

Année 2023

N° : MS 050/2023

## Mémoire de fin d'études

Pour L'obtention du Diplôme National de Spécialité en :

« Radiologie »

Intitulé

**Place de l'angioscanner cérébral dans le diagnostic  
de la mort encéphalique : à propos de 26 cas à la  
radiologie des urgences de l'hôpital Avicennes**

Présenté par :

**Docteur Roméo Thierry YEHOUENOU TESSI**

Sous la direction du

**Professeur Fatima Zahrae LAAMRANI**

# Remerciements

- A Madame LAAMRANI FATIMA ZAHRAE, Professeur en  
Imagerie

Médicale, Service de radiologie des urgences, Hôpital Avicenne de  
Rabat.

Qui nous a consacré son temps pour encadrer ce mémoire de fin de  
spécialité en ainsi que la confiance à nous accorder en nous  
proposons ce sujet d'actualité, mais aussi pour sa disponibilité,  
pour la richesse de votre enseignement.

- Notre reconnaissance au Pr JROUNDI LEILA, chef de service  
de  
Radiologie des urgences, Hôpital Avicenne de Rabat.

- A tous mes chers (es) professeurs durant mon cursus de  
résidanat gratitude

- A mes chers parents TESSI Jean Medezo et FERNANDO  
Apolline, ainsi que mes frères Geoffroy, Donald, Boris pour le  
soutien inconditionnel durant tout ce cursus

## **Sommaire**

I- Introduction .....	1
1-1- Définitions et physiopathologie .....	1
1-2- Historique .....	2
1-3- Législation .....	3
1-4- Place du bilan paraclinique dans la mort encéphalique .....	3
1-5- Rappels anatomiques sur le polygone de Willis .....	5
1-6- Echodoppler transcrânien (EDT) .....	9
1-7- Place de l'angioscanner .....	12
1-8- Limites de l'angioscanner cérébral .....	13
1-9- Objectifs de l'étude .....	13
II- Matériels et méthodes d'étude .....	15
2-1- Conception de la recherche .....	15
2-2- Méthodes de collecte des données .....	15
2-3- Sélection et taille de l'échantillon .....	16
2-4 Méthodes d'analyse des données .....	24
III- Résultats .....	25
3-1- Age .....	25
3-2- Sexe .....	26
3-3- Score de l'angio TDM et diagnostic posé .....	26
3-4- Lésions associées .....	31
3-5- Lésions de la voûte crânienne .....	33
3-6- Service de provenance des patients .....	33
IV- Discussion .....	34
4-1- Age / Population .....	34
4-2- Lésions associées / pathologies .....	34
4-3- Service de provenance .....	35

4-4- Technique d'acquisition.....	35
4-5- Score opacification .....	36
4-6- Intervalle de confirmation du diagnostic entre la réalisation du Scanner et la déclaration de la mort encéphalique .....	37
4-7- Evolution et différents types de score et sensibilité.....	37
4-8- Fonction rénale et injection.....	40
4-9- Les variations responsables de la différence des résultats de l'angioTDM...	40
4-10- Syndrome-like de la mort cérébrale.....	42
4-11- Les autres examens de confirmation du diagnostic .....	43
A - Comparaison entre l'angioTDM et l'artériographie cérébrale .....	48
B- Comparaison/ association de l'angioscanner cérébrale (CTA) avec l'imagerie de perfusion (CTP) .....	50
C- Comparaison/ association du CTA avec l'IRM .....	52
4-12- Transplantation –Greffon.....	54
4-13- Existence de guidelines sur le plan national .....	55
V- Conclusion.....	56
VI- Références.....	57

## **Liste des abréviations**

ACM : Artère cérébrale moyenne

AICA : Artère cérébelleuse antéro-inférieure

AVC : Accident vasculaire cérébral

CTA : Angioscanner artériel

CTP : Computed tomography perfusion (scanner de perfusion)

EDT : Echodoppler transcrânien

EEG : Electroencéphalogramme

EME : Etat de mort encéphalique

IRM : Imagerie par résonance magnétique

MIP : Maximum Intensity Projection

PACS : Picture archiving and communication system

PCI : Produit de contraste

PES : Potentiels évoqués somato-sensoriels

PIC : Pression intracrânienne

PICA : Artère cérébelleuse postéro-inférieure

PPC : Pression de perfusion cérébrale

RCR : Royal College of Radiologists

SIRS : syndrome de réponse inflammatoire systémique

TDM : Tomodensitométrie

TSA : Tronc supra aortique

VCI : Veine cérébrale interne

## **Liste des figures**

- Figure 1 : a- artères du cerveau (vue supérieure) b- diagramme montrant le devenir des troncs supra aortiques (vue de face) .....7
- Figure 2: TDM angio des TSA (vue antérieure). Suppression osseuse par soustraction avec reconstruction MIP .....8
- Figure 3: IRM : angiographie artérielle par temps de vol (TOF). MIP vue postérieure (a) et vue supérieure (b) .....9
- Figure 4: Évolution du profil d'enregistrement doppler de l'artère cérébrale moyenne depuis la normalité jusqu'à l'absence de flux artériel lors d'une augmentation progressive de pression intracrânienne (PIC) .....11
- Figure 5: Phase d'acquisition successive de l'angioscanner cérébral couplé au scanner thoraco-abdominal .....19
- Figure 6: Critères de la mort encéphalique à l'angioscanner cérébrale selon Frampas et al, avec le score en 4 points .....17
- Figure 7 : Comparaison d'un angioscanner de sujet sain (haut) et de sujet en mort encéphalique (bas) .....23
- Figure 8: Distribution de l'âge des patients dans le cadre du diagnostic de mort cérébrale .....25
- Figure 9: Distribution selon le sexe des patients ayant bénéficié d'une angioTDM cérébrale .....26
- Figure 10: Angioscanner cérébral normal d'un adulte normal .....29
- Figure 11: Angioscanner cérébral d'une mort cérébrale avant et après 60 secondes après l'injection du produit de contraste.....30

Figure 12: Coupe axial scanner cérébral en contraste spontané mettant en évidence une hémorragie méningée et un hématome sous galéal frontal droit .....32

Figure 13 : Angioscanner cérébral du diagnostic de mort encéphalique .....33

Figure 14 : (A) L'angiographie axiale (phase de 60 s) à différents niveaux ne montre pas de flux artériel ou veineux intracrânien .....50

Figure 15: Diagnostic clinique de mort cérébrale due à une acidocétose diabétique. Angioscanner cérébral et scanner de cérébral .....51

Figure 16: IRM et ARM en cas de mort cérébrale .....53

## **Liste des tableaux**

Tableau 1 : Score d'opacification en 4 points .....	27
Tableau 2 : Répartition des scores en 4 points au décours de l'angioTDM cérébrale.....	28
Tableau 3 : Répartition des lésions associées .....	31
Tableau 4 : Score d'opacification en 10 points, 7 points et 4 points.....	38
Tableau 5 : Résultats comparatifs, précision et pièges des tests auxiliaires d'électrophysiologie et de neuro-imagerie pour le diagnostic de la mort cérébrale .....	44

# I- Introduction

## *1-1- Définitions et physiopathologie*

La mort cérébrale est une question médicale et éthique cruciale qui touche les patients, les familles et les prestataires de soins de santé.

La mort encéphalique survient lorsque les fonctions du cerveau, notamment celles du tronc cérébral, sont perdues de manière irréversible. Cette condition est accompagnée de changements physiopathologiques significatifs, tels que des perturbations dans les systèmes hémodynamique, respiratoire, endocrinien, inflammatoire, de thermorégulation et d'hémostase. Le diagnostic d'état de mort encéphalique (EME) est établi dans les services de réanimation et les services d'urgence [1,2].

La mort cérébrale est différente du coma, de l'état végétatif ou d'autres états dans lesquels une personne peut avoir un certain degré de conscience ou de réactivité.

La détermination de la mort cérébrale est un processus complexe nécessitant une compréhension approfondie du cerveau et de ses fonctions, ainsi que l'évaluation clinique utilisés pour diagnostiquer la mort cérébrale et des examens paracliniques notamment radiologiques : l'angioscanner cérébral comme gold standard.

Elle soulève également des questions juridiques, éthiques et morales qui sont régulièrement débattues au sein de la communauté médicale. Dans plusieurs pays, et même aux États-Unis, la mort cérébrale est une définition légale de la mort, signifiant que la personne n'est plus en vie.

Les troubles hémodynamiques observés sont multifactoriels et évoluent en deux phases. Elle débute par un orage sympathique responsable d'une hypertension artérielle, d'une tachycardie et d'une vasoconstriction, mettant en danger les organes vitaux et pouvant provoquer une cardiomyopathie aiguë. La seconde phase est faite

d'une perte de tonus sympathique, entraînant une vasodilatation, une chute de la tension artérielle et une hypoperfusion des greffons. [2,3].

L'atteinte pulmonaire chez les patients atteints d'EME est également multifactorielle, avec plusieurs mécanismes impliqués tels que l'œdème pulmonaire d'origine neurogène, le SIRS ou syndrome de réponse inflammatoire systémique, la réanimation cardiopulmonaire, la ventilation mécanique, la pneumopathie et l'inhalation de contenu gastrique. Enfin, le diabète insipide observé lors de la mort cérébrale est due à la nécrose post hypophysaire, tandis que l'hyperglycémie est due à une baisse de l'insuline plasmatique et à une insulino-résistance.

## ***1-2- Historique***

Au fil du temps, le concept de mort cérébrale et sa reconnaissance en tant que définition légale de la mort ont subi des évolutions significatives. Dans le passé, la mort était essentiellement définie par l'arrêt du rythme cardiaque et de la respiration. Cependant, l'avènement de technologies médicales telles que la ventilation mécanique a remis en question cette définition traditionnelle de la mort.

Au cours des années 1950 et 1960, des publications et des cas médicaux ont mis en évidence le concept de mort cérébrale, qui se définit comme une perte totale et irréversible de la totalité des fonctions du cerveau, y compris la conscience et la respiration. En 1968, le comité ad hoc de la faculté de médecine de Harvard a établi les premiers critères de diagnostic de la mort cérébrale, qui ont été largement acceptés et adoptés par la communauté médicale. [4,5].

Les années qui ont suivi ont vu différents pays et organisations élaborer leurs propres critères de diagnostic de la mort cérébrale, créant ainsi un ensemble de définitions et de normes disparates. Malgré cela, les critères de diagnostic de Harvard ont

progressivement fait consensus et la mort cérébrale a été largement adoptée en tant que définition légale de la mort dans de nombreux pays, dont les États-Unis. [4,5]. Actuellement, la mort cérébrale est largement acceptée comme une définition légale de la mort dans de nombreux pays, et les critères de diagnostic sont bien établis et acceptés par la communauté médicale. Néanmoins, la détermination de la mort cérébrale reste un processus complexe, et les questions éthiques, juridiques et morales qui y sont associées sont encore discutées et débattues. [ 5,6 ].

### ***1-3- Législation***

Au Maroc , tout prélèvement d'organes sur les sujets en état de mort encéphalique est régi par les textes de loi, en l'occurrence la loi Dahir n° 1-99-208 du 13 jourmada I 1420 portant promulgation de la loi n° 16-98 relative au don, au prélèvement et à la transplantation d'organes et de tissus humains : dans son chapitre II Section 3. En substance. Le diagnostic de la mort cérébrale est établi en se basant sur des signes cliniques et paracliniques concordants, qui ont été définis par le ministère de la Santé suite à une proposition de l'Ordre national des médecins. Le constat de la mort cérébrale doit décrire les signes spécifiques qui ont été observés par les médecins compétents ayant constaté le décès. Certains centres publics dont la liste est connue sont soumis à cette autorisation via des procédures bien définies par la loi [7].

### ***1-4- Place du bilan paraclinique dans la mort encéphalique***

On utilise des tests diagnostiques pour confirmer la mort cérébrale chez les patients présentant des signes de perte de toutes les fonctions cérébrales. Ces tests ont pour objectif de fournir des preuves supplémentaires pour soutenir le diagnostic de mort cérébrale et d'exclure d'autres causes potentielles de coma ou d'inconscience [1,2,8].

- **L'électroencéphalographie (EEG)** : mesure l'activité électrique du cerveau et permet de confirmer l'absence de fonction cérébrale chez un patient suspecté de mort cérébrale. Si l'EEG réalisé chez un patient en état de mort cérébrale ne montre aucune activité électrique, cela indique que le cerveau ne fonctionne pas
- **Ultrasons Doppler transcrânien (EDT)** : est un test qui évalue le flux sanguin dans le cerveau en utilisant des ondes ultrasonores. Chez les patients en état de mort encéphalique, l'EDT ne montrera aucun flux sanguin dans le cerveau, confirmant ainsi l'absence de fonction cérébrale.
- **Test d'apnée** : consiste à interrompre temporairement la ventilation mécanique pour observer le patient et vérifier l'absence de respirations spontanées. Ce test permet de confirmer l'absence de fonction du tronc cérébral, responsable de la régulation de la respiration.
- **Potentiels évoqués somato-sensoriels (PES)** : mesure l'activité électrique de la moelle épinière et peut fournir des preuves de l'absence de fonction du tronc cérébral chez les patients en état de mort cérébrale. Si le PES ne montre aucune activité électrique chez un patient suspecté de mort cérébrale, cela confirme l'absence de fonction du tronc cérébral.

Les tests utilisés pour diagnostiquer la mort cérébrale varient selon les pays et susceptible de modification dans le temps à mesure que de nouvelles preuves et avancées médicales émergent. Néanmoins, le principe fondamental demeure : la perte irréversible et complète de toutes les fonctions cérébrales, y compris la conscience et la capacité à respirer, constitue une mort cérébrale. Les tests diagnostiques doivent être réalisés par un professionnel de santé qualifié possédant une expertise dans la détermination de la mort cérébrale, et plusieurs tests sont souvent nécessaires pour assurer un diagnostic précis et fiable. [1,2].

**Le diagnostic radiologique** joue un rôle crucial dans la détermination de la mort cérébrale. Voici quelques-unes des principales techniques d'imagerie utilisées dans le diagnostic de la mort cérébrale [1,2] :

- **Tomodensitométrie (TDM)** : L'angioscanner cérébral sont largement utilisés dans le diagnostic de la mort cérébrale, car ils fournissent des images détaillées du cerveau et peuvent identifier rapidement la mort du tronc cérébral.
- **Imagerie par résonance magnétique (IRM)** : est moins couramment utilisé que l'angioscanner mais fournit des informations supplémentaires, en particulier en cas de diagnostic incertain, mais permet aussi l'anoxie, qui peut imiter la mort cérébrale.
- **Angiographie à rayons X** : est une méthode d'imagerie avancée qui permet d'obtenir des images précises des vaisseaux sanguins du cerveau. Elle est utile pour détecter des anomalies telles que des caillots sanguins ou d'autres problèmes qui pourraient affecter le flux sanguin vers le cerveau.
- **Échographie Doppler transcrânienne** : est une méthode qui permet de mesurer le flux sanguin dans le cerveau sans nécessiter d'intervention invasive. Elle est couramment employée en conjonction avec d'autres tests de diagnostic pour confirmer le diagnostic de mort cérébrale, car elle peut identifier la cessation de l'activité cérébrale.

### ***1-5- Rappels anatomiques sur le polygone de Willis***

Le cercle artériel de la base, également connu sous le nom de polygone de Willis, est formé par la jonction des systèmes artériels carotidiens et vertébro-basilaire à l'isthme du cerveau. Les artères communicantes postérieures relient l'artère cérébrale

postérieure à l'artère carotide interne de chaque côté, tandis que l'artère communicante antérieure relie les artères cérébrales antérieures entre elles. [9].

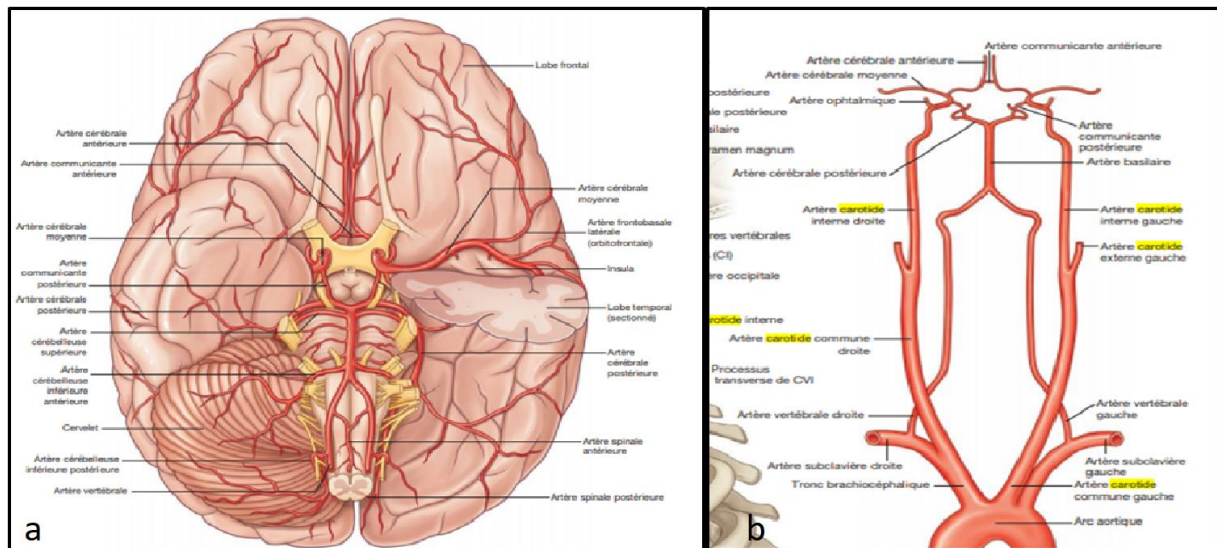
Cependant, les connexions entre les systèmes artériels peuvent être faibles et en conditions normales, il est considéré que chaque hémisphère est approvisionné en sang par les artères carotides internes et les artères cérébrales postérieures correspondantes. Les trois systèmes artériels cérébraux qui alimentent le cerveau sont les artères cérébrales antérieures et moyennes qui sont approvisionnées par la carotide interne, et l'artère cérébrale postérieure qui est alimentée par le système vertébro-basilaire. [9].

- Les artères cérébrales antérieures (2 portions : A1-A2) naît de la carotide interne
- Les artères cérébrales moyennes (4 portions : M1-M2-M3-M4) naît de la carotide interne
- Les artères cérébrales postérieures (4 portions : P1-P2-P3-P4) naît du tronc basilaire

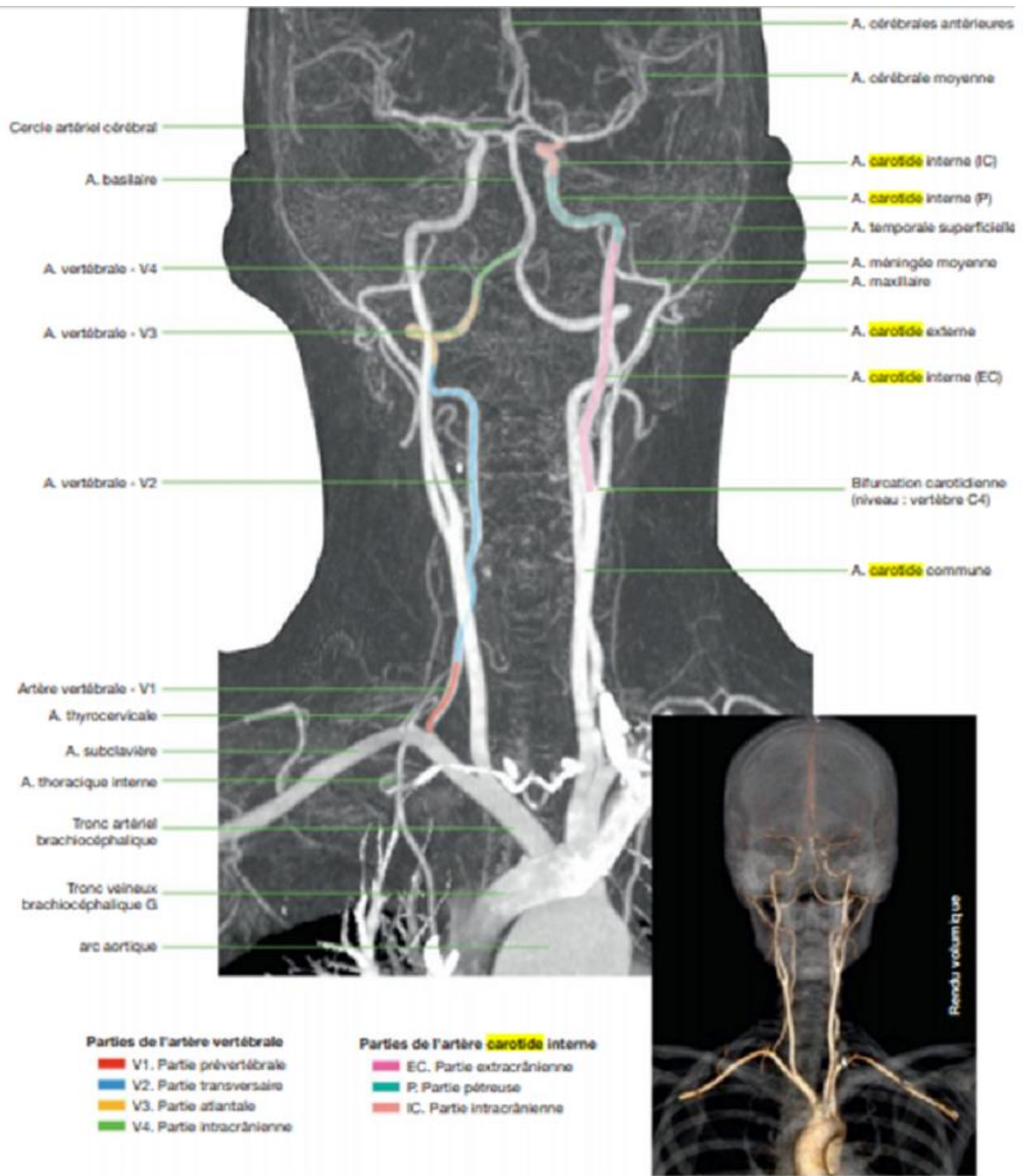
La carotide interne entre dans le crâne par le canal pétreux à la base du crâne. À sa sortie, son segment siphon ou sinueux est divisé en cinq segments numérotés dans le sens inverse du flux sanguin, selon la classification de Fischer.

Les segments V4 intracrâniens des artères vertébrales se réunissent pour former l'artère basilaire, qui se divise ensuite en artères cérébrales postérieures droite et gauche. Les branches de l'artère basilaire comprennent les artères cérébelleuses postéro-inférieures (PICA), les artères cérébelleuses moyennes ou antéro-inférieures (AICA) et les artères cérébelleuses supérieures.

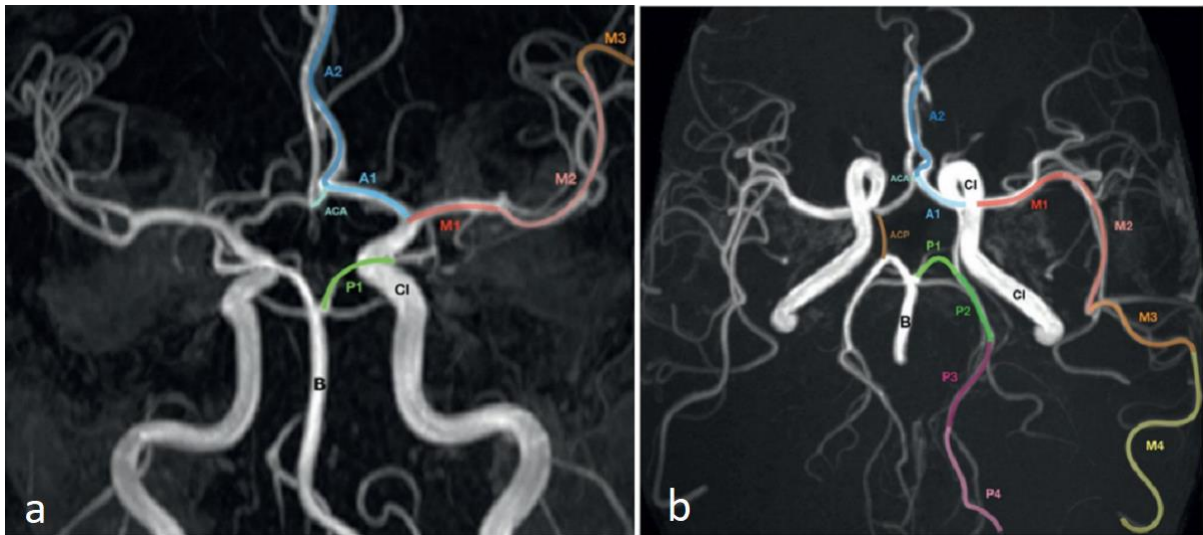
Chez seulement 20 % de la population, le cercle anastomotique de la base du crâne est entièrement formé. Dans au moins 80 % des cas, un segment artériel est manquant. Il a été estimé qu'il existe environ vingt variations possibles.



**Figure 1 : a- artères du cerveau (vue supérieure) b- diagramme montrant le devenir des troncs supra aortiques (vue de face)**



**Figure 2: TDM angio des TSA (vue antérieure). Suppression osseuse par soustraction avec reconstruction MIP**



**Figure 3:** IRM : angiographie artérielle par temps de vol (TOF). MIP vue postérieure (a) et vue supérieure (b)

### ***1-6- Echodoppler transcrânien (EDT)***

Il reste une technique non invasive utilisée dans le diagnostic de la mort cérébrale. L'EDT mesure le flux sanguin dans le cerveau et peut être utilisé pour détecter la mort du tronc cérébral. Il est souvent effectué en conjonction avec d'autres tests de diagnostic pour confirmer le diagnostic de mort cérébrale [10].

L'échodoppler transcrânien présente une sensibilité 88-95% de et une spécificité de 99% après le 1<sup>er</sup> examen, dans la littérature [11]. Une récente méta-analyse a montré que cette méthode présente une spécificité de 99% et une sensibilité de 95% par rapport à l'angiographie [12]

Le monitoring continu est la seule méthode capable d'évaluer directement la perfusion cérébrale au chevet du patient. Grâce à sa sécurité et à sa disponibilité, il est considéré comme une méthode très intéressante. Il permet de mesurer la vitesse du flux sanguin artériel dans le cerveau, ainsi que la vitesse moyenne et l'indice de

pulsatilité cérébrale. Lors de l'examen, l'artère cérébrale moyenne est généralement examinée par la voie temporale, tandis que l'accès au tronc basilaire par la voie sous-occipitale peut s'avérer difficile chez les patients en réanimation. Cependant, le monitoring de l'artère cérébrale moyenne est considéré comme fiable et pertinent car elle reçoit environ 80 % du débit sanguin cérébral, en faisant ainsi un choix privilégié pour un monitoring continu. Avant la mort encéphalique, une évolution caractéristique des vitesses est observée, avec une augmentation de l'indice de pulsatilité systolique associée à un flux diastolique nul.

Plus tard, l'arrêt de la circulation sanguine, et donc l'état de mort encéphalique, sont identifiés par un flux diastolique rétrograde (équivalent à l'aire systolique et diastolique) et par l'apparition de brefs pics protosystoliques de faible amplitude et de durée [11].

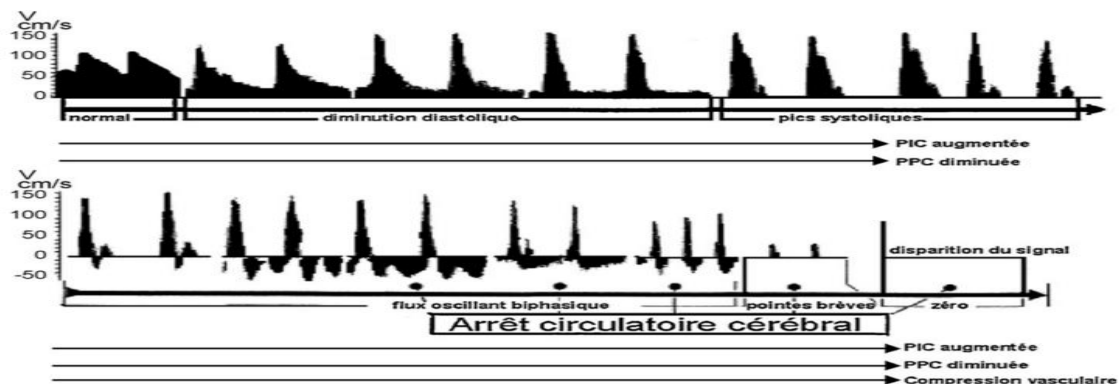
### **1-6-1- Technique**

L'examen est effectué en utilisant une sonde de basse fréquence (entre 1 et 5 MHz) de type phased-array. La fenêtre acoustique se situe dans la région temporale. Pour réaliser l'examen, le patient doit être en position couchée sur le dos, tandis que l'examineur se situe à la tête du patient ou sur le côté.

### **1-6-2- Résultats et critères diagnostics**

La constatation de la mort encéphalique est basée sur la réalisation d'exams successifs qui montrent l'absence de perfusion cérébrale, ainsi qu'un flux oscillant ou des pointes protosystoliques isolées d'une durée inférieure à 200 ms et d'une vitesse maximale inférieure à 50 cm/s [11]

- Pré requis : critères cliniques présents
  - 02 examinateurs
  - Absence de facteurs confondants
  - Absence de drain, craniectomies
  - Exclusion nouveaux nés
- Critères de la mort cérébrale : arrêt circulatoire cérébral irréversible
  - 2 examens  $\geq$  30min d'intervalle
  - Bilatéral
  - Artères intra/extra crâniennes
- Les paramètres doppler :
  - La disparition des vitesses diastoliques
  - Le flux diastolique négatif (flux oscillant)
  - Absence totale de flux



**Figure 4:** Le profil d'enregistrement Doppler de l'artère cérébrale moyenne évolue à mesure que la pression intracrânienne augmente, passant d'un état normal à une absence de flux artériel, adapté de Hassler et al. [7].

### **1-6-3- Limites de l'échodoppler transcrânien**

La simple absence de signal final ne suffit pas à confirmer le diagnostic de mort encéphalique, car cela peut être dû à des difficultés d'insonation. Pour que le diagnostic soit valide, la technique du Doppler transcrânien doit être réalisée des deux côtés et pendant au moins trente minutes. Toutefois, environ 20% des patients peuvent rencontrer des difficultés d'insonation, tels que des traumatismes importants ou l'absence de fenêtre Doppler. Dans ces cas, la voie transorbitale est une alternative pour l'examen du siphon carotidien. Il est à noter que la présence d'un flux rétrograde peut être observée chez les patients atteints d'insuffisance aortique sévère ou chez les malades sous ballon de contre-pulsion, ce qui nécessite alors un autre type d'examen. Dans plusieurs pays européens, cet examen est validé en tant que méthode de confirmation pour le diagnostic de mort encéphalique [12,13].

### ***1-7- Place de l'angioscanner***

En 2023, différents organismes britanniques, dont la Faculty of Intensive Care Medicine, la British Society of Neuroradiologists et la RCR, ont publié un document de consensus sur l'utilisation de l'angiographie par tomodensitométrie comme test auxiliaire pour la mort cérébrale par des critères neurologiques [14,15]. Cela est recommandé lorsque l'examen neurologique complet ou les conditions perturbatrices ne peuvent pas être effectuées ou exclues. Cette évaluation d'imagerie utilise les critères à 4 points décrits par Frampas.

***L'angioscanner cérébral***, également connu sous le nom d'angiographie cérébrale, est un test de diagnostic utilisé dans la détermination de la mort cérébrale. L'angioscanner est une procédure invasive qui implique l'injection d'un produit de contraste dans les vaisseaux sanguins du cerveau, permettant d'obtenir des images détaillées de la circulation sanguine dans le cerveau [16].

La mort du tronc cérébral se caractérise par l'absence de réflexes du tronc cérébral et l'incapacité du cerveau à contrôler les fonctions de base comme la respiration et le rythme cardiaque.

### ***1-8- Limites de l'angioscanner cérébral***

Certains facteurs rendent difficile l'interprétation de l'angioTDM cérébrale pour le diagnostic de la mort encéphalique. La craniectomie et les fractures de la base du crâne affectent l'opacification des vaisseaux cérébraux, tandis que la présence de mouvements spontanés et réflexes chez les patients peut retarder la confirmation du diagnostic. Les altérations de la pression intracrânienne dues à un défaut de la boîte crânienne peuvent également perturber l'hémodynamique et réduire la précision de la TDM pour confirmer la mort cérébrale. La répartition inégale de l'hypertension intracrânienne chez certains patients en état de mort cérébrale, due à une décompression locale de la fosse crânienne, est une limite supplémentaire de l'angioTDM cérébrale pour le diagnostic. Ces difficultés diagnostiques peuvent être surmontées en utilisant des critères d'interprétation des images modifiés et en prenant en compte les particularités de chaque cas [15].

### ***1-9- Objectifs de l'étude***

Le but de ce mémoire est de fournir un aperçu complet du diagnostic de la mort cérébrale, y compris un aperçu de l'historique, les tests de diagnostic par l'angioscanner cérébral, et les considérations éthiques, juridiques.

- Les objectifs de ce travail sont comme suit :

1. Passer en revue la littérature actuelle sur la mort cérébrale.

2. Examiner l'évaluation clinique et les tests de diagnostic utilisés pour diagnostiquer la mort cérébrale : angioscanner cérébral
3. Discuter des questions éthiques et juridiques liées à la mort cérébrale.
4. Évaluer les controverses et les débats actuels entourant la mort cérébrale.
5. Fournir des recommandations pour les recherches futures sur la mort cérébrale.

## II- Matériels et méthodes d'étude

### ***2-1- Conception de la recherche***

Il s'agit d'une étude rétrospective descriptive et analytique qui s'est déroulée sur une période de 14 mois. (1<sup>er</sup> janvier 2022- 28 Février 2023)

Cette étude s'est déroulée au sein du service de radiologie des urgences de l'hôpital Avicennes , Ibn Sina.

Ce service constitue une pierre angulaire dans le fonctionnement des urgences avec un rôle essentiel dans le diagnostic et la prise en charge des patients à travers son volet de radiologie interventionnelle. Différents examens y sont pratiqués notamment la radiographie standard, l'échographie, la tomodensitométrie, l'imagerie par résonance magnétique et la radiologie interventionnelle.

### ***2-2- Méthodes de collecte des données***

Il s'agit d'un échantillonnage exhaustif. L'enquête a pris en compte tous patients ayant bénéficié d'un angioscanner cérébral sans distinction de sexe dans le cadre du diagnostic de la mort cérébrale.

Les outils de collecte sont :

- ✓ Les registres, les comptes rendus des angioscanner réalisés pour les patients
- ✓ Le système de PACS (Picture archiving and communication system) du service de la radiologie des urgences
- ✓ La fiche d'enquête élaborée à cet effet comportant les paramètres suivant : âge, sexe, lésions associées, score angiographie

## ***2-3- Sélection et taille de l'échantillon***

Notre étude repose sur la base de données du service de la radiologie des urgences de l'hôpital Avicennes de Rabat, sur une période 14mois.

Elle a dénombré 26 patients ayant un bénéficié d'un angioscanner cérébral au sein de notre service sans distinction de sexe.

Patients inclus : 26 patients. L'ensemble des patients ont été inclus dans l'étude.

Critères d'inclusion : Patients ayant bénéficié d'un angioscanner cérébral pour vérifier l'état de conscience en vue d'affirmer ou d'infirmer l'état de mort cérébrale

Patients exclus : Aucun

Les angioscanner cérébraux ont été réalisés avec un scanner multibarrettes (16 barrettes) type General Electric.

### **2-3-1- Protocole de l'examen**

Le protocole appliqué était comme suivi :

#### **■ Préparation :**

- Voie veineuse périphérique de bon calibre.
- Le patient en décubitus dorsal.

#### **■ Acquisitions et protocole :**

- Placement des acquisitions volumiques sur topogramme couvrant la totalité du crâne partant du rachis cervical au niveau de la 2<sup>e</sup> vertèbre cervical
- Acquisition hélicoïdale sans injection et avec injection de produit de contraste iodé suivant le champ du topogramme

80 ml de produit de contraste iodé ont été injectés à un débit de 4 ml/s.

Cette procédure est standardisée en 3 étapes :

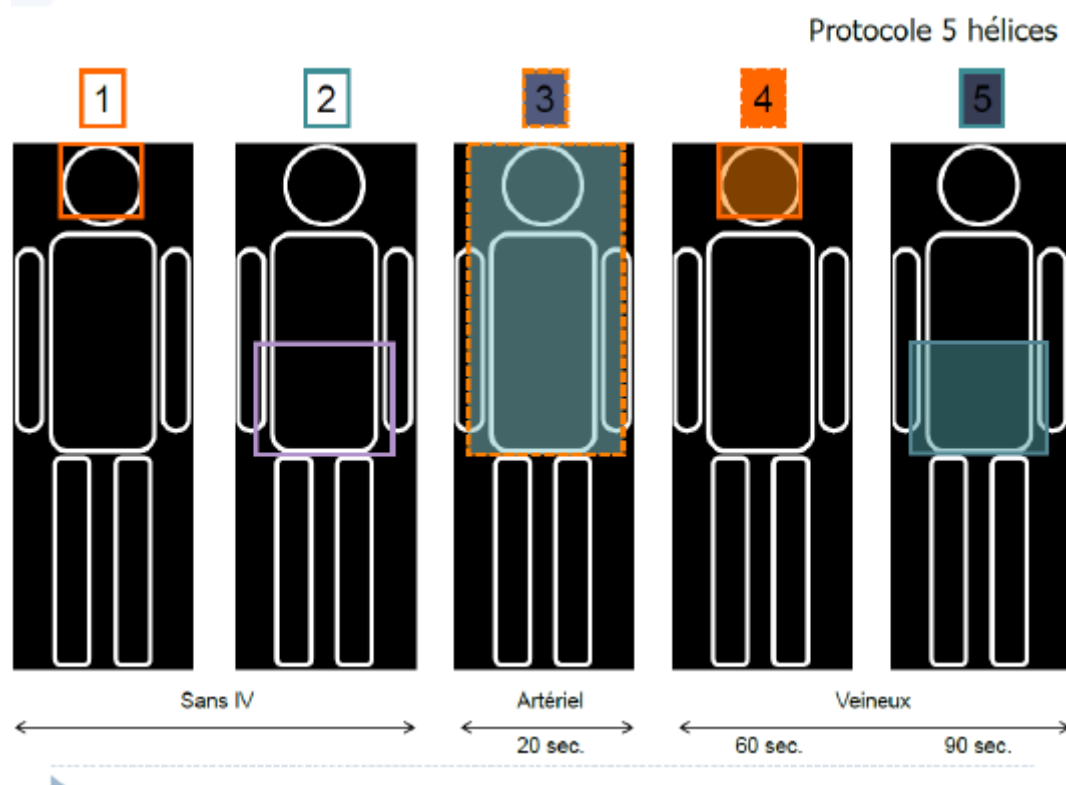
- **1e phase** : coupes sans injection de produit de contraste iodé pour visualiser les lésions cérébrales ainsi que les signes d'hypertension intracrânienne
- **2e phase** : injection de produit de contraste avec une première acquisition précoce artérielle à 20 secondes. L'analyse des images permet de s'assurer que l'injection de PCI est effective avec un débit cardiaque suffisant permettant l'opacification des branches de division des artères carotides externes c'est-à-dire les 2 artères temporales superficielles.
- **3e phase** : acquisition à 60 secondes après le début de l'injection. Pour l'étude de l'opacification du territoire artériel carotidien interne, des artères cérébrales et vertébrales ainsi que l'opacification des veines.

#### ■ *La place du scanner thoraco abdominal*

On peut procéder dans ce cas à un angioscanner intégrant la partie thoraco-abdominal en vue de la visualisation de l'intégrité des organes à prélever quand la mort cérébrale est confirmée. Il s'agit d'un bodyscanner avec des différents temps d'acquisition bien précis [17].

- Un topogramme unique de la tête au pelvis
- Une acquisition sans injection cérébral et abdominal : en vue de détecter un ou des collections liquidiennes
- Une phase artérielle à 20 secondes de la tête au pelvis : pour un bilan vasculaire artériel cérébral et thoraco-abdominal, à la recherche de variantes et anomalies ainsi que de saignements artériels

- Une phase veineuse à 60 secondes cérébrale : Opacification des artères temporales superficielles et l'absence d'opacification des branches corticales M4 des ACM et des VCI → score=4
- Une acquisition veineuse à 90 secondes sur l'abdomen : état de perfusion du foie, des reins, du pancréas, des poumons et du cœur



**Figure 5:** Phase d'acquisition successive de l'angioscanner cérébral couplé au scanner thoraco-abdominal

■ **Technique de lecture :**

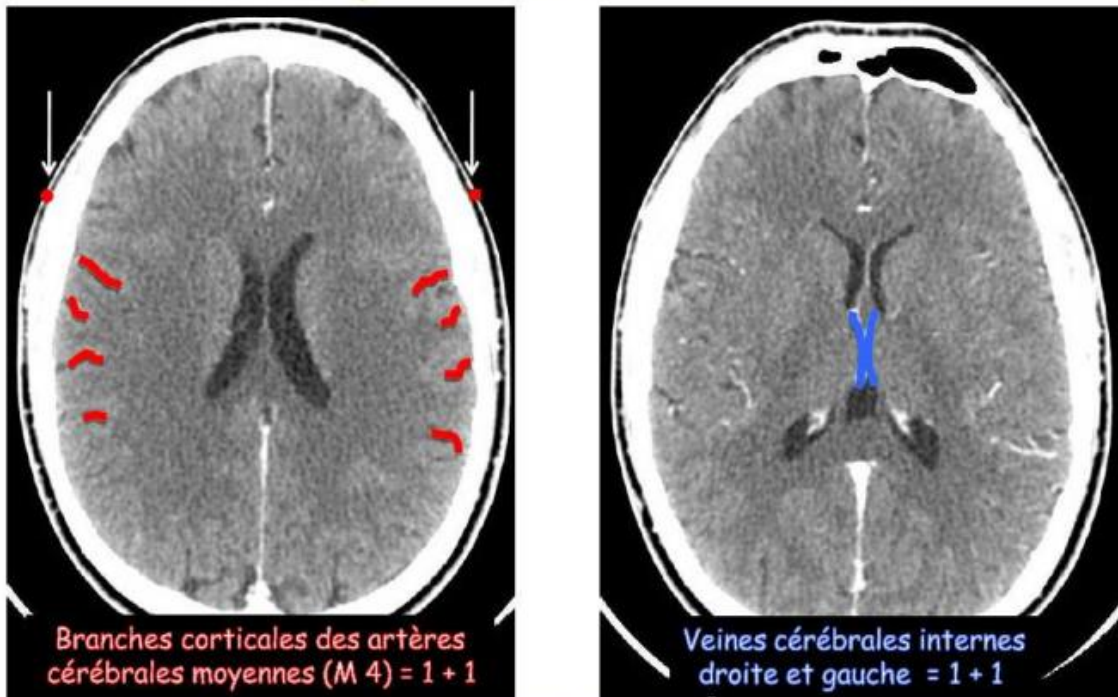
- Séries de base : Reconstruction de 1 à 1,5mm sur des coupes sériées de 3-5mm
- Coupes axiales et reconstructions multi planaires (coronales/sagittales/obliques).

- Mode projection d'intensité (MIP) : meilleure étude de l'axe vasculaire des troncs supra aortiques notamment cérébraux.

### 2-3-2- Analyse de l'image

La lecture des angioscanners cérébraux se sont faites par un sénior spécialiste en imagerie d'urgence avec un junior résident en imagerie médicale.

Critères diagnostiques de Mort Encéphalique  
angioscanner cérébral à 1 minute après injection  
arrêt circulatoire = Non opacification des artères et des veines intracérébrales



MORT ENCÉPHALIQUE si le SCORE de NON OPACIFICATION = 4  
▶ Frampas et al. CT angiography for brain death diagnosis. AJNR 2009; 30:1566-1570

**Figure 6:** Critères de la mort encéphalique à l'angioscanner cérébrale selon Frampas et al, avec le score en 4 points

## **Les critères angiographiques de la mort cérébrale**

### **■ Lecture de l'examen :**

#### ***i- A l'étage cérébral*** : Score de non opacification vasculaire cérébrale

Avant le début de l'étude, il est nécessaire de visualiser les artères temporales superficielles droite et gauche pour confirmer l'injection correcte du PCI. Ensuite, l'étude consiste à examiner l'opacification des branches corticales des ACM (M4) et des VCI droites et gauches en utilisant le score en 4 points proposé par Frampas et al [18] (Figure 7). Ce score attribue 1 point en cas d'absence d'opacification et 0 point en cas de non-opacification. Un score de 4 indique un arrêt circulatoire cérébral affirmé et la conclusion doit être « arrêt circulatoire cérébral ». Cela confirme le diagnostic clinique de l'EME. Si le score est inférieur à 4, la conclusion sera « absence d'arrêt circulatoire cérébral », et le diagnostic clinique ne sera pas confirmé.

Selon les critères diagnostiques de la mort encéphalique par la technique d'angiographe cérébral : L'absence totale d'opacification bilatérale des branches M4 des ACM sur la dernière spirale après injection avec le non rehaussement des veines profondes (VCI) est un critère suffisant affirmatif du diagnostic de ME ;

Si opacification unilatérale d'une ou deux branches corticales de ACM, le diagnostic de ME peut être affirmé à condition de s'être assuré de la non opacification du réseau veineux profond ;

Si opacification du réseau veineux profond, l'angiographe cérébral doit être refaite dans un délai minimum de six heures quelle que soit l'opacification des artères cérébrales.

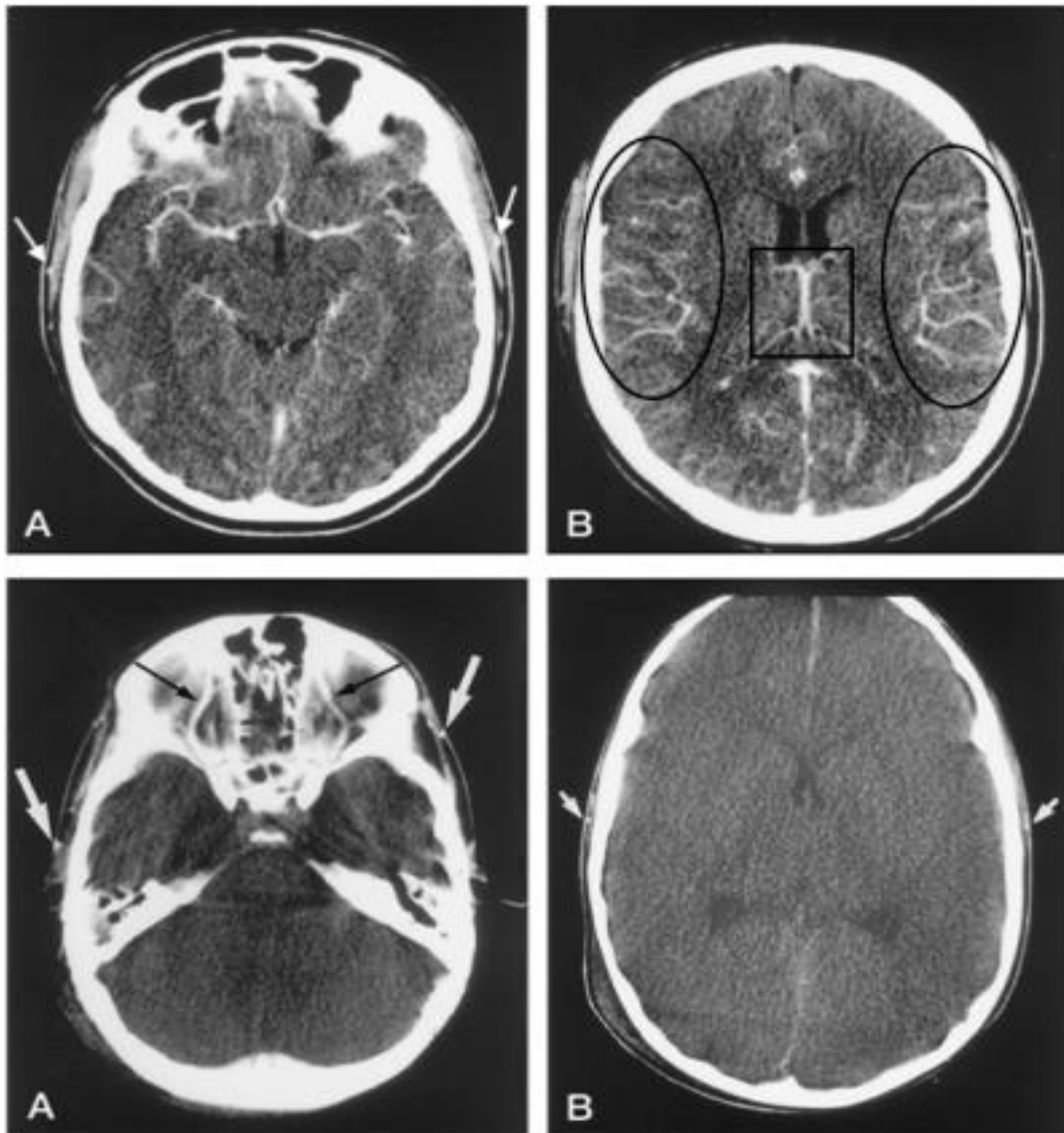
#### ***ii- Aux étages thoraco-abdomino-pelvien*** : On utilise la technique de scanner corps entier pour évaluer la qualité des greffons potentiels. Après l'injection pour confirmer

l'EME, le scanner est également utilisé pour détecter toute contre-indication au don d'organe, telle qu'une tumeur, ainsi que pour examiner les variations anatomiques

**Compte rendu type de l'angioscanner cérébral**

Protocole : acquisition C- et C+ à 60 sec après bolus de 2mg/kg de PCI avec un débit de 3ml/s	
<b>Diagnostic clinique</b> : scanner réalisé : <b>date</b> : <b>heure</b> /	
Pré requis, existence d'une circulation générale : oui	
Description des lésions cérébrales :	
Opacification des artères temporales superficielles : oui / non	
<b>Score de vascularisation intracrânienne</b>	
Artères corticales (M4) de l'artère cérébrale moyenne droite	0 / 1
Artères corticales (M4) de l'artère cérébrale moyenne gauche	0 / 1
Veine cérébrale interne droite	0 / 1
Veine cérébrale interne gauche	0 / 1
Score=4/4 : l'absence totale d'opacification bilatérale des branches corticales(M4) des ACM à 60 sec et l'absence de rehaussement des veines profondes permet d'affirmer la mort encéphalique.	Score=4/4 → Arrêt circulatoire

<p>Score=3/4 : en cas d'opacification unilatérale d'une des branches corticales(M4) des ACM, le diagnostic de la mort encéphalique ne peut être affirmé. La non opacification des 2 veines cérébrales internes est nécessaire pour affirmer la mort encéphalique</p>	<p>Score à 3/4 → Arrêt circulatoire Absence d'arrêt circulatoire*</p>
<p>Score ≤ 3/4 : L'examen scanographique doit être répété dans un délai d'au moins 6 heures</p>	<p>Score &lt; 3/4 Absence d'arrêt circulatoire*</p>
<p>0 = Opacification 1= Pas d'opacification • = Scanner à refaire dans 6h</p>	
<p><b><u>Conclusion :</u></b> <b>score : arrêt circulatoire oui / non</b></p>	



**Figure 7 :** Comparaison d'un angioscanner de sujet sain (haut) et de sujet en mort encéphalique (bas)

A : 26s, opacification après injection des artères temporales superficielles (flèches blanches)

B : opacification des branches corticales des ACM (cercle noir) et des veines cérébrales internes (carré noir)

A : à 25s, opacification des artères temporales superficielles (flèches blanches) et des veines ophtalmiques (flèches noires)

B : à 60s, opacification des artères temporales superficielles (flèches blanches) sans opacification bilatérale des branches M4 des ACM et des VCI.

## ***2-4 Méthodes d'analyse des données***

Le traitement des données a été fait avec les logiciels Word et Excel. Les données ont été codifiées et analysées dans le logiciel statistique SPSS.

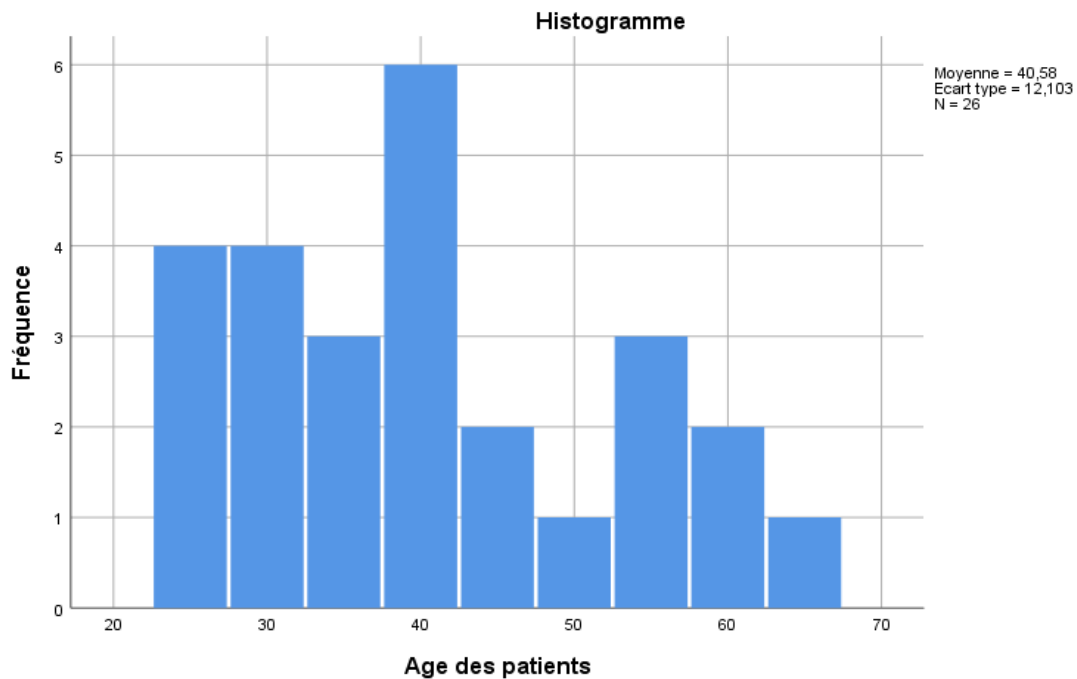
Le test statistique de Chi carré ou de Fisher a été utilisé pour la comparaison des proportions. Le seuil statistique significatif pour les analyses a été de 0,05.

## III- Résultats

### 3-1- Age

L'âge moyen des patients était de 40,58 ans avec un âge minimum de 25ans et maximum de 63ans (E-T=12,103). (Voir Figure 8)

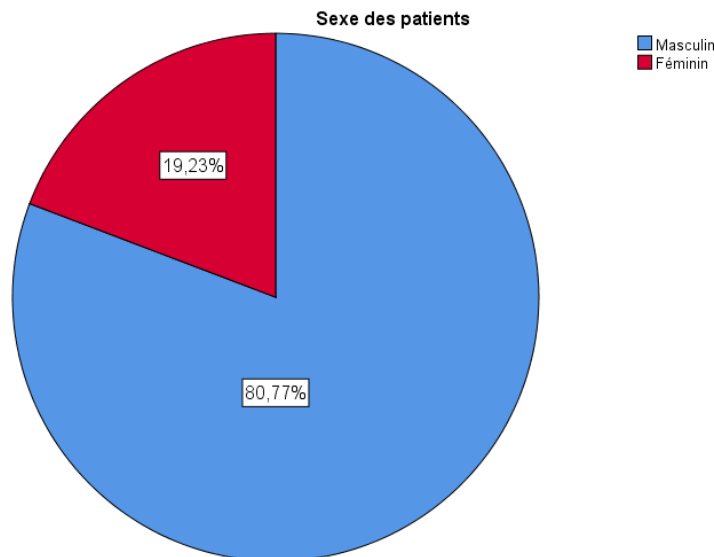
La plupart des sujets était jeune.



**Figure 8:** Distribution de l'âge des patients dans le cadre du diagnostic de mort cérébrale

### 3-2- Sexe

Dans notre série le sexe masculin était dominant soit 80,8% contre 19,2% pour le sexe féminin. (Figure 9)



**Figure 9:** Distribution selon le sexe des patients ayant bénéficié d'une angioTDM cérébrale

### 3-3- Score de l'angio TDM et diagnostic posé

L'opacification des vaisseaux cérébraux a été faite par analyse visuelle, les séquences sans et après injection de PCI. Les artères temporales superficielles étaient opacifiées à 20 secondes chez tous les patients, confirmant l'injection correcte du produit de contraste ; et elles étaient toujours visualisées à 60 secondes.

Après une topographie latérale, trois acquisitions similaires ont été planifiées à partir du niveau C1-C2 jusqu'à la convexité. La première acquisition s'est faite

sans injection de produit de contraste, puis avec injection de produit de contraste non ionique (120 ml ; concentration 300 mg/ml) dans une veine antécubitale à un débit de 3 ml/s à l'aide d'un injecteur automatique et d'un cathéter de 18 gauge. Les deux autres acquisitions ont été faites à 20 et 60 secondes après le début de l'injection du produit de contraste. Des images axiales successives de 5mm ont ensuite été reconstruites. Des reconstructions multi planaires sur les séquences pré contraste et post contraste.

Le score en 4 points est celui utilisé pour l'interprétation des angioTDM cérébrales. Les critères d'interprétation étaient comme établit dans le tableau ci-dessous (tableau 1) :

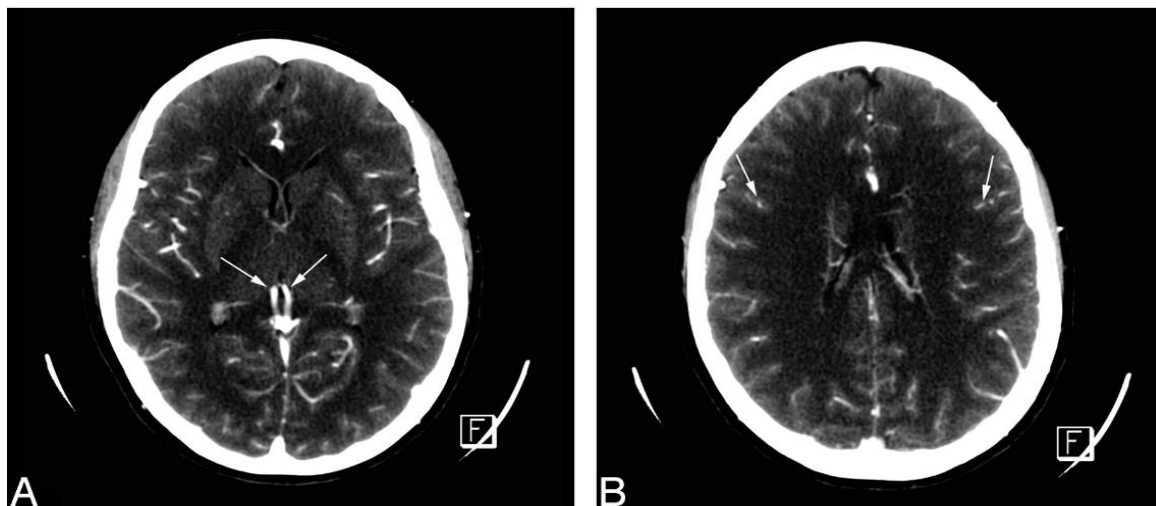
**Tableau 1 : score d'opacification en 4 points**

Score=4/4 : l'absence totale d'opacification bilatérale des branches corticales(M4) des ACM à 60 sec et l'absence de rehaussement des veines profondes permet d'affirmer la mort encéphalique.	Score=4/4 → Arrêt circulatoire
Score=3/4 : en cas d'opacification unilatérale d'une des branches corticales(M4) des ACM, le diagnostic de la mort encéphalique ne peut être affirmé. La non opacification des 2 veines cérébrales internes est nécessaire pour affirmer la mort encéphalique	Score à 3/4 → Arrêt circulatoire Absence d'arrêt circulatoire*
Score ≤ 3/4 : L'examen scanographique doit être répété dans un délai d'au moins 6 heures	Score < 3/4 Absence d'arrêt circulatoire*

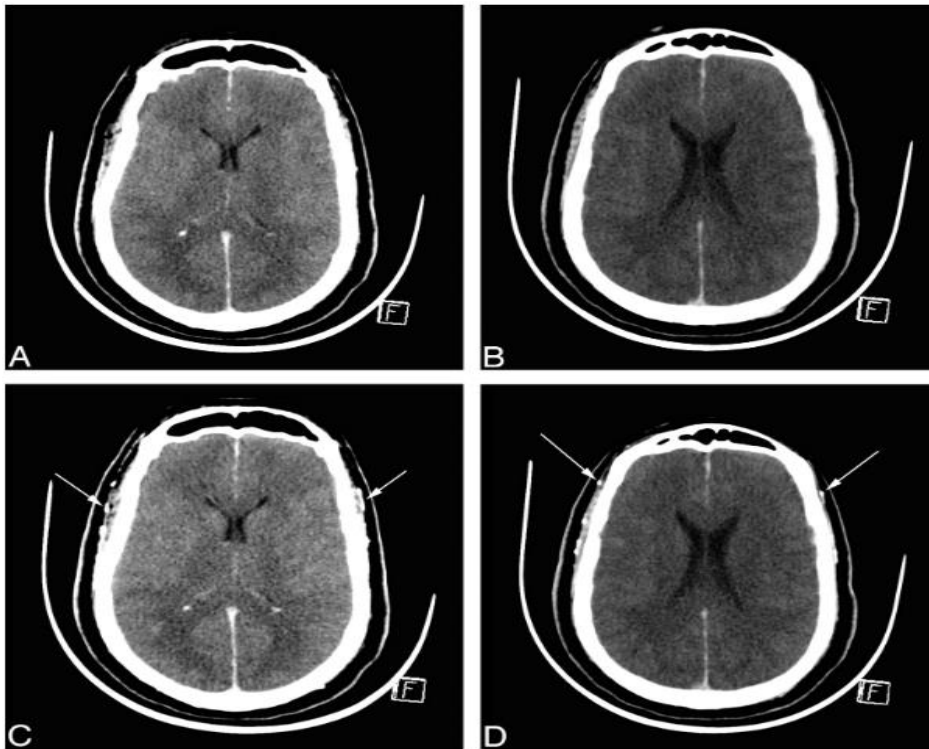
Le diagnostic de mort cérébrale était confirmé chez 61,5% des patients, contre 34,5% d'absence d'arrêt circulatoire. On notait une bonne opacification des branches corticales et des veines cérébrales internes chez 26,9% des patients. (tableau 2)

**Tableau 2: Répartition des scores en 4 points au décours de l'angioTDM cérébrale**

Score en 4 points				
	Fréquence	Pourcentage	Pourcentage valide	Pourcentage cumulé
0/4	7	26,9	26,9	26,9
2/4	2	7,7	7,7	34,6
3/4	1	3,8	3,8	38,5
4/4	16	61,5	61,5	100,0
Total	26	100,0	100,0	



**Figure 10:** Angioscanner cérébral normal d'un adulte normal avec opacification de tous les vaisseaux intracrâniens, les artères cérébrales moyennes, les veines cérébrales internes (flèches), le sinus droit et le sinus sagittal supérieur sont opacifiés. B, Les artères corticales sont opacifiées (flèches). Dans les deux cas, les artères temporales superficielles sont visibles (score 0/4)



**Figure 11:** Angioscanner cérébral d'une mort cérébrale avant et après 60 secondes après l'injection du PCI. A et B, coupes non injectées. C et D, coupes de CT correspondantes avec des paramètres de fenêtre identiques 60 secondes après l'injection du produit de contraste, démontrant une absence de visualisation des VCIs et des segments corticaux des ACMs. Les deux artères temporales superficielles sont opacifiées, indiquant que le produit de contraste a été correctement injecté (flèches).  
Score 4/4

### 3-4- Lésions associées

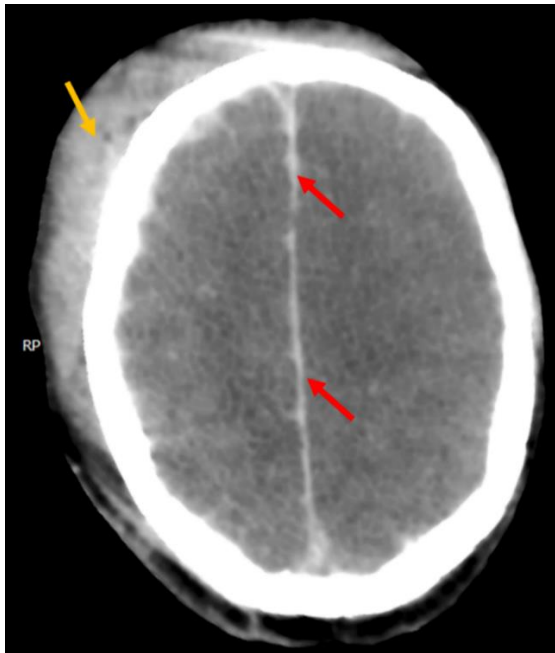
Différentes types de lésions étaient retrouvées chez les patients au décours de l'angioTDM cérébrale dans 96,2% des cas.

Les lésions retrouvées par ordre de fréquence : l'hémorragie méningée, les hématomes cérébraux (hématomes sous et extra-duraux, contusions et hématomes intra parenchymateux), l'œdème cérébral, les fractures du crâne (tableau 3). (Figure 12)

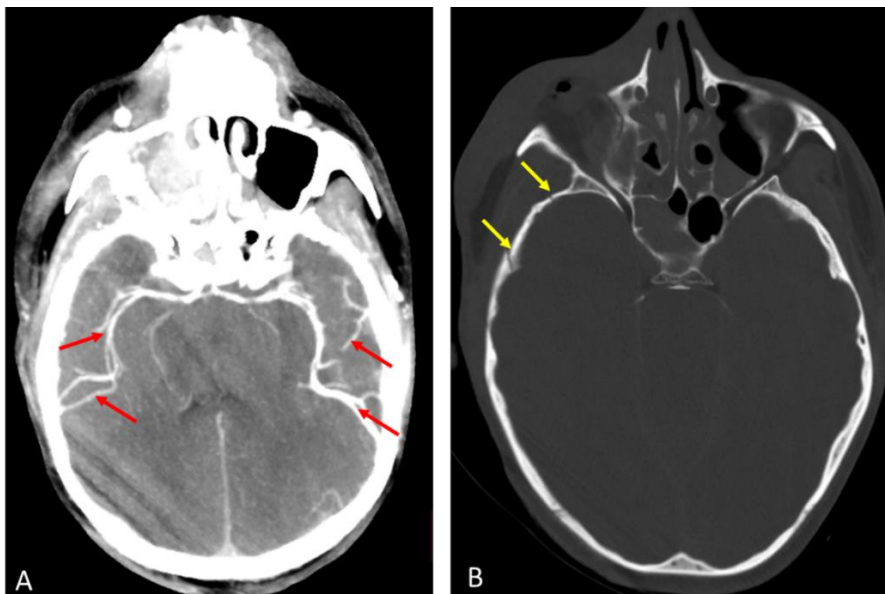
Environ 9,5 % des patients présentait un engagement cérébral (sous falcoriel, amygdalien)

**Tableau 3: Répartition des lésions associées**

Fréquence des lésions associées				
		N	Pourcentage	Pourcentage d'observations
Lésions associées	Hématomes cérébraux	18	28,6%	72,0%
	Hémorragie méningée	20	31,7%	80,0%
	Oedème cérébral	11	17,5%	44,0%
	Engagement cérébral	6	9,5%	24,0%
	Fractures des os crane/autres	8	12,7%	32,0%
Total		63	100,0%	252,0%



**Figure 12: Coupe axial scanner cérébral en contraste spontané mettant en évidence une hémorragie méningée (flèche rouge) et un hématome sous galéal frontal droit (flèche jaune)**



**Figure 13 :** Angioscanner cérébral du diagnostic de mort encéphalique : (A ) après 60s d'injection avec opacification des branches corticales des ACM (flèches rouges) et absence d'opacification des VCI avec un score à 2/4 et en (B) fenêtre osseuse montrant des traits de fracture de l'os temporal droit (flèches jaunes)

### ***3-5- Lésions de la voûte crânienne***

Les altérations de la voûte crânienne peuvent parfois être responsables de la difficulté et/ou de la modification du score de l'angioTDM cérébrale. Dans notre série 30,2% des patients avait un défaut osseux.

### ***3-6- Service de provenance des patients***

Le service d'accueil des urgences est le point d'entrée principal des patients. La majorité des patients ayant bénéficié d'angioscanner cérébral provenait du service de réanimation chirurgicale (RUCH) et dans une moindre mesure le service de réanimation médicale / polyvalente.

## IV- Discussion

### ***4-1- Age / Population***

La population de patients était hétérogène dans les études de la littérature sans une spécificité. L'âge médian des patients était de 52ans [19,20]. Le sexe féminin était représenté à 42% [20].

Young-Soo et al, retrouve un âge moyen de  $48.9 \pm 13.1$  ans, avec 29% de femme et un délai de détermination de la mort cérébrale de  $8,5 \pm 7$  jours [21]

### ***4-2- Lésions associées / pathologies***

Une étude multicentrique réalisée de 1998 en 2014 dans plusieurs hôpitaux européens et nord-américains retrouve l'implication des deux sexes. Les causes des morts encéphaliques étaient les traumatismes crâniens, les accidents vasculaires ischémiques, l'hémorragie intra crânienne, les tumeurs cérébrales, l'anoxie cérébrale, les méningites ou la thrombose du sinus veineux cérébral [22]. Julie et al retrouve par ordre de fréquence comme cause de décès : les AVC hémorragiques (43%), les traumatismes crâniens (28%), la pendaison 13%, ACR 9%, AVC ischémique 5%, les autres (2% : encéphalite post infectieuse, abcès cérébraux, méningites, tumeur cérébrale, dissection aortique...) [19].

Grigoras et al, retrouve des résultats similaires avec les hémorragies intra crâniennes (58.3%) suivies des traumatismes crâniens (25%) [23].

Young-Soo et al, retrouve comme étiologie quant à eux : Traumatisme crânien (30,9 %), Lésion cérébrale hypoxique (26,1 %), Hémorragie sous-arachnoïdienne (21,5 %), Hémorragie intracrânienne (18,1 %), Accident vasculaire cérébral ischémique (3,4 %) [21].

### ***4-3- Service de provenance***

La grande majorité des patients ayant bénéficié de l'angioscanner cérébral pour la détermination de la mort cérébrale provenait des services de réanimation et pour une partie mineure des services des urgences. La fréquence était l'Unité d'accueil des urgences chirurgicales 45%, d'entre eux, puis de Réanimation Neurochirurgicale (22%), de Réanimation Médicale (22%) et de l'Unité d'accueil des urgences médicales (9%) [19]

### ***4-4- Technique d'acquisition***

#### **- Volume de produit de contraste**

Selon une méta-analyse, le volume de contraste intraveineux administré variait de 65 à 120 ml, à une vitesse de 3 à 5 ml par seconde. La plupart des études ont réalisé des scanners en phase artérielle et en phase veineuse, cette dernière étant généralement effectuée entre 40 et 60 secondes après l'injection du produit de contraste. Cependant, certaines études ont présenté des résultats pendant la phase artérielle [24, 25,26], tandis que d'autres ont présenté des résultats pendant la phase veineuse [25,26]. Les critères spécifiques pour la mort cérébrale n'étaient pas clairement définis dans les premières études [3], mais sont devenus plus explicites au fil du temps. Les études les plus récentes n'ont souligné que l'absence d'opacification des vaisseaux distaux (branches M4 des artères cérébrales moyennes) et des veines intracérébrales était les critères les plus importants pour déterminer la mort cérébrale, en conformité avec les directives nationales françaises.

## - Phase d'acquisition : artérielle et veineuse

Dans tous les cas, l'injection de produit de contraste a été réalisée dans les artères temporales superficielles ou dans les parties proximales et moyennes des artères de la crosse de l'aorte [27]. Les images ont ensuite été prises à des intervalles de 20, 30 et 60 secondes après l'injection du produit de contraste. Aucun des rapports n'a fait état de tout dysfonctionnement rénal suite à l'administration du produit de contraste.

### ***4-5- Score opacification***

Dans sa série Julie et al retrouve 9% de patients négatifs à l'angiostanner, 35% avec un score entre 0-1, 42% entre 2-3, avec un angiostanner invalide dans 23% des cas [19].

L'absence d'opacification des veines cérébrales internes (VCI) est le signe le plus précoce d'un arrêt circulatoire cérébral détecté par angiographie cérébrale, avec une sensibilité de 98 à 100% [18,28]. L'absence d'opacification des branches corticales des artères cérébrales moyennes (ACM-M4) est également un indicateur fiable, mais légèrement moins sensible, avec une sensibilité de 86 à 100%. En revanche, l'artère basilaire (BA) et les branches corticales des artères cérébrales postérieures (PCA-P2) sont plus souvent opacifiées en cas d'arrêt circulatoire cérébral que la MCA-M4, avec des sensibilités respectives de 83-94% et 79% [18,28].

Le nouveau score d'angiographie en 4 points basé sur la non-opacification des segments corticaux des ACM et des VCI semble très sensible pour confirmer la mort cérébrale, avec une spécificité de 100 %. L'absence d'opacification des VCI est le signe le plus sensible. Comparée à d'autres examens auxiliaires pour la mort encéphalique, l'examen clinique est fiable, standardisée, largement accessible et permet d'examiner le corps entier, ce qui la rend particulièrement utile dans les cas où il y a un risque de prélèvement d'organes [18].

#### ***4-6- Intervalle de confirmation du diagnostic entre la réalisation du Scanner et la déclaration de la mort encéphalique***

Le délai entre l'apparition des signes cliniques de mort encéphalique notamment (mydriase) et la réalisation de l'angioscanner cérébral variait entre 11heures et 19heures, avec un temps de prise en charge globale variant entre 35heures et 41heures [19]. Kerhuel et al conclut aux mêmes résultats en retenant comme délai approprié entre la clinique des ME et l'angioscanner initial doit être d'environ 12heures et non 6 heures [29]

#### ***4-7- Evolution et différents types de score et sensibilité***

Le score d'évaluation de la mort encéphalique a connu une évolution. Peu de scores d'Angio TDM cérébrale ont été proposés pour diagnostiquer la mort cérébrale, et le plus récent et actuellement utilisé consiste en quatre critères. Il existait d'autres scores à savoir le score en 10 points, celui en 7 points et celui en 4 points utilisés actuellement pour le diagnostic de la mort encéphalique du fait de sa meilleure sensibilité.

Ces scores se basent sur l'opacification ou non des artères et veines cérébrales à l'étage sus et sous tentorielles [30].

De plus, le score CTA actuel de référence ne comprend qu'une analyse de la circulation supratentorielle, alors que le diagnostic de mort cérébrale clinique repose sur l'arrêt fonctionnel lié à l'infratentoriel, évalué en pratique clinique par l'absence de réflexes du tronc cérébral [18]

La plupart des études ont utilisé un délai de 20 secondes après l'injection de produit de contraste pour lancer la phase artérielle, mais d'autres ont préféré la technique de déclenchement par bolus. De plus, le moment de la phase veineuse a varié de 54 à 80 secondes après l'injection du produit de contraste. En conséquence, les différents paramètres de balayage de l'angiographie par tomodensitométrie ont entraîné des différences dans les données comparatives [18,27]

L'opacification des artères ophtalmiques, des parties cervicale, pétreuse, caverneuse et supraclinoïde des artères carotides internes, des segments M1 et M4 des artères cérébrales moyennes (ACM), des segments A3 des artères cérébrales antérieures, des segments P2 des artères cérébrales postérieures (ACP), V4 des artères vertébrales, l'artère basilaire (BA), les veines cérébrales internes (ICV), la grande veine cérébrale (GCV), le sinus droit, le sinus sagittal supérieur, les sinus transversaux et les veines ophtalmiques ont été évalués indépendamment dans les phases artérielle et veineuse [28,31] (Tableau 4)

**Tableau 4: Score d'opacification en 10 points, 7 points et 4 points**

<i>Vaisseaux</i>	<i>Score en 10 points</i>	<i>Score en 7 points</i>	<i>Score en 4 points</i>
<b>ACM- M4 (D et G)</b>	2	2	2
<b>ACA- A3 (D et G)</b>	2	2	
<b>ACP- P2 (D et G)</b>	2		
<b>AB</b>	1		
<b>VCI (D et G)</b>	2	2	2
<b>GVC</b>	1	1	
<b>Total des scores</b>	10	7	4

ACM : artère cérébrale moyenne ; D : droite, G : gauche ; ACA : artère cérébrale antérieure ; ACP : artère cérébrale postérieure ; AB : artère basilaire ; VCI : veine cérébrale interne ; GCV : grande veine centrale  
 \*1 point est donné à la non opacification de chaque vaisseau

L'absence d'opacification des artères péricallosales (segment A3), des branches corticales de l'ACM (segment M4), de la VCI et de la GVC a été prise en compte dans une échelle de 7 points, tandis que seuls les segments M4 et la VCI ont été évalués dans une échelle de 4 points (tableau 4). Les segments ACP-P2 et AB ont été ajoutés pour l'évaluation de l'échelle de 10 points. Après ces évaluations, les deux radiologues ont déterminé un score final par consensus en réévaluant toutes les images de soustraction. L'accord interobservateur a été évalué pour l'évaluation de l'opacification des vaisseaux et le diagnostic de mort cérébrale selon les systèmes de notation à 10, 7 et 4 points. La sensibilité des systèmes de notation a été calculée en fonction des scores de consensus [31,32].

Au décours de cette étude réalisée par Sahin et al, la sensibilité de l'angiographie par tomomodensitométrie dans le diagnostic de la mort cérébrale est plus élevée lorsqu'une d'évaluation en 4 points est utilisée plutôt que sur une échelle plus large. La sensibilité des échelles de des échelles à 10, 7 et 4 points était respectivement de 52 %, 64 % et 88 %, 64 % et 88 %, respectivement. Dans l'angioscanner cérébrale, les vaisseaux les moins opacifiés étaient les branches corticales de l'ACM et le segment P2 de l'ACP dans la phase artérielle, et la VCI et la veine de Galen dans la phase veineuse [30].

Il en ressort que le score actuel en 4 points utilisant essentiellement l'opacification des branches corticales de l'ACM et des VCI reste celui qui à la meilleure sensibilité dans le diagnostic de la mort cérébrale.

#### ***4-8- Fonction rénale et injection***

Il y a un nombre limité d'études évaluant l'effet de l'angioscanner cérébral sur la fonction rénale ultérieure, seules trois d'entre elles ont abordé ce sujet [18, 33,34]. Dans l'une de ces études, la concentration moyenne de créatinine sérique a augmenté de 88 à 120 mmol/l, tandis que dans les deux autres études, il n'y a pas eu de changement significatif [34]. Aucune étude n'a suivi les patients ayant subi une transplantation rénale pour déterminer si la fonction du greffon a été retardée ou altérée.

Dans leur étude, Garrett et al, ont observé une augmentation de la créatinine après une angioTDM cérébrale. Bien que cette augmentation n'ait pas atteint de un seuil statistiquement significatif, il est important de noter qu'elle pourrait être significative dans une étude plus vaste. Les lésions rénales aiguës sont courantes chez les patients soumis à un bilan de mort encéphalique, mais l'effet du contraste sur la fonction rénale ne doit pas être ignoré lorsqu'on envisage d'utiliser cet examen auxiliaire pour le diagnostic [35].

Dans une étude récente, William et al, ne montre pas de preuve de la néphrotoxicité causée par le produit de contraste iodé ou des effets néfastes répétés des angioscanners. Cette conclusion est en accord avec les dernières recherches qui confirment l'absence de néphropathie causée par les produits de contraste [36]

#### ***4-9- Les variations responsables de la différence des résultats de l'angioTDM***

Les limites de la CTA sont principalement dues à une répartition inégale de l'hypertension intracrânienne chez certains patients en état de mort cérébrale, qui est causée par une décompression locale de la fosse crânienne. Plusieurs mécanismes

peuvent entraîner une diminution locale de la pression intracrânienne, tels que la craniectomie, le drainage ventriculaire, la fracture du crâne, les fontanelles ouvertes et les sutures non fusionnées chez les nouveau-nés et les nourrissons [37, 38,39].

Cette diminution régionale de la pression intracrânienne peut entraîner la préservation ou la restauration d'un flux sanguin cérébral résiduel au site de décompression, tandis que l'arrêt du flux sanguin est détecté dans les autres parties du cerveau [33,42]. Un problème similaire peut se produire dans certains cas de lésions infratentorielles, dans lesquels l'augmentation de la pression intracrânienne dans le compartiment subtentorial précède son augmentation dans la région supratentorielle en raison de la fonction de protection du tentorium cérébelleux [27]. Dans de tels cas, l'arrêt du flux sanguin dans les hémisphères cérébraux se produit avec un retard important par rapport à la circulation postérieure. Une séquence opposée est également connue, lorsque l'arrêt du flux sanguin dans la région supratentorielle précède l'arrêt circulatoire cérébral dans l'artère basilaire [27]. Des difficultés diagnostiques sont également rencontrées en cas de lésions cérébrales hypoxiques-ischémiques après un arrêt cardiaque, lorsque la restauration inefficace du flux sanguin cérébral est observée [40,41].

Young-Soo Kim et al dans son étude suggère que l'existence de mouvements spontanés et réflexes ainsi que les cas de craniectomie influence et retarde la confirmation du diagnostic de morts encéphaliques chez les patients. Les mouvements spontanés reflètent la fonction cérébrale tandis que les mouvements réflexes reflètent la fonction de la moelle épinière. Ainsi, les mouvements spontanés n'apparaissent pas chez les patients dont le décès cérébral a été confirmé, tandis que des mouvements réflexes tels que des réflexes spinaux peuvent apparaître chez eux. Cette information revêt une importance capitale dans la prédiction de la confirmation

diagnostique afin de mettre en branle de manière précoce le processus pour le prélèvement d'organes en vue de la transplantation [21].

L'étude réalisée par Nunes et al, a montré que les altérations de la pression intracrânienne dues à un défaut de la boîte crânienne, tel qu'une craniectomie ou une craniotomie, peuvent perturber l'hémodynamique et réduire la précision de la TDM pour confirmer la mort cérébrale. Cette étude avait pour objectif d'évaluer l'impact d'un tel défaut et des critères d'interprétation des images sur ce test diagnostique. La TDM s'est révélée très précise et reproductible pour confirmer la mort cérébrale chez les patients dont la boîte crânienne était intacte. Toutefois, la présence concomitante d'un défaut de la boîte crânienne, en particulier d'une craniectomie, peut diminuer la sensibilité de la TDM pour confirmer la mort cérébrale. De fait les critères de Frampas modifiés ont augmenté la sensibilité de la TDM, notamment chez les patients ayant un défaut de la boîte crânienne. [43]

#### ***4-10- Syndrome-like de la mort cérébrale***

Les trois diagnostics les plus fréquents qui imitent la mort cérébrale sont l'hypothermie, le syndrome de locked-in et l'intoxication médicamenteuse. L'hypothermie peut survenir à cause de l'exposition à des températures environnementales froides ou à une thérapie pour un arrêt cardiaque, et elle peut entraîner une dépression des réflexes du tronc cérébral. Par conséquent, selon l'American Academy of Neurology (AAN), l'évaluation de la mort cérébrale ne doit jamais être effectuée lorsque la température corporelle centrale est moins de 36°C [4,44]. Le syndrome de locked-in est souvent dû à un infarctus du tronc cérébral ventral résultant d'une thrombose aiguë de l'artère basilaire. Bien que la conscience et le regard vertical de l'individu soient préservés, il ne peut pas interagir en raison d'une quadriplégie et d'une anarthrie. Des examens d'imagerie transversale et

vasculaire avancés peuvent généralement confirmer ce diagnostic. L'intoxication médicamenteuse par des barbituriques, des opioïdes, des benzodiazépines et des antidépresseurs tricycliques peut également supprimer les réflexes du tronc et empêcher ainsi l'évaluation de la mort cérébrale [4,44].

#### ***4-11- Les autres examens de confirmation du diagnostic***

De nombreux pays exigent une confirmation de l'absence de fonction ou de circulation cérébrale pour établir le diagnostic de mort cérébrale. L'angiographie conventionnelle est considérée comme la méthode de référence pour cette confirmation, bien que l'EEG, l'EDT et la perfusion cérébrale par radionucléide soient également acceptés. Cependant, l'EEG peut être difficile à interpréter chez les patients souffrant d'hypothermie, de troubles métaboliques graves, d'intoxication médicamenteuse ou d'instabilité hémodynamique, ce qui nécessite l'utilisation de l'angiographie conventionnelle [10,45]. L'EDT est une méthode non invasive qui peut être utilisée au chevet du patient pour confirmer l'arrêt de la circulation cérébrale et n'est pas affectée par les agents sédatifs. Des études ont montré que l'EDT présente une sensibilité élevée et une spécificité élevée pour détecter la mort cérébrale, avec une concordance de 100 % entre l'inactivité électrocérébrale et l'angiographie. Il faut noter que chez certains patients diagnostiqués avec une mort cérébrale sur la base de critères cliniques, EEG ou angiographie conventionnelle, un flux diastolique intracrânien persistant peut être observé [10,45]. (Tableau 5)

**Tableau 5: Résultats comparatifs, précision et pièges des tests auxiliaires d'électrophysiologie et de neuro-imagerie pour le diagnostic de la mort cérébrale**

<i>Test</i>	<i>Données</i>	<i>Sensibilité / spécificité</i>	<i>Avantages</i>	<i>Limites</i>	<i>Sources d'erreur / piège</i>
<b>Test Electrophysiologique : électroencéphalogramme</b>	EEG Plat— Pas d'activité au-dessus de 2 $\mu$ V, sur une période de 30 minutes	83% / 97%	-Peut être effectué au chevet du patient -Non invasif -Moins coûteux	- Limité dans l'évaluation des structures sous-corticales comme le thalami et le tronc cérébral - Interférences - Incertitude diagnostique jusqu'à 20% - N'interroge qu'une région discrète du cerveau - Faible spécificité	Faux positifs du à : hypothermie (l'évaluation de la mort cérébrale ne doit jamais être effectuée lorsque la température est supérieure à 36°C), dépresseurs du SNC ou facteurs métaboliques
<b>Potentiel évoqué somatosensoriel (SSEP)</b>	Pas d'activité corticale sensorielle pariétale après stimulation du nerf médian	100%; 78%	Peut être effectué au chevet du patient -Non invasif	-N'interroge qu'une petite région du cerveau -Faible spécificité	
<b>Potentiel d'activation du tronc cérébral (BAEP)</b>	Pas de réponse du tronc cérébral après un stimulus auditif	100%; 73.7%	Peut être effectué au chevet du patient -Non invasif	-N'interroge qu'une petite région du cerveau -Faible spécificité	

<b>Artériographie cérébrale</b>	Absence d'opacification de contraste des segments intracrâniens et des branches des artères carotides et vertébrales ; absence de contraste dans les veines profondes ; visualisation des artères carotides externes.	NA	Considéré comme "le gold standard" des tests de neuro-imagerie	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Invasif</li> <li>-Expertise nécessaire</li> <li>-Coûteux et long</li> <li>-Disponibilité limitée</li> <li>-Risque de lésions rénales induites par le contraste chez les donneurs potentiels</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Remplissage de la stase (peut être mal interprété/faux négatif)</li> <li>-Faux négatif également en cas de craniectomie post-décompressive.</li> <li>-Faux positif chez les patients hypotendus</li> </ul>
<b>Angioscanner cérébral</b>	-Absence d'opacification de contraste des segments intracrâniens et des branches des artères carotides et vertébrales -Absence de contraste dans les veines profondes (dans l'ensemble, ce	69.7%- 100 % / NA	non invasif -Disponibilité -Imagerie simultanée des organes de donneurs	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lésions rénales induites par les produits de contraste chez les donneurs potentiels</li> <li>- L'absence de standardisation des techniques empêche une comparaison adéquate des résultats dans de multiples séries.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Critères variables</li> <li>- Remplissage de la stase, en particulier dans les grandes artères proches de la base du crâne. (faux négatif)</li> <li>- Faux négatif en cas de craniectomie post-</li> </ul>

	signe semble être le plus fiable dans de nombreuses séries).				décompressive - Potentiellement faux positif chez les patients hypotendus
<b>Angio IRM cérébrale</b>	Absence de rehaussement lié au flux dans les artères intracrâniennes	100%; 100%	-L'utilisation de contraste au gadolinium est uniquement facultative. -L'imagerie par résonance magnétique peut également révéler l'étendue des lésions cérébrales hypoxiques. -L'imagerie de temps de vol semble immunisée contre le phénomène de "remplissage de stase".	-Difficultés techniques difficultés pour placer le patient sous assistance respiratoire avancée dans le scanner -La présence de susceptibilités peut dégrader l'image	MR artéfacts
<b>Scanner de perfusion</b>	Absence de perfusion intracrânienne dans les compartiment	100% ; NA	- Disponibilité - Peut être réalisée en même temps que l'angiographie	Risque de lésions rénales induites par les produits de contraste chez les donneurs potentiels	Considéré comme expérimental

	s supratentoriels et infratentoriels infratentoriels		par tomodensitométrie		
<b>Doppler transcrânien</b>	Petits pics systoliques sans flow diastolique ou réverbération du flow	70-100% 97-100%	-Sûre, peu coûteuse -Peut être effectué au chevet du patient -Pas d'administration de produit de contraste -La circulation antérieure et postérieure peut être évaluée	-Expertise nécessaire -Dépendance de l'opérateur -Obtention d'un signal fiable avec une fenêtre limitée	Faux négatif dans la craniectomie post-décompressive
<b>HMPAO/ECD planar or SPECT imaging</b> <b>HMPAO Tc 99mHexametzime;</b> <b>SPECT : Single-photon emission computed tomography</b>	“Hollow skull” or “light bulb sign” dans les images statiques en raison d'un manque de perfusion cérébrale “Hot nose sign” dû à une activité accrue	100% ; 100%	Pas d'administration de produit de contraste iodé	-Disponibilité limitée -Prend du temps -Evaluation limitée de la fosse postérieure et du tronc cérébral, en particulier par imagerie planaire	Faux négatif dans la craniectomie post-décompressive

	autour du nez en raison d'une perfusion de l'ACE				
<b>PET imaging</b>	Absence d'activité métabolique avec apparence de "hollow skull".	NA, littérature limitée		- Disponibilité limitée - coûteux - N'est approuvé par aucune société à des fins de BD	

### **A - Comparaison entre l'angioTDM et l'artériographie cérébrale**

L'angiographie cérébrale par cathéter pour la détermination de la mort cérébrale est réalisée avec une injection de produit de contraste iodé pour atteindre à la fois la circulation cérébrale antérieure et postérieure. La propagation du contraste est évaluée dans une séquence d'images acquise à l'aide de la technique d'artériographie. La durée de l'acquisition varie selon les directives nationales, mais ne doit pas être inférieure à 15 secondes pour confirmer l'arrêt de la circulation cérébrale [3]. (Figure 14 )

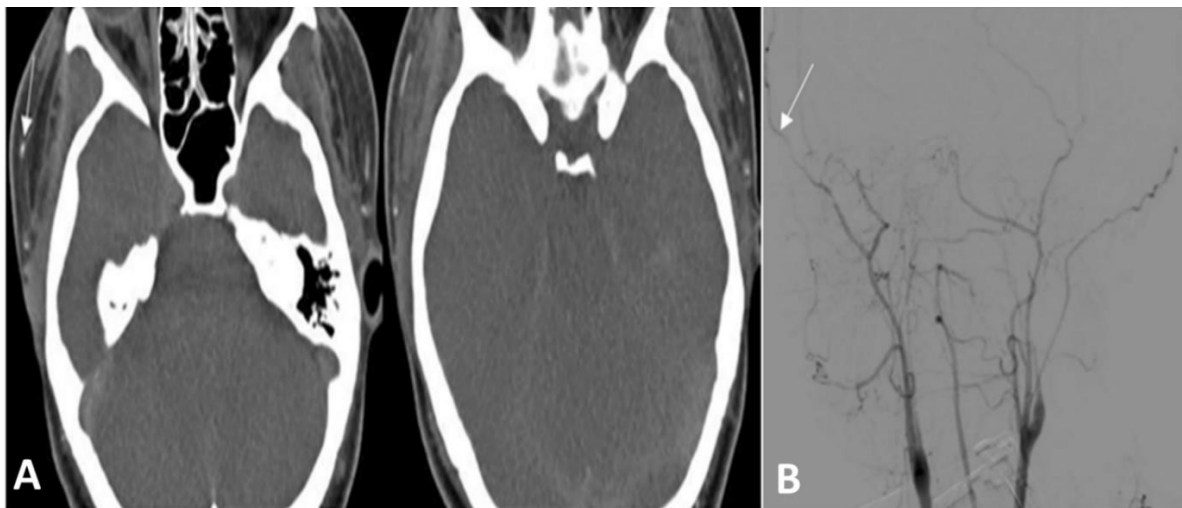
Il existe deux techniques d'injection de contraste :

1-Artériographie aorto-cervicale - injection à partir de l'arche aortique

2-Angiographie cérébrale sélective à quatre vaisseaux, réalisée par cathétérisme sélectif des deux ACI ou des artères carotides communes (ACC) et des artères vertébrales.

L'angiographie par soustraction numérique (DSA) est considérée comme la référence en matière de tests auxiliaires, avec des rapports de sensibilité et de spécificité de 100% [46, 47]. L'absence d'opacification de contraste lors d'une angiographie cérébrale à quatre vaisseaux au niveau où les vaisseaux pénètrent dans la base du crâne, avec une circulation extra crânienne intacte, indique un manque de perfusion au cerveau et établit la mort cérébrale /critères neurologiques de la mort cérébrale, dans le cadre d'un examen clinique par ailleurs cohérent. Tout comme d'autres tests auxiliaires de flux sanguin, tels que l'angioscanner cérébral, l'angiographie par résonance magnétique (ARM) et la Doppler transcrânienne, la dynamique du flux est impactée lorsqu'il y a des procédures de décompression du cerveau telles que craniotomie ou la craniectomie, ce qui peut compliquer l'interprétation [48]. D'autres limites et complications du DSA incluent le temps, le transfert en salle d'angiographie, le besoin de compétences techniques, le risque de spasme vasculaire et la néphropathie de contraste [49,50].

En comparaison avec le DSA, Zampakis et al, ont conclu qu'il n'y avait aucune différence statistiquement significative entre les scores angiographiques à 4 points. De manière générale, le système de notation angiographiques à 4 points a été considéré comme le plus fiable parmi les autres systèmes de notation angiographiques pour le diagnostic de la mort cérébrale [51].



**Figure 14 :** (A) L'angiographie axiale (phase de 60 s) à différents niveaux ne montre pas de flux artériel ou veineux intracrânien. Les artères extra crâniennes sont visibles (flèches blanches). (B) L'angiographie par soustraction numérique en phase artérielle (vue AP) ne montre pas de flux intracrânien, alors que les artères extra crâniennes sont perméables (flèche blanche).

### **B- Comparaison/ association de l'angioscanner cérébrale (CTA) avec l'imagerie de perfusion (CTP)**

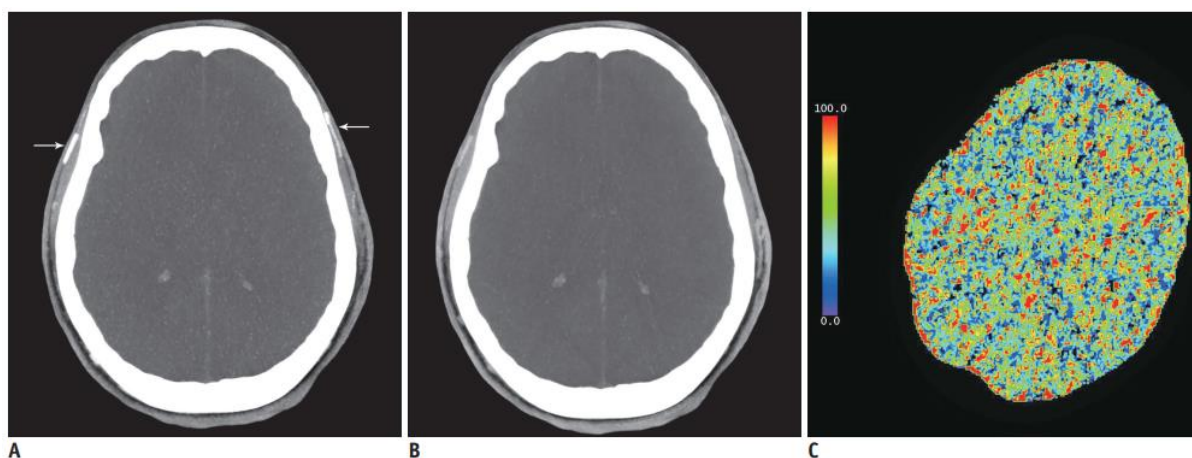
La précision de l'angioTDM cérébrale pour confirmer la mort encéphalique dépend du système de notation utilisé. Le système veine cérébrale interne-veine pétreuse supérieure (SPV) est le plus sensible mais l'évaluation de l'opacification du SPV est difficile. Le scanner de perfusion pourrait être une méthode viable pour confirmer la mort cérébrale (MC) et augmenter la sensibilité de l'angiocérébrale, surtout en présence de défaut osseux crânien [52]. (Figure 15)

Dans la recherche de nouvelles techniques sensibles et faisables pour la confirmation de la MC, la CTP pourrait être une méthode viable avec une contribution prometteuse à la CTA. De plus, la CTP pourrait augmenter la sensibilité de la CTA, surtout en

présence d'un défaut osseux, qui est fréquemment rencontré chez les patients atteints de la MC [52].

Les conclusions de la CTP ont été interprétées comme indiquant un diagnostic de mort cérébrale (c'est-à-dire positif) lorsque le débit sanguin cérébral (CBF) et le volume (CBV) dans les 66 régions d'intérêt étaient inférieurs aux seuils bien établis pour la nécrose neuronale, à savoir respectivement 10 ml/100 g/min et 1,0 ml/100 g [52].

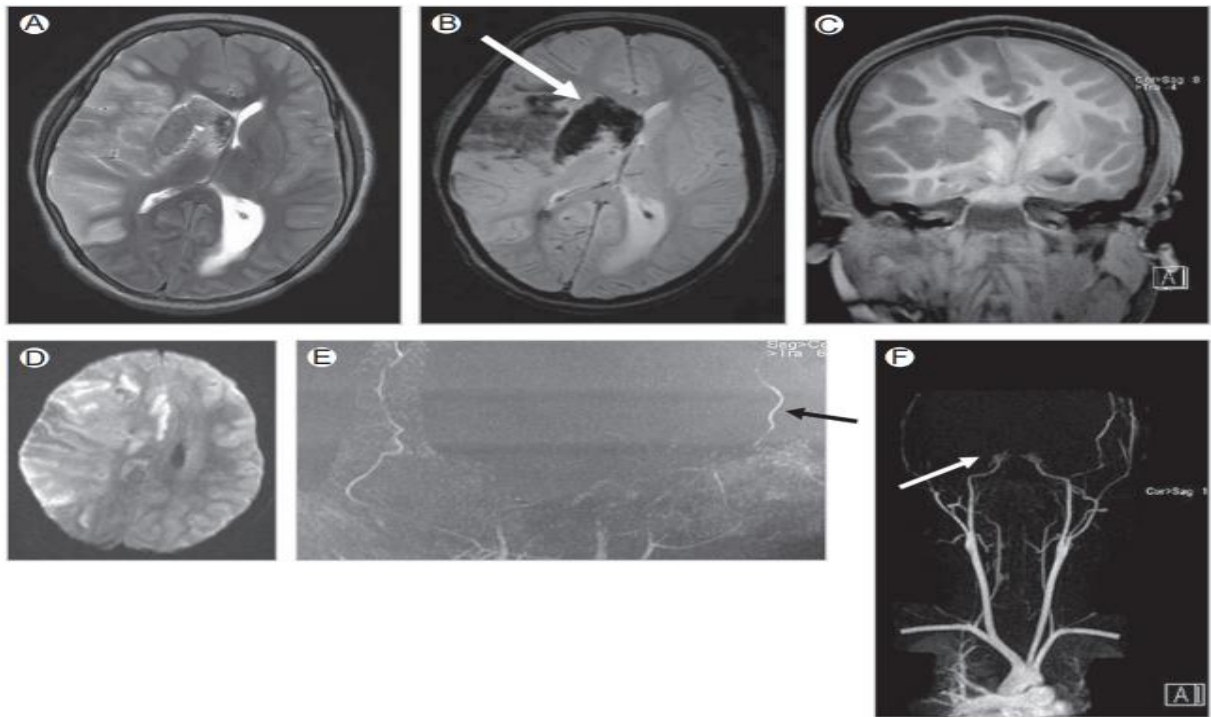
Cependant, des études futures comprenant des groupes témoins doivent être conçues pour révéler le rôle de la CTP dans ce domaine.



**Figure 15:** Diagnostic clinique de mort cérébrale due à une acidocétose diabétique. L'image MIP axiale en phase artérielle (A) montre le remplissage de contraste des artères temporales superficielles, ce qui indique l'adéquation de la technique (flèches blanches). Noter l'absence d'opacification des ACM. L'image MIP en phase veineuse (B) montre l'absence d'opacification des ACM et des VCI. La carte du CBF (C) montre l'absence de flux sanguin, ce qui démontre l'absence de perfusion cérébrale (les cartes CBV et MTT ne sont pas montrées). Ce patient a été considéré comme étant en état de mort cérébrale d'après les images de l'angioscanner. (CBF = débit sanguin cérébral, CBV = volume sanguin cérébral, ICV = veine cérébrale interne, MIP = projection d'intensité maximale, MCA = artère cérébrale moyenne, MTT = temps de transit moyen.)

### **C- Comparaison/ association du CTA avec l'IRM**

L'IRM et l'angio-IRM (ARM) présentent, comme la CTA, des avantages dans les tests auxiliaires pour le diagnostic de la MC. Cependant, ils sont sujets aux mêmes problèmes que les autres études basées sur le flux, tels que la CTA, et ne sont pas recommandés pour le diagnostic de la MC [4]. Contrairement à la CTA, l'IRM offre une résolution et des détails supérieurs concernant l'étendue des lésions neurologiques et apporte plus d'informations sur les causes qui pouvaient précédemment être floues, bien qu'elle ne joue aucun rôle particulier en tant que test auxiliaire. De même que la CTA, l'ARM est sujette aux pièges de la stagnation du flux [53], nécessite une preuve de flux dans l'artère carotide externe pour diagnostiquer la mort cérébrale/diagnostic clinique neurologique [54,55], et peut être difficile à interpréter dans le cadre de procédures qui réduisent la pression crâniovasculaire, comme la craniotomie [82]. Comparée à la CTA, l'ARM, bien que largement disponible, présente l'inconvénient d'être plus longue, plus coûteuse, d'avoir des contre-indications en cas d'implants métalliques et des préoccupations concernant la fibrose systémique néphrogénique [53].



**Figure 16: IRM et ARM en cas de mort cérébrale. Les séquences d'IRM axiale T2 (A), axiale hemosidérine (B), coronale T1 (C) et pondérée en diffusion (D) montrent une hémorragie intraparenchymateuse des noyaux gris à droite, frontale et temporale (flèche), un œdème cérébral diffus, une restriction de la diffusion représentant un œdème cytotoxique, une hernie uncale droite et un déplacement de la ligne médiane de la droite vers la gauche. Les images MIP de l'ARM en temps de vol (E) et l'ARM avec injection de gadolinium (F) montrent l'absence de flux distal aux segments clinoides des deux artères carotides internes (flèche blanche sur F) et aux segments V3 des deux artères vertébrales avec flux dans les branches de l'ACE (flèche noire sur E), des résultats compatibles avec la mort cérébrale.**

## ***4-12- Transplantation –Greffon***

La nécessité croissante d'organes de donneurs a mis en avant l'importance de préserver les organes des patients en état de mort cérébrale imminente dans un état propice à la transplantation pendant la période de confirmation de la mort cérébrale. En raison de la difficulté à accroître le nombre d'organes provenant de donneurs vivants, la demande d'organes provenant de donneurs en état de mort cérébrale connaît également une augmentation. [56]

Dans une étude réalisée sur les dons d'organes au CHU de Lille sur 6 ans, on retrouve dans la majorité des cas des greffons rénaux, hépatiques en adéquation avec l'évaluation des dons d'organe en France [19,57]. Il existait toutefois un taux de refus de don d'organes de 32% en 2019 en France dans ces cas de prélèvement d'organe suite à un diagnostic de mort encéphalique [57].

La qualité des greffons avoisinait au bout d'un mois 92% les données nationales par l'Agence de Biomédecine, chargée de l'évaluation des greffons [58].

La qualité des greffons rénaux fonctionnels à 1 mois était meilleure lorsque le délai global de prise en charge entre le diagnostic de mort cérébrale et le greffon était allongé de plus de 7 à 23 heures et cela s'expliquerait par le fait que la décharge adrénérgique était moins importante à distance et favoriserait une meilleure récupération et une stabilité hémodynamique [36].

Il existe de nombreuses études contradictoires sur les greffes cardiaques, mais la plupart s'accordent sur le fait qu'un intervalle plus long entre le diagnostic et la greffe peut avoir des avantages jusqu'à un certain point [59,60]. Cependant, une étude a observé une augmentation de la mortalité lorsque ce délai était prolongé [61], tandis qu'une autre a établi une limite maximale de 72 heures pour la prise en charge [62].

Dans son étude, Grigoras retrouve un temps moyen de 16h +/-8h entre le diagnostic et le prélèvement d'organe. Ce fait est du parfois au transport du donneur, au

rassemblement de l'équipe en charge des prélèvements [23]. La mort cérébrale est à l'origine de changements cardiovasculaires, hormonaux, métaboliques et immunologiques du fait de l'activation progressive des facteurs inflammatoires (cellules adhérentes, leucocytes) au sein des organes solides [63]. Dans la littérature certains auteurs ont eu de meilleurs résultats dans la conservation des organes par la mise en place d'un protocole médical et agressif de prise en charge (ressuscitation hydro-électrolytique, remplacements hormonales) des donneurs suite au diagnostic de mort cérébrale pour maintenir en bon état les organes à prélever [23,63].

#### ***4-13- Existence de guidelines sur le plan national***

Les critères de détermination de la mort encéphalique varient selon les pays en général. Une étude faite dans 33 pays européens a mis en évidence la présence d'une loi dans 93% ou d'un guide national (89%) pour la définition de la mort encéphalique. Dans la moitié de ces pays l'examen clinique était suffisant pour poser le diagnostic de mort encéphalique [64]. Malgré l'existence d'un consensus sur la mort encéphalique, il existe une différence majeure dans le diagnostic, ce faisant par l'intermédiaire de l'OMS avec la représentation de certaines sociétés savantes, une assise a été mise en place pour la détermination de guidelines sur le plan international en 2014 [65]. Sur le plan de l'imagerie l'angiographie conventionnelle était la méthode préférée par la mise en évidence d'une absence de perfusion sanguine cérébrale (50%), suivi de l'échodoppler transcrânien (43%), de l'angioscanner cérébrale (39%) , le scanner de perfusion and l'angio IRM cérébrale (11%) [64]. Dans 82% des pays européens on note la réalisation d'au moins deux examens cliniques dans la confirmation du diagnostic avec un intervalle de temps d'environ 12H en moyenne. Alors que les guidelines de l'American Academy of neurology recommandent un seul examen clinique vu le caractère irréversible des lésions cérébrales après l'exclusion de causes réversibles [66].

## V- Conclusion

Le diagnostic de la mort encéphalique reste un sujet d'actualité dans la profession médicale. Il se base sur l'examen clinique mais aussi les examens paracliniques notamment l'imagerie avec gold standard l'angioscanner cérébral. L'angioscanner cérébral en avec un score en 4 points reste un examen de choix dans le diagnostic de mort cérébrale et nécessite une lecture minutieuse pour un diagnostic précoce. Il reste d'une grande sensibilité et spécificité de par la revue de littérature comparativement aux autres examens d'imagerie et du fait de sa disponibilité. Certains facteurs influencent son scoring notamment les défauts osseux crâniens. Il doit être réalisé dans un délai convenable. Elle reste un préalable important aux dons d'organes et à la transplantation. Le délai de confirmation doit être rapide pour permettre une bonne viabilité des greffons dans le cadre de la transplantation.

## VI- Références

- 1- Quesnel C, Fulgencio J-P. Mort encéphalique : quel est le meilleur examen diagnostique à faire ? Réanimation.2008;17 (7):657-663.<https://doi.org/10.1016/j.reaurg.2008.07.017>.
- 2- Matéo J. Physiopathologie de la mort encephalique.Journal de Radiologie.2004 ; 85 (9) : 1272. [https://doi.org/10.1016/S0221-0363\(04\)76890-0](https://doi.org/10.1016/S0221-0363(04)76890-0).
- 3- Rizvi T, Batchala P, Mukherjee S. Brain Death: Diagnosis and Imaging Techniques. Semin Ultrasound CT MR. 2018 Oct;39(5):515-529. doi: 10.1053/j.sult.2018.01.006. Epub 2018 Mar 2. PMID: 30244764.
- 4- Spears W, Mian A, Greer D. Brain death: a clinical overview. J Intensive Care. 2022 Mar 16;10(1):16. doi: 10.1186/s40560-022-00609-4. PMID: 35292111; PMCID: PMC8925092.
- 5- Nguyen D. Evolution of the Criteria of "Brain Death": A Critical Analysis Based on Scientific Realism and Christian Anthropology. Linacre Q. 2019 Nov;86(4):297-313. doi: 10.1177/0024363919869474. Epub 2019 Sep 9. PMID: 32431423; PMCID: PMC6880070.
- 6- Wijdicks EFM. How Harvard Defined Irreversible Coma. Neurocrit Care. 2018 Aug;29(1):136-141. doi: 10.1007/s12028-018-0579-8. PMID: 30014183.
- 7- Référence : B.O n° 4726 du 5 jourmada II 1420 (16-9-99). Dahir n° 1-99-208 du 13 jourmada I 1420 portant promulgation de la loi n° 16-98 relative au don, au prélèvement et à la transplantation d'organes et de tissus humains.
- 8- Wahlster S, Wijdicks EF, Patel PV, Greer DM, Hemphill JC 3rd, Carone M, Mateen FJ. Brain death declaration: Practices and perceptions worldwide.

- Neurology. 2015 May 5;84(18):1870-9. doi: 10.1212/WNL.0000000000001540. Epub 2015 Apr 8. PMID: 25854866; PMCID: PMC4433464.
- 9- Dillenseger J-P. Atlas D'anatomie Générale et Radiologique. Elsevier 2019 (Deuxième Édition). <https://doi.org/10.1016/B978-2-294-76380-9.09989-5>.
- 10-Poullaras J, Karakitsos D, Kostakis A, et al. Comparison between transcranial color Doppler ultrasonography and angiography in the confirmation of brain death. *Transplant Proc* 2006;38:1213–17.
- 11-Lange MC, Zétola VH, Miranda-Alves M, Moro CH, Silvado CE, Rodrigues DL, Gregorio EG, Silva GS, Oliveira-Filho J, Perdatella MT, Pontes-Neto OM, Fábio SR, Avelar WM, Freitas GR; Task Force Group of the Neurosonology Department, Brazilian Academy of Neurology. Brazilian guidelines for the application of transcranial ultrasound as a diagnostic test for the confirmation of brain death. *Arq Neuropsiquiatr*. 2012 May;70(5):373-80. doi: 10.1590/s0004-282x2012000500012. PMID: 22618790.
- 12-Escudero D, Otero J, Quindós B, Vinañ L. Doppler transcraneal en el diagnóstico de la muerte encefálica. ¿Es útil o retrasa el diagnóstico? *Med Intensiva*. 2015;39:244---250.
- 13-: Y. Zurynski, N. Dorsch, I. Pearson & R. Choong (1991) Transcranial Doppler ultrasound in brain death: Experience in 140 patients, *Neurological Research*, 13:4, 248-251, DOI: 10.1080/01616412.1991.11740000
- 14-Thomas E, Manara A, Dineen R et al. The Use of Cerebral Computed Tomographic Angiography as an Ancillary Investigation to Support a Clinical Diagnosis of Death Using Neurological Criteria: A Consensus Guideline. *Anaesthesia*. 2023;78(3):330-6. doi:10.1111/anae.15950

- 15-Dineen R, Thomas E, Mortimer A, Summers D, Manara A, Gardiner D. Cerebral CT Angiography as an Ancillary Investigation in the Diagnosis of Death Using Neurological Criteria: A New UK Guideline. *Clin Radiol*. 2023;78(3):e166-8. doi:10.1016/j.crad.2022.12.003 - Pubmed
- 16-Sadeghian H, Raeisi MA, Dolati P, Motiei-Langroudi R. Brain Computed Tomography Angiography as an Ancillary Test in the Confirmation of Brain Death. *Cureus*. 2017 Jul 19;9(7):e1491. doi: 10.7759/cureus.1491. PMID: 28944130; PMCID: PMC5605121.
- 17-Tache A, Badet N, Azizi A, Behr J, Verdy S, Delabrousse E. Multiphase whole-body CT angiography before multiorgan retrieval in clinically brain dead patients: Role and influence on clinical practice. *Diagn Interv Imaging*. 2016 Jun;97(6):657-65. doi: 10.1016/j.diii.2015.06.024. Epub 2016 Mar 24. PMID: 27017096.
- 18-Frampas E, Videcoq M, de Kerviler E, Ricolfi F, Kuoch V, Mourey F, Tenailon A, Dupas B. CT angiography for brain death diagnosis. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2009 Sep;30(8):1566-70. doi: 10.3174/ajnr.A1614. Epub 2009 Apr 30. PMID: 19406767; PMCID: PMC7051632.
- 19-Julie Gardin. Les limites de l'angioscanner cérébral pour le diagnostic de mort encéphalique : étude rétrospective au CHU de Lille. *Médecine humaine et pathologie*. 2021. ffdumas-03353545f
- 20-Migdady I, Amin M, Shoskes A, Hassett C, Rae-Grant A, Snider SB, et al. Outcomes, Time-Trends, and Factors Associated With Ancillary Study Use for the Determination of Brain Death. *Crit Care Med* 2021. <https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000005035>.
- 21-Young-Soo Kima Do-Hyung Kimb Tae-Won Yangc Minhwa Kimd Jeongrim Leed Wonhyun Chod Oh-Young Kwon. Factors Affecting the Time Taken to

- Determine Brain Death in Patients with Impending Brain Death. *J Clin Neurol* 2020;16(4):668-673
- 22-Brasil S, et al. Role of computed tomography angiography and perfusion tomography in diagnosing brain death: A systematic review. *J Neuroradiol* (2015), <http://dx.doi.org/10.1016/j.neurad.2015.07.006>
- 23-Grigoras I, Blaj M, Chelarescu O, Craus C, Florin G. Functional Improvement Between Brain Death Declaration and Organ Harvesting. *Transplantation Proceedings*. 2010 : 42, 147–149
- 24-Kramer AH, Roberts DJ. Computed tomography angiography in the diagnosis of brain death: a systematic review and meta-analysis. *Neurocrit Care*. 2014 Dec;21(3):539-50. doi: 10.1007/s12028-014-9997-4. PMID: 24939056.
- 25-Musacchio M, Meyer A, Manoila I, et al. CT angiography in brain death diagnosis: clinical experience in 184 patients. *Neuroradiology*. 2010;29:46–7
- 26-3-Shankar JJ, Vadorpe R. CT perfusion for confirmation brain death. *Am J Neuroradiol*. 2013;34:1175–9.
- 27-Rieke A, Regli B, Mattle HP, et al. Computed tomography angiography (CTA) to prove circulatory arrest for the diagnosis of brain death in the context of organ transplantation. *Swiss Med Wkly* 2011;141:w13261.
- 28-Sawicki M, Bohatyrewicz R, Safranow K, Walecka A, Walecki J, Rowinski O, Solek-Pastuszka J, Czajkowski Z, Guzinski M, Burzynska M, Wojczal J. Computed tomographic angiography criteria in the diagnosis of brain death-comparison of sensitivity and interobserver reliability of different evaluation scales. *Neuroradiology*. 2014 Aug;56(8):609-20. doi: 10.1007/s00234-014-1364-9. Epub 2014 May 7. PMID: 24801451; PMCID: PMC4125746.

- 29-Kerhuel L, Srairi M, Georget G, Bonneville F, Mrozek S, Mayeur N, et al. The optimal time between clinical brain death diagnosis and confirmation using CT angiography: a retrospective study. *Minerva Anesthesiol* 2016;82:1180–8
- 30-Şahin H, Pekçevik Y. CT angiography as a confirmatory test in diagnosis of brain death: comparison between three scoring systems. *Diagn Interv Radiol*. 2015 Mar-Apr;21(2):177-83. doi: 10.5152/dir.2014.14241. PMID: 25698093; PMCID: PMC4463321.
- 31-Shankar JJ, Vandorpe R. CT perfusion for confirmation of brain death. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2013;34(6):1175–9. 18.
- 32-Taylor T, Dineen RA, Gardiner DC, Buss CH, Howatson A, Pace NL. Computed tomography (CT) angiography for confirmation of the clinical diagnosis of brain death. *Cochrane Database Syst Rev*. 2014;3:CD009694.
- 33-Combes JC, Chomel A, Ricolfi F, et al. Reliability of computed tomographic angiography in the diagnosis of brain death. *Transpl Proc*. 2007;39:16–20
- 34-Berenguer C, Davis FE, Howington JU. Brain death confirmation: comparison of computed tomographic angiography with nuclear medicine perfusion scan. *J Trauma*. 2010;68:553–9.
- 35-Garrett MP, Williamson RW, Bohl MA, Bird CR, Theodore N. Computed tomography angiography as a confirmatory test for the diagnosis of brain death. *J Neurosurg*. 2018 Feb;128(2):639-644. doi: 10.3171/2016.10.JNS161042. Epub 2017 Mar 17. PMID: 28304181
- 36-Williams L-MS, Walker GR, Loewenherz JW, Gidel LT. Association of Contrast and Acute Kidney Injury in the Critically Ill: A Propensity-Matched Study. *Chest* 2020;157:866– 76. <https://doi.org/10.1016/j.chest.2019.10.005>.

- 37-Ozpar R, Tonkaz M, Girgin NK, Bodur M, Dinc Y, Kocaeli H, Hakyemez B. Reliability of CT angiography scoring systems used for brain death and the effect of cranial interventions on the results. *Clin Imaging*. 2021 Nov;79:142-147. doi: 10.1016/j.clinimag.2021.04.012. Epub 2021 Apr 29. PMID: 33945904.
- 38-Johnston R, Kaliaperumal C, Wyse G, Kaar G. Brain dead or not? CT angiogram yielding false-negative result on brain death confirmation. *BMJ Case Rep*. 2013 Jan 8;2013:bcr2012007754. doi: 10.1136/bcr-2012-007754. PMID: 23302550; PMCID: PMC3604053.
- 39-Sawicki M, Bohatyrewicz R, Walecka A, Sołek-Pastuszka J, Rowiński O, Walecki J. CT Angiography in the Diagnosis of Brain Death. *Pol J Radiol*. 2014;79:417-421. Published 2014 Nov 15. doi:10.12659/PJR.891114
- 40-Escudero D, Otero J, Marques L et al: Diagnosing brain death by CT perfusion and multislice CT angiography. *Neurocrit Care*, 2009; 11: 261–71
- 41-Quesnel C, Fulgencio JP, Adrie C et al: Limitations of computed tomographic angiography in the diagnosis of brain death. *Intensive Care Med*, 2007; 33: 2129–35
- 42-Welschehold S, Kerz T, Boor S et al: Detection of intracranial circulatory arrest in brain death using cranial CT-angiography. *Eur J Neurol*, 2013; 20(1): 173–79 17. Braun M, Ducrocq X, Huot JC et al: Intravenous angiography in brain death: report of 140 patients. *Neuroradiology*, 1997; 39: 400–5
- 43-Nunes DM, Maia ACM Jr, Boni RC, da Rocha AJ. Impact of Skull Defects on the Role of CTA for Brain Death Confirmation. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2019 Jul;40(7):1177-1183. doi: 10.3174/ajnr.A6100. Epub 2019 Jun 13. PMID: 31196858; PMCID: PMC7048557.

- 44-Sullivan R., Hodgman M.J., Kao L., Tormoehlen L.M. Baclofen overdose mimicking brain death. *Clin. Toxicol.* 2012;50:141–144. doi: 10.3109/15563650.2011.654209.
- 45-American Clinical Neurophysiology Society. Guideline 3: Minimum technical standards for EEG recording in suspected cerebral death. *J Clin Neurophysiol.* 2006 Apr;23(2):97-104. doi: 10.1097/00004691-200604000-00004. PMID: 16612224.
- 46-Braum M, Ducrocq X, Huot JC, Audibert G, Anxionnat R, Picard L. Intravenous angiography in brain death: report of 140 patients. *Neuroradiology.* 1997;39:400–5
- 47-Gomes AS, Hallinan JM. Intravenous digital subtraction angiography in the diagnosis of brain death. *AJNR Am J Neuroradiol.* 1983;4:21–4
- 48-Flowers WM, Patel BR. Persistence of cerebral blood flow after brain death. *South Med J.* 2000;93:364–370.
- 49-Heiserman JE, Dean BL, Hodak JA, Flom RA, Bird CR, Drayer BP, et al. Neurologic complications of cerebral angiography. *AJNR Am J Neuroradiol.* 1994;15:1401–1407.
- 50-Paolin A, Manuali A, Di Paola F, Boccaletto F, Caputo P, Zanata R, et al. Reliability in diagnosis of brain death. *Intensive Care Med.* 1995;21:657–662
- 51-Zampakis, P.; Panagiotopoulos, V.; Kalogeropoulou, C.; Karachaliou, M.; Aretha, D.; Sioulas, N.; Dimoulia, S.; Karnabatidis, D.; Fligou, F. Computed tomography angiography scoring systems and the role of skull defects in the confirmation of brain death. *Sci. Rep.* 2021, 11, 15081.
- 52-Akdogan AI, Pekcevik Y, Sahin H, Pekcevik R. Assessment of Cerebral Circulatory Arrest via CT Angiography and CT Perfusion in Brain Death Confirmation. *Korean J Radiol.* 2021 Mar;22(3):395-404. doi:

- 10.3348/kjr.2019.0859. Epub 2020 Sep 10. PMID: 32932559; PMCID: PMC7909855.
- 53-Luchtman M, Beuing O, Skalej M, Kohl J, Serowy S, Bernarding J, et al. Gadolinium-enhanced magnetic resonance angiography in brain death. *Sci Rep.* 2014;4:3659.
- 54-Karantanas AH, Hadjigeorgiou GM, Paterakis K, Sfras D, Komnos A. Contribution of MRI and MR angiography in early diagnosis of brain death. *Eur Radiol.* 2002;12:2710–6.
- 55-Sohn C-H, Lee H-P, Park JB, Chang HW, Kim E, Kim E, et al. Imaging findings of brain death on 3-tesla MRI. *Korean J Radiol.* 2012;13:541–9
- 56-Kim YS, Kim DH, Yang TW, Kim M, Lee J, Cho W, et al. Factors Affecting the Time Taken to Determine Brain Death in Patients with Impending Brain Death. *J Clin Neurol Seoul Korea* 2020;16:668–73. <https://doi.org/10.3988/jcn.2020.16.4.668>.
- 57-Combien y a-t-il de donneurs en France ? Don Organesfr n.d. <https://www.dondorganes.fr/questions/2823/combien-y-t-il-de-donneurs-en-france> (accessed June 13, 2021).
- 58-Lafuente O, Sánchez-Sobrino B, Pérez M, López-Sánchez P, Janeiro D, Rubio E, et al. Midterm Results of Renal Transplantation From Controlled Cardiac Death Donors Are Similar to Those From Brain Death Donors. *Transplant Proc* 2016;48:2862–6. <https://doi.org/10.1016/j.transproceed.2016.08.039>.
- 59-Marasco S, Kras A, Schulberg E, Vale M, Chan P, Lee GA, et al. Donor brain death time and impact on outcomes in heart transplantation. *Transplant Proc* 2013;45:33–7. <https://doi.org/10.1016/j.transproceed.2012.08.008>.

- 60-Dark JH, Mehew J, Venkateswaran R. Prolongation of time from brain death to retrieval is beneficial to the donor heart. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2021;161:e311–2. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2020.06.127>.
- 61-Ramjug S, Hussain N, Yonan N. Prolonged time between donor brain death and organ retrieval results in an increased risk of mortality in cardiac transplant recipients. *Interact Cardiovasc Thorac Surg* 2011;12:938–42. <https://doi.org/10.1510/icvts.2010.252809>.
- 62-Cantin B, Kwok BWK, Chan MCY, Valantine HA, Oyer PE, Robbins RC, et al. The impact of brain death on survival after heart transplantation: time is of the essence. *Transplantation* 2003;76:1275–9. <https://doi.org/10.1097/01.TP.0000093445.50624.5A>.
- 63-Ergün M, Özdemir-van Brunschot MD, Donders ART, Hilbrands LB, Hoitsma AJ, Warlé MC. Prolonged Duration of Brain Death was Associated with Better Kidney Allograft Function and Survival: A Prospective Cohort Analysis. *Ann Transplant*, 2019; 24: 147-154
- 64-Citerio, G., Crippa, I.A., Bronco, A. et al. Variability in Brain Death Determination in Europe: Looking for a Solution. *Neurocrit Care* 21, 376–382 (2014). <https://doi.org/10.1007/s12028-014-9983-x>
- 65-Shemie SD, Hornby L, Baker A, Teitelbaum J, Torrance S, Young K, Capron AM, Bernat JL, Noel L; and The International Guidelines for Determination of Death phase 1 participants, in collaboration with the World Health Organization. International guideline development for the determination of death. *Intensiv Care Med* 2014, March 25 [epub ahead of print].
- 66-Wijdicks EFM, Varelas PN, Gronseth GS, Greer DM, American Academy of Neurology. Evidence-based guideline update: determining brain death in adults: report of the Quality Standards Subcommittee of the American Academy of Neurology. *Neurology*. 2010;74(23):1911–8.

## **RESUME**

**Titre :** Place de l'angioscanner cérébral dans le diagnostic de la mort encéphalique : à propos de 26 cas à la radiologie des urgences de l'hôpital Avicennes

**Auteur :** YEHOUENOU TESSI Roméo Thierry

**Mots clés :** mort cérébrale, angioscanner cérébral, pathologies associées, facteurs limitants, sensibilité

**Contexte** La mort cérébrale est un diagnostic essentiellement clinique, mais un nombre d'examen paraclinique peuvent être nécessaire à la confirmation du diagnostic. L'angioscanner cérébral reste l'examen de choix et de référence pour confirmer le diagnostic avec comme technique le score avec 4 critères depuis 2011.

**Objectifs** Évaluer les paramètres à l'angioscanner cérébral de confirmation de la mort cérébrale, les facteurs limitants du diagnostic par l'angioscanner cérébral et faire une revue de littérature et un comparatif aux autres examens d'imagerie et montrer l'intérêt dans le don d'organe.

**Matériel et méthodes** Étude rétrospective et descriptive dans la période du 1<sup>er</sup> janvier 2022 au 28 Février 2023 incluant tous les patients avec un état clinique de mort cérébrale et nécessitant un angioscanner cérébral de confirmation. Les caractéristiques épidémiologiques des patients, le score et la confirmation du diagnostic, les lésions associées ont été étudiées

**Résultats** Au total, 26 patients inclus dans notre étude, avec un âge moyen de 40,58ans et des extrêmes de 25 et 63ans. Le sexe masculin était représenté dans 80,8% des cas. Le diagnostic de mort cérébrale a été confirmé chez 61,5% des patients ayant bénéficié d'un angioscanner cérébral pour le diagnostic de MC. Plusieurs lésions étaient associées notamment les hématomes cérébraux 28,6%, l'hémorragie

méningée 31,7%, les fractures des os du crâne 12,7%. La sensibilité et la spécificité de l'angiocérébrale reste élevée 88-100%.

**Conclusion** L'angiocanner cérébral en avec un score en 4 points reste un examen de choix dans le diagnostic de mort cérébrale et nécessite une lecture minutieuse pour un diagnostic précoce. Certains facteurs peuvent influencés la lecture notamment les défauts osseux du crâne D'autres examens peuvent aider au diagnostic notamment l'échodoppler transcrânien, l'electroencéphalogramme.

## **ABSTRACT**

**Title:** The role of cerebral computed tomography angiography in the diagnosis of brain death: a report on 26 cases at the emergency radiology department of Avicennes Hospital

**Author:** YEHOUENOU TESSI Roméo Thierry

**Keywords:** brain death, cerebral angiography, associated pathologies, limiting factors, sensitivity, imaging

**Context:** Brain death is essentially a clinical diagnosis, but a number of paraclinical examinations may be necessary to confirm the diagnosis. Cerebral angiography remains the preferred and reference examination for confirming the diagnosis, with a 4-criteria score technique since 2011.

**Objectives:** To evaluate the parameters of cerebral angiography for confirming brain death, the limiting factors of the diagnosis by cerebral angiography, to review the literature and compare with other imaging examinations, and to show the interest in organ donation.

**Materials and methods:** Retrospective and descriptive study over a period from January 1st, 2022 to February 28, 2023 including all patients with a clinical state of

brain death and requiring confirmation by cerebral angiography. The epidemiological characteristics of the patients, the score and confirmation of the diagnosis, and associated lesions were studied.

**Results:** 26 patients were included in our study, with a mean age of 40.58 years and extremes of 25 and 63 years. Males represented 80.8% of cases. The diagnosis of brain death was confirmed in 61.5% of patients who underwent cerebral angiography for the diagnosis of brain death. Several lesions were associated, including cerebral hematomas in 28.6%, subarachnoid hemorrhage in 31.7%, and skull fractures in 12.7%. The sensitivity and specificity of cerebral angiography remained high at 88-100%.

**Conclusion:** Cerebral angiography with a 4-point score remains a preferred examination in the diagnosis of brain death and requires careful interpretation for early diagnosis. However, certain factors may influence the interpretation, such as skull defects (craniotomy/craniectomy). Other examinations may also help in the diagnosis, such as transcranial doppler ultrasound and electroencephalogram.

**العنوان:** مكان تصوير المقطعية بالأشعة لأوعية الدماغ في تشخيص الموت الدماغى: حوالي 26 حالة في قسم الأشعة

في مستعجلات مستشفى ابن سينا

**المؤلف:** YEHOUENOU TESSI Roméo Thierry

**الكلمات المفتاحية:** موت الدماغ ، تصوير الأوعية الدموية بالأشعة المقطعية ، الأمراض المصاحبة ، العوامل المحددة.

**السياق:** الموت الدماغى هو فى الأساس تشخيص سريرى ، ولكن قد يكون من الضرورى إجراء عدد من الفحوصات

لتأكيد التشخيص. يظل تصوير الأوعية الدماغية بالتصوير المقطعي هو طريقة الفحص المرجعية لتأكيد التشخيص

بالإضافة الى سلم تنقيط بأربعة معايير منذ سنة 2011.

**الأهداف:** تقييم فعالية التصوير المقطعي بالأشعة للأوعية الدموية في تأكيد موت الدماغ ، التعرف على الصعوبات و القيود للتشخيص بواسطة هذه التقنية و المقارنة مع فحوصات التصوير الأخرى بالإضافة الى إظهار أهمية التبرع بالأعضاء.

**المواد والطرق:** دراسة بأثر رجعي ووصفي في الفترة من 1 يناير 2022 إلى 28 فبراير 2023 بما في ذلك جميع المرضى الذين يعانون من حالة من الموت الدماغى ويتطلبون تصوير الأوعية الدموية بالتصوير المقطعي للتأكيد من التشخيص. تمت دراسة الخصائص الوبائية للمرضى والنتيجة وتأكيد التشخيص والآفات المصاحبة.

**النتائج:** المجموعة ضمت 26 مريضا في دراستنا ، بمتوسط عمر 40.58 سنة أقصاها 25 و 63 سنة. وكان الذكور يمثلون 80.8% من الحالات. تم تأكيد تشخيص الموت الدماغى في 61.5% من المرضى الذين خضعوا للفحص بالأشعة للأوعية الدماغية. العديد من الآفات المضافة تم الكشف عنها بما في ذلك ورم التجمع الدماغى 28.6% ، نزيف تحت العنكبوتية 31.7% ، كسور عظام الجمجمة 12.7%.

تظل حساسية وخصوصية التصوير المقطعي بالأشعة مرتفعًا بنسبة 88-100%.

**الخلاصة:** يظل التصوير المقطعي المحوسب للأوعية الدموية للدماغ مع سلم التنقيط من 4 درجات هو الفحص المفضل في تشخيص موت الدماغ ويتطلب قراءة متأنية للتشخيص المبكر. يمكن أن تؤثر بعض العوامل على القراءة ، لا سيما عيوب عظام الجمجمة ، ويمكن أن تساعد الفحوصات الأخرى في التشخيص ، ولا سيما الفحص بالصدى للدماغ عبر الجمجمة.