edition): Endorsed by the Japanese Society of Normal Pressure Hydrocephalus. *Neurol Med Chir (Tokyo)*. 2021;61(2):63-97. doi:10.2176/nmc.st.2020-0292
11. Mary P, Gallisa J-M, Laroque S, Bedou G, Maillard A, Bousquet C, et al. Predictive value of postural and dynamic walking parameters after high-volume lumbar puncture in normal pressure hydrocephalus. *Rev Neurol (Paris)* 2013; 169: 321–7.

12. Campos-Juanatey F, Gutiérrez-Bañnos JL, Portillo-Martín JA, Zubillaga-Guerrero S. Assessment of the urodynamic diagnosis in patients with urinary incontinence associated with normal pressure hydrocephalus. *Neurourol Urodyn* 2015; 34: 465–8.
13. Devito EE, Pickard JD, Salmond CH, Iddon JL, Loveday C, et Sahakian BJ. The neuropsychology of normal pressure hydrocephalus (NPH). *Br Journal of Neurosurgery* 2005; 19: 217–24.
14. Kitagaki H, Mori E, Ishii K, Yamaji S, Hirono N, Imamura T: CSF spaces in idiopathic normal pressure hydrocephalus: morphology and volumetry. *AJNR Am Journal of Neuroradiology*. 1998 Aug;19 (7): 1277-84.
15. Hashimoto M, Ishikawa M, Mori E, Kuwana N: Diagnosis of idiopathic normal pressure hydrocephalus is supported by MRI-based scheme: a prospective cohort study. *Cerebrospinal Fluid Res* 7:18, 2010
16. Shinoda N, Hirai O, Hori S, Mikami K, Bando T, Shimo D, Kuroyama T, Kuramoto Y, Matsumoto M, Ueno Y. 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 Dec;127(6):1436-1442.
17. Bradley WG Jr, Scalzo D, Queralt J, Nitz WN, Atkinson DJ, Wong P. Normal-pressure hydrocephalus: evaluation with cerebrospinal fluid flow measurements at MR imaging. *Radiology*. 1996 Feb;198(2):523-9.
18. Kahlon B, Annertz M, Ståhlberg F, Rehncrona S. Is aqueductal stroke volume, measured with cine phase-contrast magnetic resonance imaging scans useful in predicting outcome of shunt surgery in suspected normal pressure hydrocephalus? *Neurosurgery*. 2007 Jan;60(1):124-9; discussion 129-30.
19. Dixon GR, Friedman JA, Luetmer PH, Quast LM, McClelland RL, Petersen RC, Maher CO, Ebersold MJ. Use of cerebrospinal fluid flow rates measured by phase-contrast MR to predict outcome of ventriculoperitoneal shunting for idiopathic normal-pressure hydrocephalus. *Mayo Clin Proc*. 2002 Jun; 77(6):509-14.
20. Shanks J, Markenroth Bloch K, Laurell K, et al. Aqueductal CSF Stroke Volume Is Increased in Patients with Idiopathic Normal Pressure Hydrocephalus and Decreases after Shunt Surgery. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2019; 40(3):453-459.
21. Halperin JJ, Kurlan R, Schwalb JM, Cusimano MD, Gronseth G, Gloss D. Practice guideline: Idiopathic normal pressure hydrocephalus: Response to shunting and predictors of response: Report of the Guideline Development, Dissemination, and Implementation Subcommittee of the American Academy of Neurology. *Neurology*. 2015 Dec 8;85(23):2063-71. [Published correction appears in *Neurology*. 2016 Feb 23;86(8):793];

22. Alperin N, Vikingstad EM, Gomez-Anson B, Levin DN. Hemodynamically independent analysis of cerebrospinal fluid and brain motion observed with dynamic phase contrast MRI. *Magn Reson Med*. 1996; 35(5):741-754. doi:10.1002/mrm.1910350516
23. Balédent O, Gondry-Jouet C, Meyer ME, et al. Relationship between cerebrospinal fluid and blood dynamics in healthy volunteers and patients with communicating hydrocephalus. *Invest Radiol*. 2004;39(1):45-55.
24. Malm J, Kristensen B, Karlsson T, Fagerlund M, Elfverson J, Ekstedt J. The Predictive Value of Cerebrospinal Fluid Dynamic Tests in Patients With the Idiopathic Adult Hydrocephalus Syndrome. *Arch Neurol*. 1995;52(8):783–789.
25. Walchenbach R, Geiger E, Thomeer RTWM, et al. The value of temporary external lumbar CSF drainage in predicting the outcome of shunting on normal pressure hydrocephalus. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry* 2002;72:503-506.
26. Marmarou A, Shulman K, LaMorgese J. Compartmental analysis of compliance and outflow resistance of the cerebrospinal fluid system. *J Neurosurg*. 1975;43(5):523-534. doi:10.3171/jns.1975.43.5.0523
27. Caire F, Moreau J-J. [Method and results of lumbar infusion test in normal pressure hydrocephalus: review of the literature]. *Rev Neurol (Paris)*. mai 2010;166(5):494 501.
28. Boon AJ, Tans JT, Delwel EJ, Egeler-Peerdeman SM, Hanlo PW, Wurzer HA, et al. Dutch normal-pressure hydrocephalus study: prediction of outcome after shunting by resistance to outflow of cerebrospinal fluid. *J Neurosurg*. nov 1997;87(5):687 93.
29. Boon AJ, Tans JT, Delwel EJ, Egeler-Peerdeman SM, Hanlo PW, Wurzer JA, et al. Does CSF outflow resistance predict the response to shunting in patients with normal pressure hydrocephalus? *Acta Neurochir Suppl*. 1998; 71: 331 3.
30. Kim, Dong-Joo, Hakseung Kim, Young-Tak Kim, Byung C. Yoon, Zofia Czosnyka, Kun-Woo Park, et Marek Czosnyka. 2015. « Thresholds of Resistance to CSF Outflow in Predicting Shunt Responsiveness ». *Neurol. Res.* 37 (4): 332–340. <https://doi.org/10.1179/1743132814Y.0000000454>.
31. Wikkelsø C, Hellström P, Klinge PM, Tans JT; European iNPH Multicentre Study Group. The European iNPH Multicentre Study on the predictive values of resistance to CSF outflow and the CSF Tap Test in patients with idiopathic normal pressure hydrocephalus. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 2013 May; 84(5): 562-8.
32. Toma AK, Papadopoulos MC, Stapleton S, Kitchen ND, Watkins LD. Systematic review of the outcome of shunt surgery in idiopathic normal-pressure hydrocephalus. *Acta Neurochir (Wien)*. 2013; 155: 1977-1980.

33. Kahlon B, Sjunnesson J, Rehn Crona S. Long-term outcome in patients with suspected normal pressure hydrocephalus. *Neurosurgery* 2007; 60: 327–332; discussion 332.
34. Evans WA. An encephalographic ratio for estimating ventricular enlargement and cerebral atrophy. *Arch NeurPsych* 1942; 47:931–37
35. Ishii K, Kanda T, Harada A, et al. Clinical impact of the callosal angle in the diagnosis of idiopathic normal pressure hydrocephalus. *Eur Radiol* 2008; 18: 2678–83
36. Sasaki M, Honda S, Yuasa T, Iwamura A, Shibata E, Ohba H. Narrow CSF space at high convexity and high midline areas in idiopathic normal pressure hydrocephalus detected by axial and coronal MRI. *Neuroradiology*. 2008 Feb;50(2):117-22. doi: 10.1007/s00234-007-0318-x. Epub 2007 Nov 9. PMID: 17992524.
37. Virhammar J, Laurell K, Cesarini KG, Larsson EM. Preoperative prognostic value of MRI findings in 108 patients with idiopathic normal pressure hydrocephalus. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2014 Dec;35(12):2311-8. doi: 10.3174/ajnr. A4046. Epub 2014 Jul 10. PMID: 25012669; PMCID: PMC7965311.
38. Beck J, Fung C, Ulrich CT, et al. Cerebrospinal fluid outflow resistance as a diagnostic marker of spontaneous cerebrospinal fluid leakage. *J Neurosurg Spine*. 2017;27(2):227-234. doi:10.3171/2017.1. SPINE16548
39. Adams RD. Recent observations on normal pressure hydrocephalus. *Schweizer Archiv für Neurologie, Neurochirurgie und Psychiatrie* 1975; 116:7–15.
40. Ishii K, Soma T, Shimada K, Oda H, Terashima A, Kawasaki R: Automatic volumetry of the cerebrospinal fluid space in idiopathic normal pressure hydrocephalus. *Dement Geriatr Cogn Dis Extra* 3:489–496, 2013
41. Ryska P, Slezak O, Eklund A, Salzer J, Malm J, Zizka J. Variability of Normal Pressure Hydrocephalus Imaging Biomarkers with Respect to Section Plane Angulation: How Wrong a Radiologist Can Be? *AJNR Am J Neuroradiol*. 2021;42(7):1201-1207. doi:10.3174/ajnr.A7095
42. 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.

## CONFRONTATION RADIOLOGIQUE AU TEST D'INFUSION DANS L'HYDROCEPHALIE CHRONIQUE DE L'ADULTE IDIOPATHIQUE

**Introduction** - L'objectif est d'évaluer l'utilité du diagnostic non invasif basé sur des paramètres d'imagerie par résonance magnétique (IRM) morphologique et de flux en contraste de phase, comparativement au test d'infusion chez des patients suspects d'hydrocéphalie chronique de l'adulte idiopathique (HCAi).

**Matériels et méthodes** – Entre janvier 2020 et décembre 2021, au CHU d'Amiens, 40 patients suspects d'HCAi ont bénéficié d'une IRM incluant des séquences de flux et d'un test d'infusion lombaire avec monitoring de la pression du LCS afin de calculer la résistance à l'écoulement (Rout) du liquide cérébro-spinal (LCS), indicateur prédictif de la réussite potentielle d'une chirurgie par shunt ventriculaire. Les séquences morphologiques d'IRM ont été analysées de manière rétrospective afin de déterminer le score DESH en évaluant l'index d'Evans, l'angle calleux, la compression des espaces sous-arachnoïdiens de la convexité et de la ligne médiane, la dilatation des fissures sylviennes et la dilatation sulcale focale. Les paramètres de flux étudiés étaient : le stroke volume de l'aqueduc (SVa), le stroke volume cervical en C2-C3 (SV<sub>C2-C3</sub>), les stroke volumes vasculaires intra et extra-crâniens et les stroke volumes vasculaires et du LCS intra et extra-crâniens. Les résultats ont été comparés entre 2 groupes de patients répartis en fonction de la valeur du Rout (en mmHg/ml/min) : 15 patients potentiellement non répondeurs au shunt (lorsque Rout < 12) et 25 patients potentiellement répondeurs au shunt (lorsque Rout > 12).

**Résultats** – Chez les patients potentiellement répondeurs, le score DESH était significativement augmenté ( $p < 0,001$ ) avec la présence plus fréquente d'une compression sévère des espaces sous-arachnoïdiens de la convexité et de la ligne médiane. Des dilatations sulcales focales nombreuses étaient également plus fréquentes. L'index d'Evans, l'angle calleux, la dilatation des fissures sylviennes et les paramètres de flux pris indépendamment n'étaient pas significativement différents entre les deux groupes.

**Conclusion** – Nos résultats indiquent que le score DESH est corrélé au Rout. Un score DESH élevé est un argument complémentaire pour la sélection des patients potentiellement répondeurs au shunt. Une analyse individuelle des paramètres de flux ne semble pas être contributive au diagnostic d'HCAi.

**Mots-clés** : Hydrocéphalie chronique de l'adulte idiopathique, score DESH, IRM de flux, stroke volume, test d'infusion, résistance à l'écoulement du LCS.

---

## RADIOLOGICAL CONFRONTATION WITH THE LUMBAR INFUSION TEST IN ADULTS IDIOPATHIC CHRONIC HYDROCEPHALUS

**Introduction** – The objective is to evaluate the utility of non-invasive diagnosis based on morphologic and phase-contrast flow magnetic resonance imaging (MRI) parameters, compared to lumbar infusion test in adult's patients with suspected idiopathic chronic hydrocephalus (iCH).

**Materials and methods** – Between January 2020 and December 2021, at the University Hospital of Amiens, 40 adult's patients suspected of iCH underwent an MRI including flow sequences and a lumbar infusion test with monitoring of CSF pressure in order to calculate the resistance to outflow (Rout) of cerebrospinal fluid (CSF), a predictive indicator of the potential success of ventricular shunt surgery. Morphological MRI sequences were retrospectively analyzed to determine the DESH score by evaluating the Evans index, callosal angle, compression of the convexity and midline subarachnoid spaces, sylvian fissure dilation and focal sulcal dilation. The flow parameters studied were: the aqueductal stroke volume (SVa), the cervical stroke volume in C2-C3 (SV<sub>C2-C3</sub>), the intra and extra-cranial vascular stroke volumes and the intra and extra-cranial vascular and CSF stroke volumes. The results were compared between 2 groups of patients divided according to the Rout value (in mmHg/ml/min): 15 patients potentially non-responsive to the shunt (when Rout < 12) and 25 patients potentially responding to the shunt (when Rout > 12).

**Results** – In potentially responder patients, the DESH score was significantly increased ( $p < 0.001$ ) with the presence more frequently of severe compression of the subarachnoid spaces at high convexity and midline area. Many focal sulcal dilatations were also more frequent. Evans index, callosal angle, sylvian fissure dilation and flow parameters taken independently were not significantly different between the two groups.

**Conclusion** – Our results indicate that DESH score is correlated with Rout. A high DESH score is an additional argument for the selection of patients potentially responsive to the shunt. An individual analysis of flow parameters does not seem to contribute to the diagnosis of iCH.

**Keywords**: Adults idiopathic chronic hydrocephalus, DESH score, flow MRI, stroke volume, lumbar infusion test, CSF flow resistance.