

# **UNIVERSITE DE NANTES**

---

## **FACULTE DE MEDECINE**

---

Année 2014

N° 107

### **THESE**

Pour le

#### **DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN MEDECINE** Diplôme d'études spécialisées en médecine générale

Par

Monsieur Romain BROCHEUX  
Né le 14 juin 1986 à Paris

---

Présentée et soutenue publiquement  
Le 15 octobre 2014

---

#### **EVALUATION ET COURBES D'APPRENTISSAGE DU DOPPLER TRANSCRANIEN AUPRES DE MEDECINS JUNIORS**

---

Président : Monsieur le Professeur Karim ASEHNOUNE  
Directeur de thèse : Madame le Docteur Leslie MERESSE-PROST

## **Composition du jury**

**Président du jury :** Monsieur le Professeur Karim ASEHNOUNE

**Directrice de thèse :** Madame le Docteur Leslie MERESSE-PROST

**Membres du jury :** Monsieur le Professeur Benoit DUPAS

Monsieur le Professeur Éric BATARD

Monsieur le Docteur Philippe PES

## **Remerciements**

**Monsieur le Professeur Karim ASEHNOUNE :**

Vous me faites l'honneur d'être le président de mon jury, soyez assuré de ma gratitude et de mon respect.

**Monsieur le Professeur Benoit DUPAS :**

Vous me faites l'honneur de participer à ce jury. Remerciements sincères.

**Monsieur le Professeur Éric BATARD :**

Vous me faites l'honneur de participer à ce jury. Votre soutien m'a permis de réaliser cette étude. Merci.

**Madame le Docteur Leslie MERESSE-PROST :**

Tu m'as encadré durant la réalisation de cette thèse. Grace à la rigueur de ton enseignement cette thèse a pu aboutir. Sincères remerciements.

**Monsieur le Docteur Philippe PES :**

Sans ton soutien, sans ta motivation, sans ton enseignement cette étude n'aurait pu aboutir. Pour la richesse de tes enseignements : remerciements sincères.

**Monsieur le Docteur Idriss ARNAUDET :**

Ton énergie débordante et tes conseils m'ont été d'un grand soutien. Merci.

**Monsieur le Docteur Frédéric VIGNAUD :**

Ta grande participation à cette étude me touche beaucoup. Merci

**Un grand merci aux participants et au Docteur LECLERE**

**A ma fille Louise et sa maman Déborah, mes parents, ma sœur, mes amis (ils se reconnaîtront).**

## Abréviations

<b>ACEP</b>	American College of Emergency Physicians
<b>ACM</b>	Artère Cérébrale Moyenne
<b>ACSOS</b>	Agressions Cérébrales Secondaires d'Origine Systémique
<b>CUSUM-LC</b>	Cumulative Sum Learning Curve
<b>CHU</b>	Centre Hospitalier et Universitaire
<b>DSC</b>	Débit Sanguin Cérébral
<b>DTC</b>	Doppler Transcrânien
<b>EDTC</b>	Echo-Doppler Transcrânien
<b>FAST</b>	Focused Assessment Sonography for Trauma
<b>HTIC</b>	Hypertension Intracrânienne
<b>IP</b>	Index de Pulsatilité
<b>PAM</b>	Pression Artérielle Moyenne
<b>PIC</b>	Pression Intracrânienne
<b>PPC</b>	Pression de Perfusion Cérébrale
<b>SAMU</b>	Service d'Aide Médicale Urgente
<b>SFMU</b>	Société Française de Médecine d'Urgences
<b>TC</b>	Traumatisme Crânien, Traumatisé Crânien
<b>VD</b>	Vitesse Diastolique
<b>VM</b>	Vitesse Moyenne
<b>VS</b>	Vitesse Systolique

# Plan

<b>Introduction.....</b>	<b>7</b>
<b>1. Revue de la littérature.....</b>	<b>8</b>
1.1. Le traumatisme crânien .....	8
1.2. Le Doppler transcrânien .....	11
1.3. Les courbes d'apprentissage .....	18
<b>2. Matériels et méthodes.....</b>	<b>21</b>
2.1. Type d'étude .....	21
2.2. Objectifs de l'étude .....	21
2.3. Déroulement de l'étude .....	21
2.4. Population étudiée .....	21
2.5. Données recueillies .....	23
2.6. Analyse statistique .....	23
<b>3. Résultats.....</b>	<b>26</b>
3.1. Population .....	26
3.2. Nombres de séances de formation .....	30
3.3. Profondeurs de mesures .....	30
3.4. Valeurs obtenues .....	31
3.5. Difficulté subjective de réalisation des DTC .....	31
3.6. Réalisation des courbes .....	31
3.7. Récapitulatif des résultats .....	35

<b>4. Discussion.....</b>	<b>36</b>
<b>Conclusion.....</b>	<b>39</b>
<b>Annexes .....</b>	<b>40</b>
<b>Bibliographie.....</b>	<b>48</b>
<b>Statistiques.....</b>	<b>53</b>

## **Introduction**

Les traumatismes crâniens représentent une proportion importante des motifs de recours aux services d'urgences [1]. Leur prise en charge précoce et l'évaluation de leur gravité est une priorité en médecine d'urgence pré-hospitalière et hospitalière [2].

Le Doppler transcrânien est un outil non irradiant et non invasif. Son utilisation est en plein essor depuis une dizaine d'années dans la prise en charge de ces patients lorsqu'il s'agit de diagnostiquer, de monitorer ou de traiter une complication intracérébrale.

Comme tout geste technique médical, le Doppler transcrânien nécessite un temps d'apprentissage. L'évaluation de cet apprentissage s'inscrit dans une démarche de qualité de formation des médecins.

Le but de notre étude est de déterminer le nombre d'examens nécessaires pour qu'un médecin acquière le Doppler transcrânien par la modélisation d'une courbe d'apprentissage de ce geste au sein des urgences du CHU de Nantes.

## 1. Revue de la littérature

Les traumatismes crâniens (TC) aux urgences sont un motif fréquent de consultation et leur prise en charge nécessite d'être optimale afin de limiter les complications secondaires. Lors de cette prise en charge, certaines équipes attribuent au Doppler transcrânien une place importante. Nous définirons dans un premier temps les traumatismes crâniens, leur physiopathologie et leur prise en charge standardisée. Dans un second temps, nous décrirons le Doppler transcrânien et évaluerons son intérêt dans le cas des traumatismes crâniens.

### 1.1 Les traumatismes crâniens

#### 1.1.1 Epidémiologie et définitions

Les lésions cérébrales sont fréquentes et leur prise en charge constitue un véritable enjeu de santé publique. Elles sont principalement liées aux chutes (âges extrêmes) et à la traumatologie routière [3]. En France, l'incidence des traumatismes crâniens est estimée entre 100 et 400 pour 100 000 habitants [4,5]. La majorité des traumatismes crâniens touche la population masculine (trois hommes pour une femme). Trois pics d'incidence liés à l'âge sont notés : < 5 ans, 15-24 ans et > 75 ans [3]. L'incidence des complications est en baisse constante depuis une quinzaine d'année notamment pour les TC légers. Ceci est probablement lié à une amélioration des pratiques thérapeutiques [3,6].

Les patients traumatisés crâniens se classent en 3 groupes selon le score de Glasgow initial : traumatisme crânien léger (score de 13 à 15), modéré (score de 9 à 12), grave (TCG : score de 3 à 8) [7].

	Ouverture des yeux (Y)	Réponse verbale (V)	Réponse motrice (M)
1	Nulle	Nulle	Nulle
2	A la douleur	Incompréhensible	Extension stéréotypée
3	Au bruit	Inappropriée	Flexion stéréotypée
4	Spontanée	Confuse	Evitements
5		Normale	Orientée
6			A la demande
<b>Score de Glasgow : Y+V+M (mini : 3, maxi 15)</b>			

Tableau 1 : Echelle du score de Glasgow [8].

Les traumatismes crâniens graves sont la première cause de mortalité liée à un traumatisme (13 000 décès par an) et la première cause de décès avant 40 ans [9]. Ils sont une cause majeure de séquelles physiques, cognitives et psychologiques à long terme [5].

La majorité des patients admis aux urgences pour un traumatisme crânien sont victimes d'un TC léger (90%) [4]. L'aggravation neurologique précoce, avant la 48ème heure post-traumatique, malgré un score initial de Glasgow élevé, est importante [10,11]. Les patients ayant subi un TC mineur peuvent avoir des lésions intracérébrales non neurochirurgicales dans 8 à 10 % des cas. Une indication neurochirurgicale évacuatrice est nécessaire dans 1 % des cas [1,12]. Le risque de décès est estimé à 0,1 % [11].

### **1.1.2 Physiopathologie**

Pour rappel, le débit sanguin cérébral (DSC) est la résultante d'une pression de perfusion cérébrale issue de la différence entre la pression artérielle moyenne (PAM) et la pression intracrânienne (PIC) ( $PPC = PAM - PIC$ ) et du diamètre artériel cérébral.

Lors d'un traumatisme crânien, l'impact peut engendrer des lésions primaires telles qu'une embarrure, un hématome, un vasospasme ou des lésions axonales.

Des lésions secondaires peuvent s'ajouter à ces lésions primaires. Ces lésions secondaires sont liées soit à des facteurs aggravants systémiques extra-crâniens, soit à des facteurs aggravants intracrâniens (hypertension intracrânienne, crises comitiales...) [8].

Les facteurs aggravants « extra-crâniens » sont regroupés sous l'acronyme ACSOS (Agressions Cérébrales Secondaires d'Origine Systémique) et sont susceptibles d'altérer la pression de perfusion cérébrale. Les principales ACSOS identifiées sont l'hypotension artérielle (diminution de la pression de perfusion cérébrale), l'hypocapnie (vasoconstriction), l'hypercapnie (vasodilatation cérébrale), l'hypoxie, l'hypoglycémie, l'hyperglycémie, l'anémie, l'hyperthermie et l'hyponatrémie [8].

L'ischémie cérébrale secondaire semble la principale cause d'aggravation secondaire et un facteur pronostic déterminant dans le devenir des patients traumatisés crâniens [13,14]. La lutte contre les facteurs aggravants intracrâniens et l'optimisation de l'hémodynamique cérébrale (lutte contre les ACSOS) sont primordiales afin d'éviter cette ischémie.

### **1.1.3 Prise en charge standardisée**

La prise en charge rapide en centre de neuro-traumatologie réduit significativement la morbidité et la mortalité des traumatisés crâniens [3]. Leur prise en charge est fondée sur la prévention et la gestion des ACSOS [9]. L'objectif de pression artérielle moyenne (PAM) est d'au moins 90mmHg (valeur secondairement adaptée à la pression de perfusion cérébrale - PPC) [8,9,15]. Un remplissage vasculaire adapté et l'utilisation d'amines sont les outils thérapeutiques fondamentaux. Normoxie et normocapnie doivent être obtenus par le contrôle des voies aériennes et la ventilation mécanique au besoin.

En complément du monitorage systémique, le monitorage spécifique cérébral est intéressant. Il permet d'optimiser l'hémodynamique cérébrale, limiter l'hypertension intracrânienne et les ACSOS. La mesure invasive de la pression intracrânienne (PIC) est indiquée chez le TCG lorsque le scanner cérébral est anormal ou si il est normal mais qu'il existe au moins deux des critères suivants : âge > 40 ans, déficit moteur, PAS < 90 mm Hg. Elle est couplée à la mesure de la PAM permettant d'estimer la pression de perfusion cérébrale [9,8]. La mise en place d'une dérivation ventriculaire externe associée au monitorage de la PIC est un outil de dépistage et de traitement de l'HTIC. La neurochirurgie peut être recommandée pour évacuer un hématome symptomatique, drainer une hydrocéphalie, parer et fermer des embarrures. Son indication dans d'autres situations est évaluée au cas par cas [2].

Dans ce contexte traumatique, les polytraumatismes sont fréquents et la recherche de lésions extra-crâniennes ne doit pas être omise.

### **1.1.4 Examens paracliniques**

Le scanner cérébral est l'examen de référence en traumatologie crânienne [1, 2, 9]. Il permet de mettre en évidence des lésions intra- ou extra-parenchymateuses. Il peut être mis en défaut pour prédire l'aggravation neurologique (notamment ischémique) lorsque sa réalisation est trop précoce (2 premières heures post-traumatiques) [11,16]. L'utilisation du Doppler transcrânien (DTC) a été proposé pour dépister et monitorer les patients à risque d'aggravation neurologique [17]. Nous discuterons de cet examen dans la partie suivante.

## **1.2 Le Doppler transcrânien**

Cet examen non invasif est proposé pour évaluer l'hémodynamique intracérébrale en dépistant et en monitorant les patients à haut risque ischémique [2, 16].

### **1.2.1 Historique**

Décrise en 1982 par Aaslid [18], la technique d'exploration des vaisseaux intracrâniens par ultrasons a beaucoup évolué. Le DTC était initialement réalisé à l'aveugle en couplant méthode acoustique et qualité des courbes obtenues. Il est actuellement couplé à une échographie 2D : l'écho-Doppler transcrânien (EDTC). Ceci permet de mieux localiser le vaisseau à étudier.

Les progrès technologiques ont permis à l'appareillage d'être transportable et d'offrir des possibilités diagnostiques supplémentaires en pré-hospitalier.

### **1.2.2 Principes physiques**

Le DTC mesure, de façon non invasive, la vitesse des globules rouges dans les gros troncs artériels cérébraux.

Cet outil se base sur l'effet Doppler afin de calculer la célérité d'éléments figurés du sang par le biais de faisceaux ultrasonores (différence entre ultrasons émis et reçus). La vitesse mesurée est une approche indirecte du débit ( $Q$ ) dans le vaisseau étudié :  $Q = V \times S$  (vitesse) x  $S$  (surface de section) [13]. Le DTC permet donc une évaluation indirecte du débit sanguin cérébral (DSC). La vitesse mesurée (VR) dépend de la fréquence d'émission des ultrasons et l'angle d'insonation  $\alpha$  ( $VR = V \times \cos \alpha$ ). Cet angle est formé par le vaisseau étudié et le faisceau d'ultrasons émis. Si  $\alpha = 0^\circ$  alors  $\cos \alpha = 1$  et la vitesse mesurée (VR) est la vitesse réelle (V). On ne peut pas surestimer les valeurs : la vitesse mesurée ne peut être plus élevée que la vitesse réelle ( $\cos \alpha$  entre 0 et 1). Il existe un risque de sous-estimation lorsque l'angle d'insonation est trop ouvert [13].

### 1.2.3 Rappels anatomiques

L'artère cérébrale moyenne (ACM) est l'artère la plus souvent recherchée dans le cas du traumatisme crânien grave car la plus importante au niveau fonctionnel [11]. Les ACM représentent 70 % du flux des carotides internes. Chaque ACM représente 60 % du flux cérébral de l'hémisphère concerné [19]. L'ACM est accessible sur une grande profondeur avec un angle le plus faible possible entre la sonde et l'artère en fenêtre temporale. C'est l'artère la plus aisément retrouvée au DTC [20,21]. Les ACM en fenêtre temporale se situent préférentiellement entre 45 et 65 mm de profondeur (47 mm en moyenne chez une population de volontaires sains) [11,22].

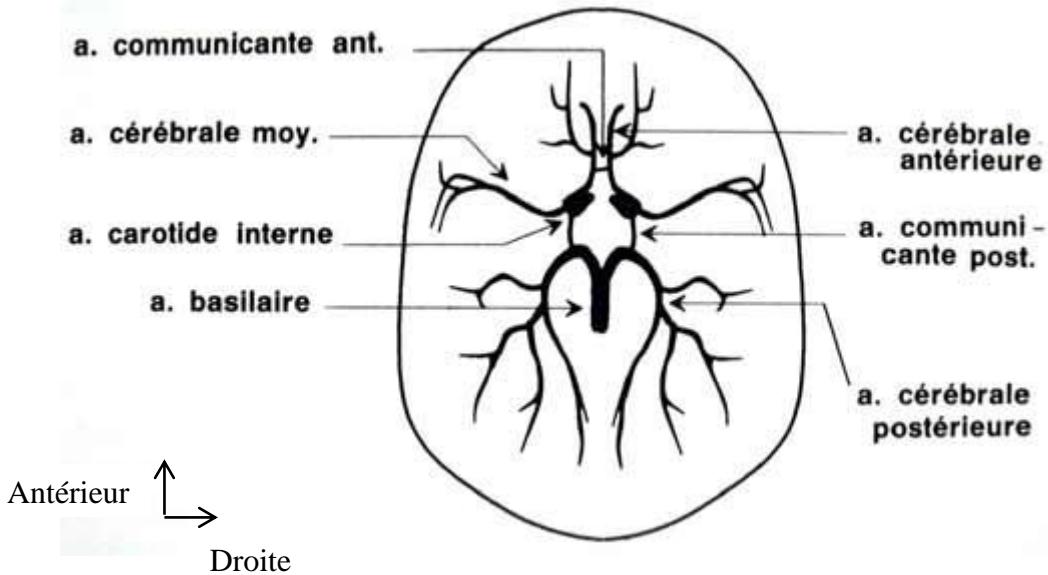


Figure 1 : Représentation du polygone de Willis en vue axiale [23]

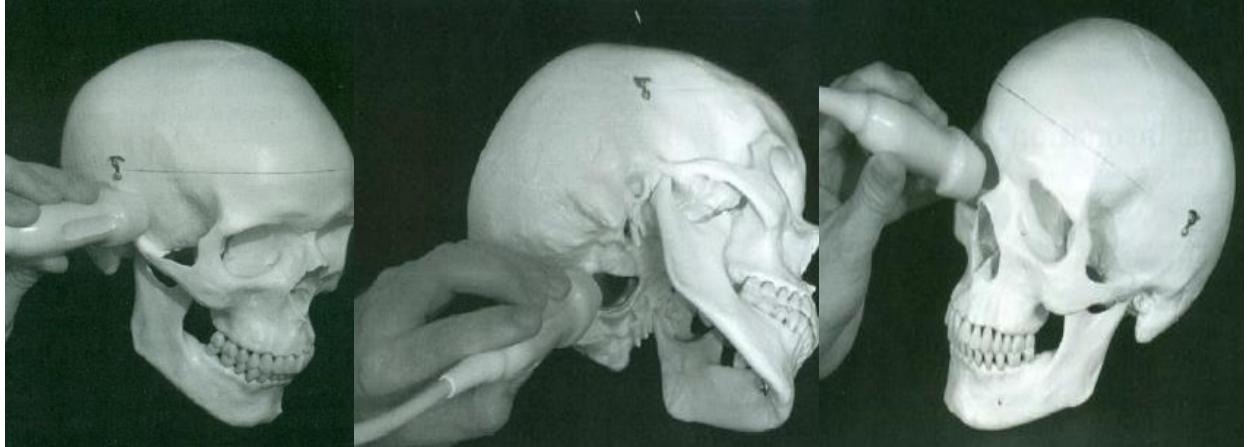
### 1.2.4 Matériel utilisé

La sonde utilisée est une sonde basse fréquence de 2 MHz. Elle permet une pénétrance adaptée des ultrasons au sein de la voute crânienne. Le type de sonde Phased Array semble le plus adéquat afin d'obtenir des informations en deux dimensions et en mode Doppler [24].

L'échographe doit être pourvu d'un logiciel spécifique au DTC. L'idéal est qu'une mesure automatisée soit disponible ainsi qu'un traçage automatique des courbes [24].

### 1.2.5 Technique de réalisation du DTC

Trois fenêtres osseuses peuvent être utilisées pour réaliser un DTC : trans-temporale [18], trans-orbitaire et sous-occipitale [13].



*Fenêtre temporale*

*Fenêtre sous occipitale*

*Fenêtre trans-orbitaire*

Figure 2 : Fenêtres osseuses pour la réalisation du DTC [25].

Plusieurs techniques ont été proposées afin de localiser l'ACM. Le patient est constamment en décubitus dorsal et le médecin se place à sa tête ou à son côté. La sonde est positionnée au niveau de la fenêtre temporale sur une ligne située au-dessus de l'arcade zygomatique allant du tragus en arrière, au bord externe de l'orbite en avant (« zone de tir »). La recherche du signal s'effectue à l'oreille (DTC) ou au mieux par écho-repérage (EDTC).

La technique « dite de Pès » permet une bonne localisation du point de contact entre la sonde et la fenêtre temporale [24]. Cette technique consiste pour l'opérateur à poser l'extrémité du majeur dans le renflement situé en avant et au-dessus du tragus puis à poser encore au-dessus l'extrémité de l'index en avant du pavillon de l'oreille. Un léger mouvement circulaire de la sonde à cet endroit permet de repérer aisément le tronc cérébral [24].

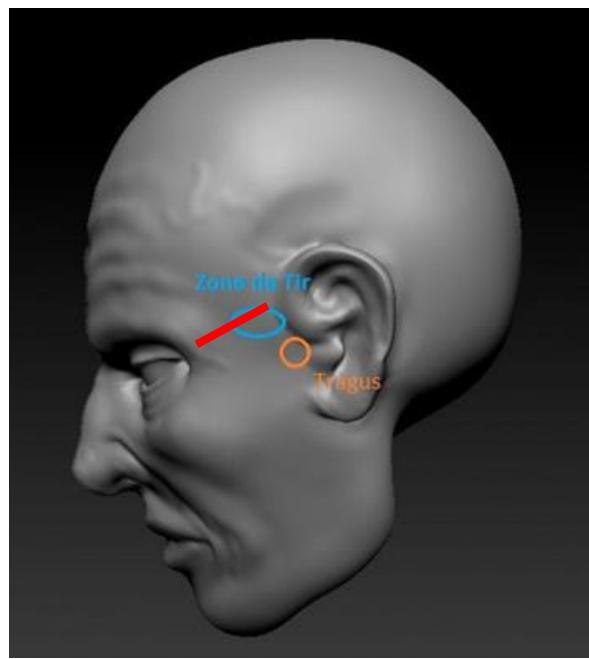


Figure 3 : Zone de tir de l'ACM.

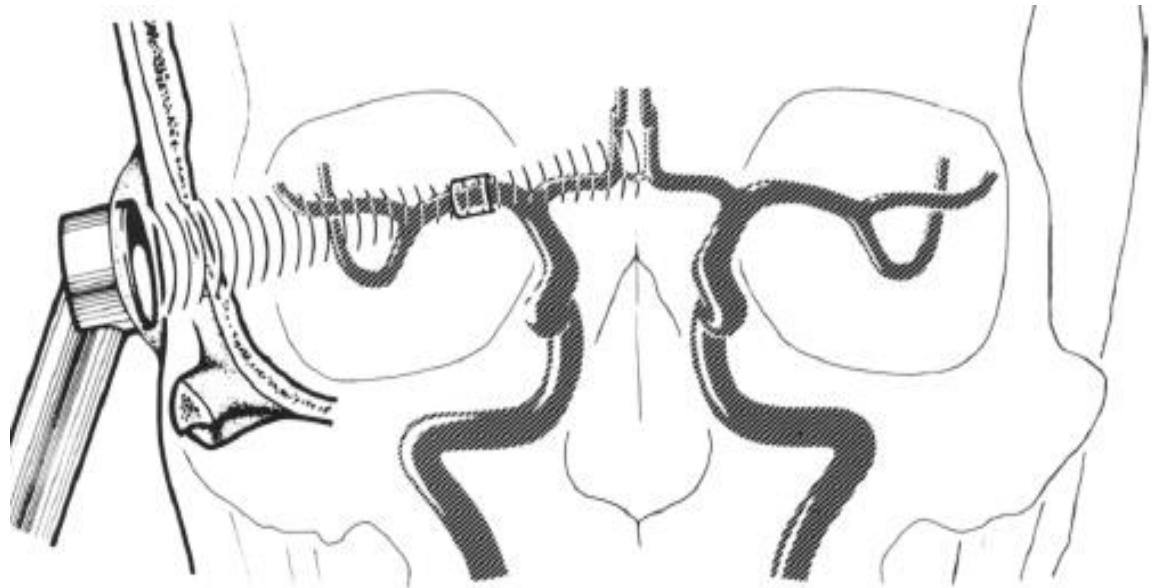


Figure 4 : Position de la sonde dans l'axe de l'ACM [18]

### **1.2.6 Représentation graphique du DTC**

La représentation graphique des vélocités de l'ACM comporte le temps en abscisse et les fréquences (vitesses) en ordonnée. La courbe obtenue (vélocités maximales) permet de mesurer la vélocité systolique contemporaine de la systole cardiaque ( $V_s$ ) et la vélocité diastolique ( $V_d$ ). L'aire sous la courbe rapportée à une durée (un cycle cardiaque) définit la vélocité moyenne ( $V_m$ ). Les vélocités sont exprimées en cm/s.

L'index de pulsatilité (IP) est indépendant de l'angle d'insonation. Il est calculé par la formule de Gosling :  $IP = (V_s - V_d)/V_m$ .

Par convention, l'orientation du tronc cérébral se fait vers la gauche de l'image en orientant le repère de la sonde vers l'orbite du patient (repère « P » vers la gauche sur l'image) [24].

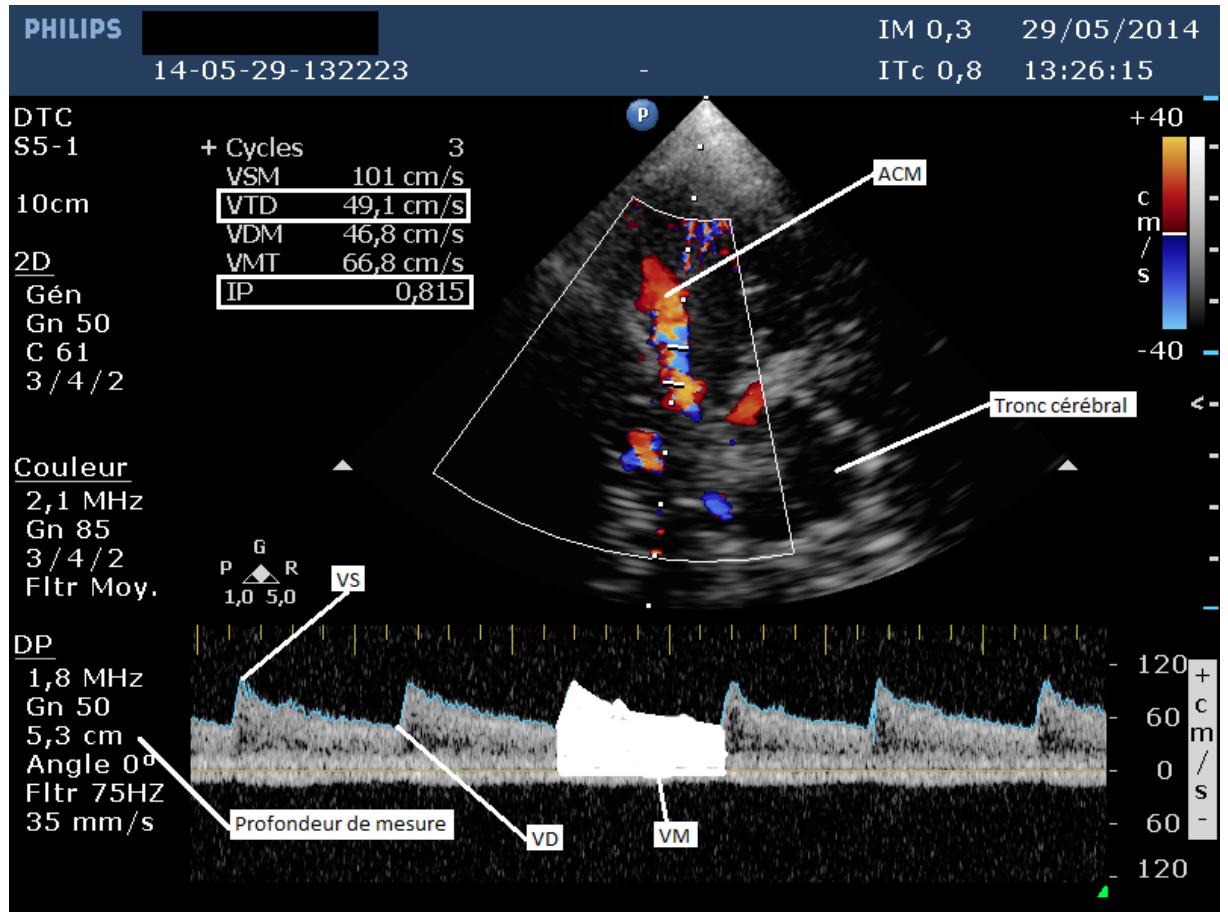


Figure 5 : Image obtenue lors de la réalisation d'un Doppler transcrânien.

*En haut : visualisation en Doppler couleur de l'ACM à proximité du tronc cérébral.*

*En bas : la représentation graphique avec en abscisse, le temps et en ordonnée, les vitesses.*

*Dans le cas présent, les mesures sont réalisées à une profondeur de 5.3 cm et calculées sur 3 cycles.*

### 1.2.7 Interprétation des valeurs

L'index de pulsatilité (IP) et les vitesses diastoliques (Vd) sont les éléments prédictifs d'une baisse du DSC [19,21]. L'analyse des valeurs d'IP et de Vd suffit pour juger de l'état des résistances artériolaires en aval du gros tronc étudié [13].

#### a. Valeurs normales

Il est nécessaire de considérer des fourchettes de normalité car la normalité des vélocités est variable [11]. Ces données sont dépendantes de l'âge du patient.

Les valeurs normales des vélocités de l'ACM sont indiquées dans le tableau 2.

	<b>18-40 ans</b>	<b>40-60 ans</b>	<b>&gt; 60 ans</b>
<b>VS (cm/s)</b>	95±10	90±15	80±20
<b>VD (cm/s)</b>	45±10	45±10	35±10
<b>VM (cm/s)</b>	55±10	60±10	45±10
<b>IP</b>	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0

Tableau 2 : Valeurs normales des vélocités sanguines de l'ACM retrouvées au DTC chez les adultes [11].

Les valeurs d'IP proches de 1 sont rassurantes quelques soient les valeurs de Vd [13].

La vitesse diastolique est plus sensible aux variations de la PIC tandis que l'index de pulsatilité diminue proportionnellement à la PPC.

#### *b. Valeurs pathologiques*

Une diminution des Vd et une augmentation de l'IP reflètent une augmentation des résistances cérébrales.

Plus l'IP est élevé avec une Vd basse, plus les artéries sont constrictées. Cette vasoconstriction est directe par hypocapnie ou indirecte liée à une pression de perfusion trop basse [13]. Les ACSOS doivent être contrôlés afin de favoriser la PPC et la fiabilité du DTC [19].

Tout IP > 1,2 est corrélé à une PPC anormalement basse [13]. Aux urgences, une valeur d'IP > 1,4 prédit une aggravation neurologique secondaire chez des patients victimes d'un traumatisme crânien modéré [13,26].

Un IP > 1,4 associé à une Vd < 20 cm/s est une urgence hémodynamique cérébrale et impose un traitement immédiat (osmosethérapie et/ou noradrénaline) avant même la tomodensitométrie cérébrale [11,19]. Ces valeurs sont aussi valables en pré-hospitalier [14]. Une étude présentée en 2012 au congrès de la SFAR section Médecine et Urgences Vitales propose IP > 1,25 et Vd < 20 cm/s comme valeurs seuils [13].

Un IP entre 1,2 et 1,4 avec Vd > 20 cm/s signifie des résistances artériolaires élevées, la nécessité de renforcer la surveillance, de réaliser rapidement une imagerie et de réajuster les traitements [13].

### **1.2.8 Intérêt pratique**

L'étude de l'hémodynamique cérébrale a montré son intérêt pour les traumatismes crâniens, les accidents vasculaires cérébraux, l'HTIC, les thrombophlébites cérébrales, le coma hépatique, les sepsis graves et le spasme post-hémorragie méningée [16,19]. Son utilisation est en réel développement depuis une dizaine d'années. Il n'a pas encore sa place dans l'exploration de l'arrêt circulatoire cérébral [13,27] mais certaines études tendent à démontrer que sa réalisation pourrait permettre d'éviter un angioscanner cérébral ou un électro-encéphalogramme trop précoce [19,28]. De récentes études démontrent l'intérêt de l'utilisation du Doppler transcrânien lors de la prise en charge précoce aux urgences et en pré-hospitalier de patients cérébro-lésés. L'utilité diagnostique et de monitorage permettrait d'optimiser cette prise en charge [14,17,19,29]. Les mesures précoces sont associées au pronostic neurologique à court terme [11].

En 2002, Tazarourte évalue l'intérêt de la réalisation très précoce du DTC chez les traumatisés crâniens graves en pré-hospitaliers et au décours [14]. Sur 18 patients, 5 à haut risque d'ischémie cérébrale n'auraient pas été identifiés sur la clinique seule et sans l'apport du DTC.

En 2006, Ract publie une étude prospective en réanimation afin d'évaluer l'utilité de la réalisation précoce du Doppler transcrânien chez les traumatisés crâniens graves avant même une surveillance cérébrale invasive [30]. L'étude conclue qu'une utilisation précoce du DTC doit être encouragée afin d'identifier les TCG souffrant d'hypo-perfusion cérébrale et de guider une thérapie pour restaurer une perfusion cérébrale convenable et réduire les lésions cérébrales secondaires.

## **1.3 Les courbes d'apprentissage**

L'évaluation de l'apprentissage et de l'acquisition d'un geste technique médical s'inscrit dans une démarche de qualité de formation des médecins. L'ACEP préconise par exemple pour la FAST-échographie un minimum de 25 réalisations [31]. Messant retrouve, lors de l'utilisation hors urgence du ML Fastrach, l'absence d'échec d'intubation à partir de la huitième procédure (10 cas pour être « à l'aise ») après une formation théorique et sur mannequin. Une diminution du temps moyen de procédure est constatée [32].

La notion de courbe d'apprentissage peut se définir comme étant le nombre de gestes réalisés avant d'être considéré comme à l'aise et performants dans leur réalisation, avec des délais rapides et un taux d'échec limité [36].

En 2013, Corre [33,34,35] , aborde la courbe d'apprentissage du Doppler transcrânien. Et conclue qu'un médecin novice est capable d'effectuer un DTC en moins de 2 minutes de chaque côté après la répétition de 6 DTC précédés d'une brève formation. A partir du 6ème essai, les temps moyens pour obtenir une IP sont inférieurs à 100 secondes, significativement plus faibles qu'au 1er essai ( $p<0.05$ ).

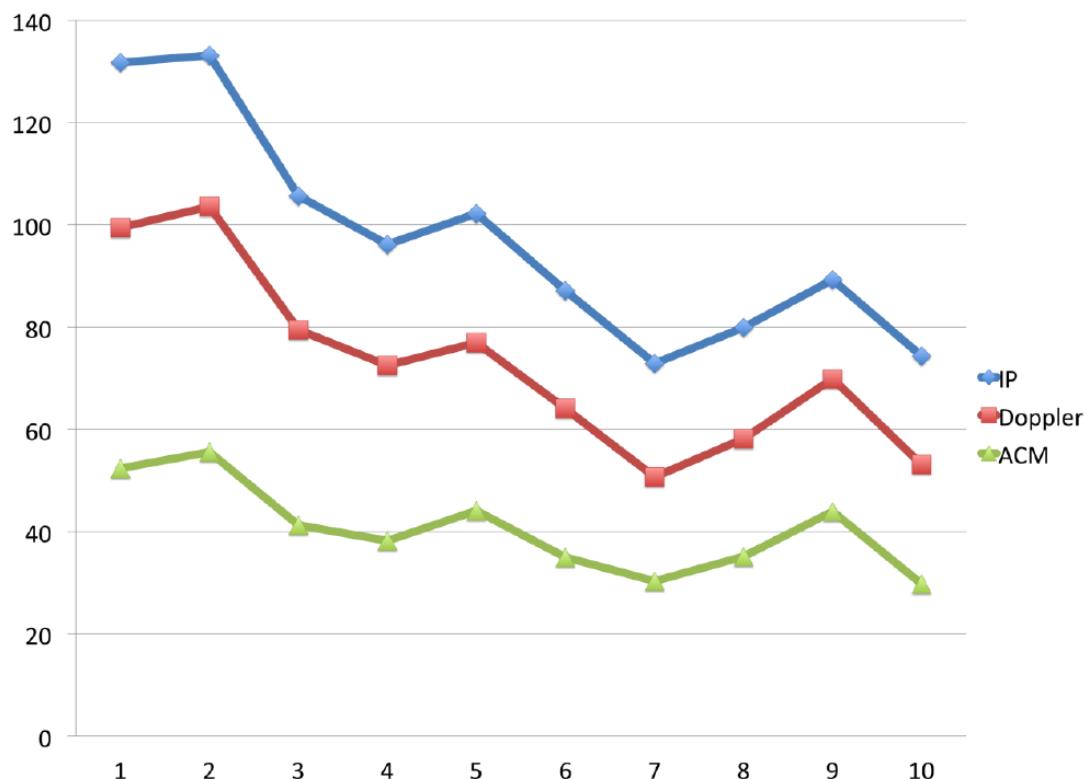


Figure 6 : Courbe d'apprentissage du DTC. En abscisse les différents essais, en ordonnée les temps moyens retrouvés en secondes. D'après Corre et Al. [34]

Cependant, la persistance des connaissances dans le temps ainsi que la fiabilité des résultats obtenus ne sont pas étudiés.

Une étude présentée sous forme de poster en 2013 au congrès de médecine d'urgence de la SFMU conclut à une acquisition rapide du DTC [37]. Les résultats sont présentés sous forme de courbes à sommes cumulées (CUSUM-LC).

Un autre travail effectué en 2004 en réanimation par Guene n'avait pas réussi à conclure sur le nombre de procédures à effectuer pour être reproductible (possiblement lié à la recherche des 6 artères et à une absence de bénéfice direct) [20].

Plusieurs études médicales explorant les courbes d'apprentissage de diverses techniques ont recours à l'utilisation de ces courbes de sommes cumulées (CUSUM-LC) afin d'évaluer l'apprentissage [38,39,40]. Cette méthodologie permet d'obtenir une représentation graphique d'une tendance de données (l'expérience ou la performance par exemple). L'aspect attendu d'un graphique CUSUM en cas d'apprentissage continu est une courbe en cloche. Cette méthodologie trouve sa limite lorsque la taille de l'échantillon change au différents temps. Une analyse classique de courbe d'apprentissage avec un seul opérateur et une analyse en modèle mixte avec les données de plusieurs opérateurs permet dans ce cas d'estimer la part de variabilité entre les courbes d'apprentissage qui peut être expliquée par les différences "aléatoires" entre les opérateurs [41].

## **2. Matériels et Méthodes**

### **2.1 Type d'étude**

Il s'agit d'une étude uni-centrique observationnelle prospective.

### **2.2 Objectifs de l'étude**

L'objectif principal est de déterminer le nombre d'examens nécessaires pour qu'un médecin acquière le DTC.

Le critère de jugement principal est la superposition de la courbe du référent par rapport à celle du participant novice.

### **2.3 Population étudiée**

#### **2.3.1 Critères d'inclusion :**

Les médecins inclus dans l'étude répondaient aux critères d'éligibilité suivants : internes en médecine exerçant aux Urgences ou au SAMU de Nantes du 31 janvier au 31 juillet 2014.

#### **2.3.2 Critères d'exclusion**

La connaissance pratique et théorique du DTC (c'est-à-dire sujet déjà formé) était un critère d'exclusion.

Ce critère a fait l'objet d'une évaluation déclarative.

### **2.4 Déroulement de l'étude**

L'étude s'est déroulée du 31 janvier au 31 juillet 2014 au sein du service des urgences du CHU de Nantes.

Dans un premier temps, chaque participant a bénéficié pendant 3 heures d'un cours initial théorique et d'une démonstration pratique réalisés par un référent habitué à la formation

à l'EDTC. La technique d'apprentissage utilisée était la technique « dite de Pès » (méthode actuellement utilisée dans le service). Une fiche « reflexe » rappelant cette technique ainsi qu'un récapitulatif des valeurs seuils d'IP et de VD était délivrée aux participants pendant la formation (annexe 1).

Six séances ont eu lieu afin de former l'ensemble des participants. Le participant novice étudié effectuait à titre d'entraînement initial entre 4 et 6 EDTC sur les autres participants. Pour le dernier EDTC, il était comparé au référent : c'est le DTC initial.

La seconde partie de l'étude, à l'issue de cette formation, consistait pour le participant à effectuer un maximum de DTC sur des sujets majeurs admis aux urgences n'ayant à priori aucune pathologie cérébrale. Un premier groupe a participé à l'étude du 31 janvier au 31 avril et un second du 15 mai au 31 juillet. Une évaluation par un référent était réalisée à chaque 5ème DTC (technique, résultats et chronomètre). Lorsque référent et médecin à l'étude n'avait pas de valeurs au bout de 3 minutes, le patient était considéré non échographiable (temps défini de façon arbitraire).

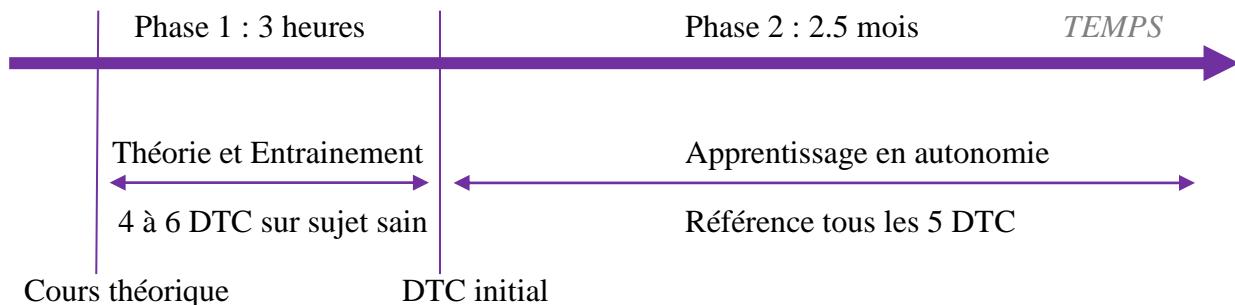


Figure 7 : Schéma récapitulatif du déroulement de l'étude.

Lors de chaque phase, le même appareillage pour la réalisation de Doppler transcrânien était utilisé par les intervenants. Il s'agissait d'un échographe Philips modèle Cx-50 équipé d'une sonde Phased Array 2 MHz (2 machines disponibles aux urgences).

## **2.5 Données recueillies**

Le recueil des données lors de la phase 2 a été réalisé sur un formulaire à la disposition de chaque participant (annexe 2). Les données étaient régulièrement transcrites informatiquement afin d'éviter les pertes.

Sur la feuille de recueil sont renseignés tout d'abord l'âge, le sexe du patient et son motif de consultation. Les paramètres cliniques sont ensuite notés : score de Glasgow, fréquence respiratoire, fréquence cardiaque, tension artérielle, température, et taux d'hémoglobine si disponible. L'opérateur renseigne les données du DTC : tronc cérébral identifié en 2D, ACM observée en Doppler couleur et les valeurs de IP et Vd de chaque côté ainsi que la profondeur d'insonation ayant permis ces mesures. Enfin, il renseigne sur une échelle de 0 à 10 l'appréciation subjective de la réalisation du Doppler : de facile à compliquée.

## **2.6 Analyse statistique**

Les données cliniques ont été informatisées après recueil sur les formulaires standardisés. La saisie des formulaires a été réalisée sur tableur Excel®.

Les logiciels utilisés pour les statistiques étaient Excel® version 2010, et Xlstats®.

Les données quantitatives ont été exprimées sous forme de moyenne +/- écart type, ou de médiane et extrême, incidence en fonction des tests statistiques utilisés.

Le logiciel R® version 3.0.3 a servi à la modélisation des courbes.

### **2.6.1 Méthodologie de réalisation d'un graphique CUSUM**

Les données de l'opérateur ayant réalisé le plus de DTC ont été utilisées pour l'analyse de l'évolution d'une série de mesures individuelles. Les évolutions des moyennes des pourcentages de différence de mesure par rapport au séniorm (ci-après appelées « différences relatives de mesures ») ont été analysées pour la VD et l'IP séparément (moyenne gauche-droite pour chaque Doppler) et ensemble (moyenne des quatre mesures pour chaque Doppler). L'analyse graphique de ces évolutions a été réalisée à l'aide d'un graphique CUSUM. En notant  $X_i$  la différence de mesure relative moyenne au temps  $i$ , ce graphique est la

représentation de la statistique CUSUM (statistique C) définie comme la somme cumulée des  $X_i - 0,1$  (0,1 représentant le pourcentage d'erreur défini comme acceptable, soit 10 %).

La statistique C peut avoir trois évolutions possibles :

- soit les différences moyennes de mesure sont supérieures à 10 %, les  $X_i - 0,1$  sont alors positifs et le CUSUM augmente ;
- soit les différences moyennes sont égales à 10 %, les  $X_i - 0,1$  sont alors nuls et l'évolution du CUSUM présente un plateau ;
- soit les différences moyennes sont inférieures à 10 %, les  $X_i$  sont alors négatifs et le CUSUM diminue.

L'aspect attendu d'un graphique CUSUM en cas d'apprentissage continu est une courbe en cloche : la courbe augmente tant que les différences de mesure restent supérieures à 10 %, puis se stabilise quand elles s'en approchent et enfin décroît quand les différences de mesure passent sous la barre des 10 %.

### **2.6.2 Méthodologie de l'analyse de plusieurs séries individuelles**

Afin de modéliser l'évolution des différences relatives de mesure, les données des opérateurs ayant au moins 5 points de suivi (soit au moins 20 DTC) ont été introduites dans un modèle de régression linéaire.

Pour estimer la part de variation inter-individuelle sur les différences relatives de mesure initiale et sur leur évolution, un modèle linéaire mixte a été utilisé en introduisant un effet aléatoire « opérateur » sur l'ordonnée à l'origine et sur la pente. Trois types d'équation ont été testés, à savoir : linéaire, quadratique et cubique. Les modèles obtenus ont été comparés à l'aide de l'indice d'Akaike (AIC) : entre deux modèles, celui présentant l'AIC minimal est celui possédant le meilleur équilibre.

Le modèle a été réalisé sur les différences relatives de mesures de la VD et de l'IP ensemble de façon à disposer de suffisamment de données. Pour tester une éventuelle différence dans les courbes d'apprentissage entre ces deux variables, un effet propre « variable mesurée » et une interaction avec l'effet « nombre de DTC réalisés » ont été introduits.

Ces deux termes permettaient respectivement de tester :

1. l'hypothèse de différences relatives inégales à l'origine entre la VD et d'IP (l'une de ces deux mesures est-elle plus aisée à réaliser dès le départ ?),
2. l'hypothèse d'une dynamique d'apprentissage différente entre la VD et l'IP (l'une de ces deux mesures se maîtrise-t-elle plus rapidement ?).

### 3. Résultats

#### 3.1 Population

28 étudiants sur les 35 à qui l'étude a été proposée ont été inclus et ont fait le DTC initial (soit 80%).

##### 3.1.1 Parcours professionnel

17 se destinent à la médecine d'urgence, 11 sont de futurs médecins généralistes.

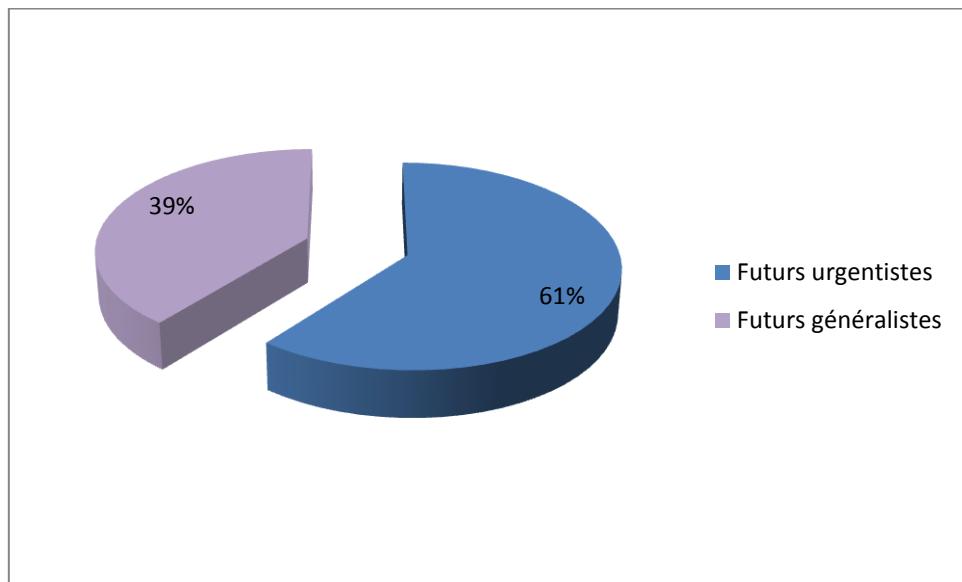


Figure 8 : Répartition des participants selon leur parcours professionnel.

### 3.1.2 Sexe

15 participantes sont des femmes (9 futures généralistes, 8 futures urgentistes). Les hommes sont majoritairement de futurs urgentistes (9 participants sur 11).

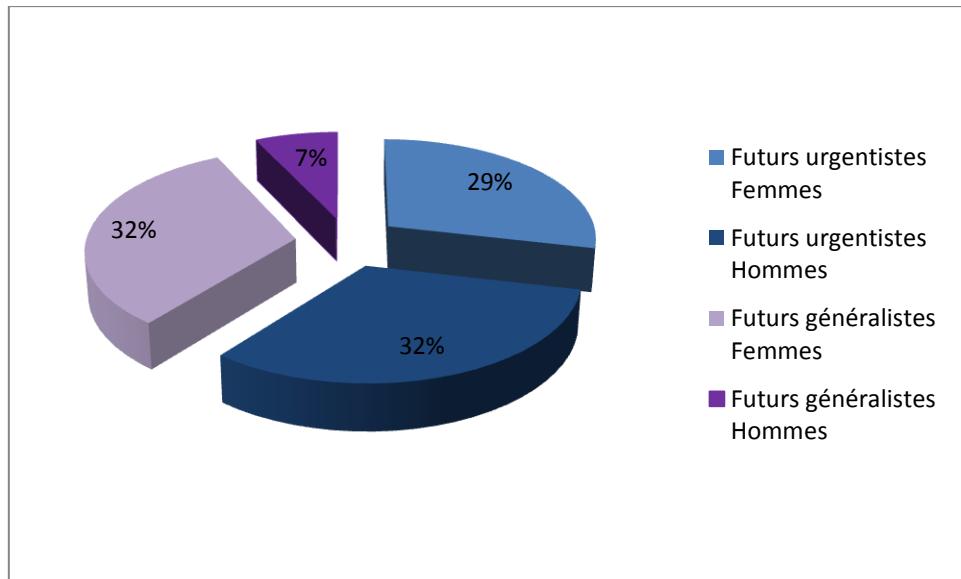


Figure 9 : Répartition des participants selon le sexe et le parcours professionnel.

### 3.1.3 Cursus universitaire

8 futurs urgentistes sont au 3<sup>ème</sup> semestre d'internat, 4 au 4<sup>ème</sup>, 4 au 5<sup>ème</sup>, 1 au 6<sup>ème</sup>.

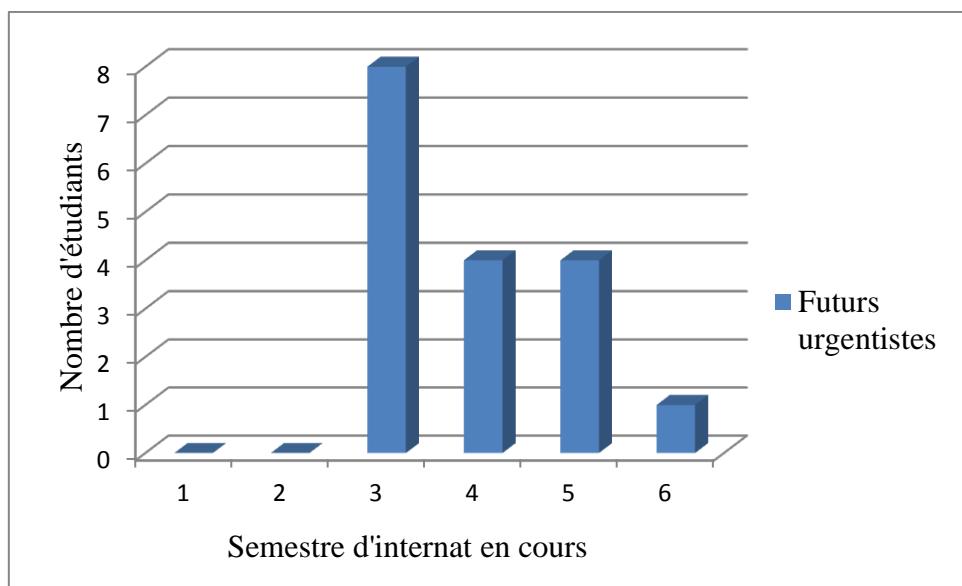


Figure 10 : Répartition des futurs urgentistes selon leur avancée dans le cursus universitaire.

9 futurs généralistes sont au 3<sup>ème</sup> semestre et 2 au 5<sup>ème</sup> d'internat

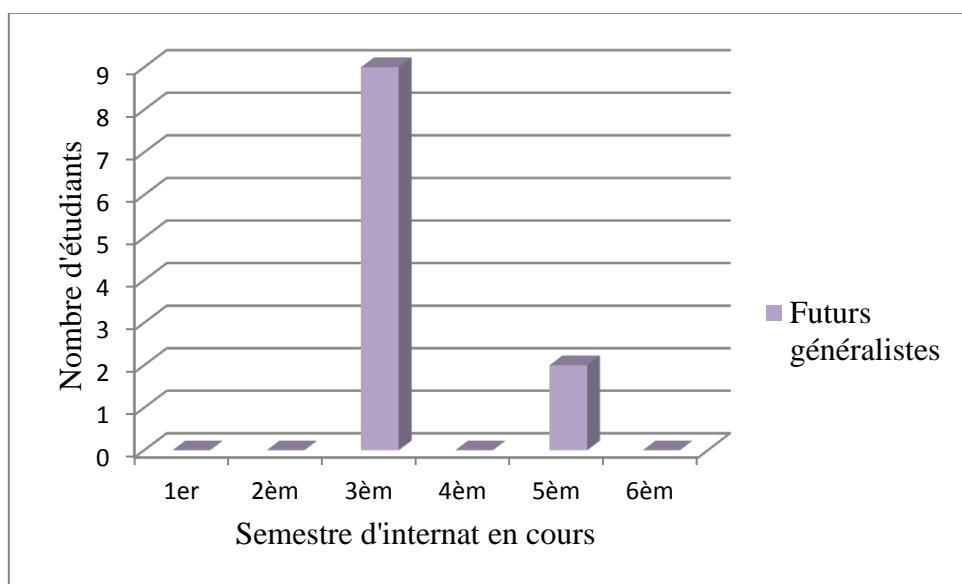


Figure 11 : Répartition des futurs généralistes selon leur avancée dans le cursus universitaire.

### 3.1.4 Lieu de stage

8 participants sont au Samu (100% futurs urgentistes), 20 sont aux urgences (9 futurs urgentistes, 11 futurs généralistes)

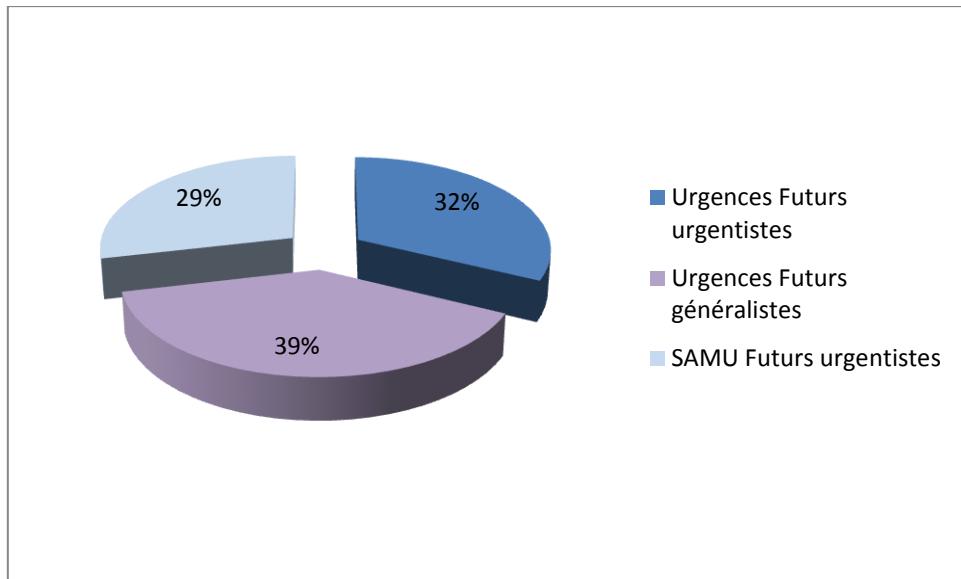


Figure 12 : Lieu de stage des participants.

### 3.1.5 Nombres de DTC effectués

12 étudiants ont réalisé moins de 5 DTC après le DTC initial (1 étudiant a déclaré ne pas être novice après la réalisation du DTC initial et a été exclu de l'étude). 1 étudiant n'a pas transmis les résultats des DTC effectués et référencés.

15 étudiants ont fait plus de 5 DTC après le DTC initial. Ces 15 étudiants ont réalisé en moyenne  $17.67 +/- 14.12$  DTC soit une médiane à 10 examens.

Parmi ces 15 étudiants, 12 se destinent à la médecine d'urgence (soit 80%), 3 sont de futurs médecins généralistes.

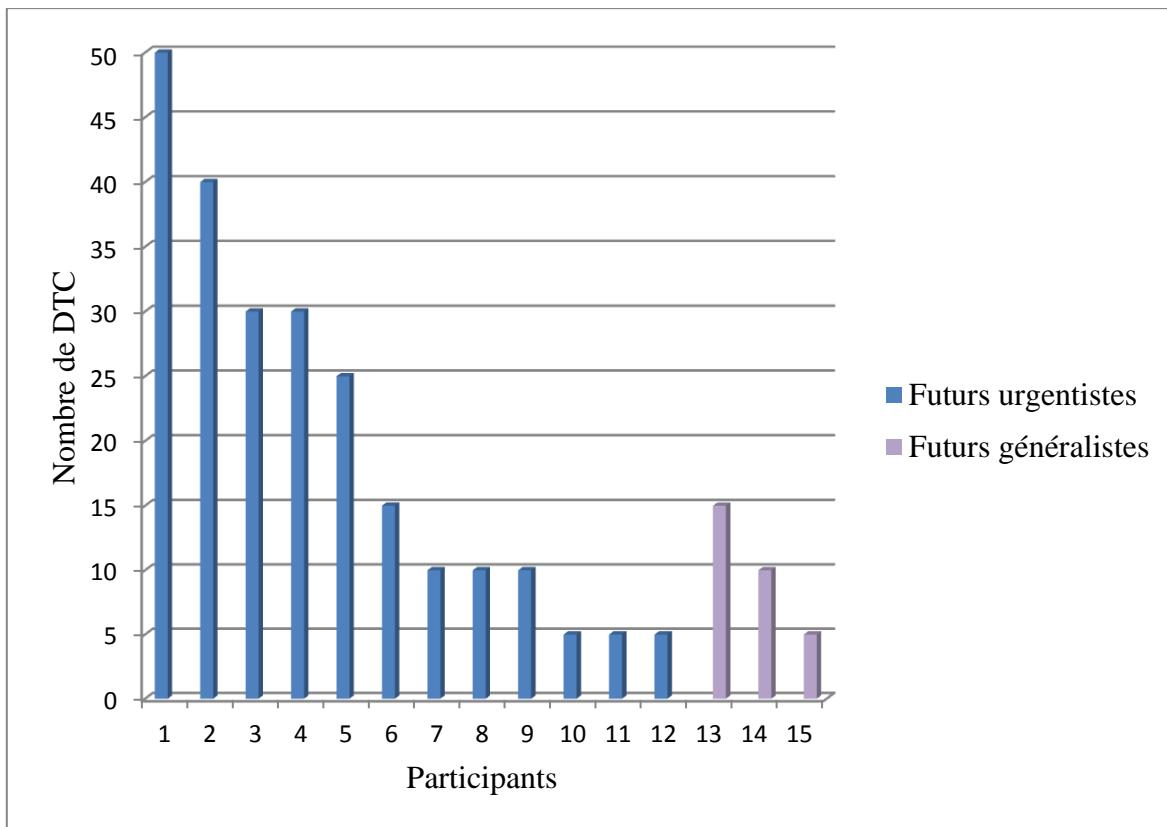


Figure 13 : Nombres de DTC réalisés par les 15 internes ayant fait plus de 5 DTC après le DTC initial.

### 3.2 Nombre de séances de formation.

Six séances ont eu lieu afin de former ces participants.

### 3.3 Profondeur moyenne de mesure

Les mesures ont été réalisées à une profondeur moyenne d'insonation de 5.08 +/- 0.50 cm soit une médiane à 5.1 cm.

### **3.4 Valeurs obtenues**

Pour les valeurs référencées, la valeur moyenne d'IP retrouvée par les participants est de 0.89+/-0.40 soit une médiane à 0.81.

La valeur moyenne de VD est 43.38+/-13.11 cm soit une médiane à 44.1cm.

### **3.5 Difficulté subjective de réalisation des mesures**

La difficulté subjective de réalisation des mesures était en moyenne de 3.77 +/- 2.66 soit une médiane à 3 (échelle de 0 – facile - à 10 – difficile-).

### **3.6 Réalisation des courbes**

#### **3.6.1 Analyse d'une série individuelle**

Les résultats de l'analyse de la série individuelle sont présentés dans la figure 13.

L'opérateur atteint la phase de plateau (pourcentage des différences de mesure égale à 10 %) à partir du 30<sup>ème</sup> Doppler. En revanche, la phase de décroissance n'est pas atteinte à la fin de l'étude.

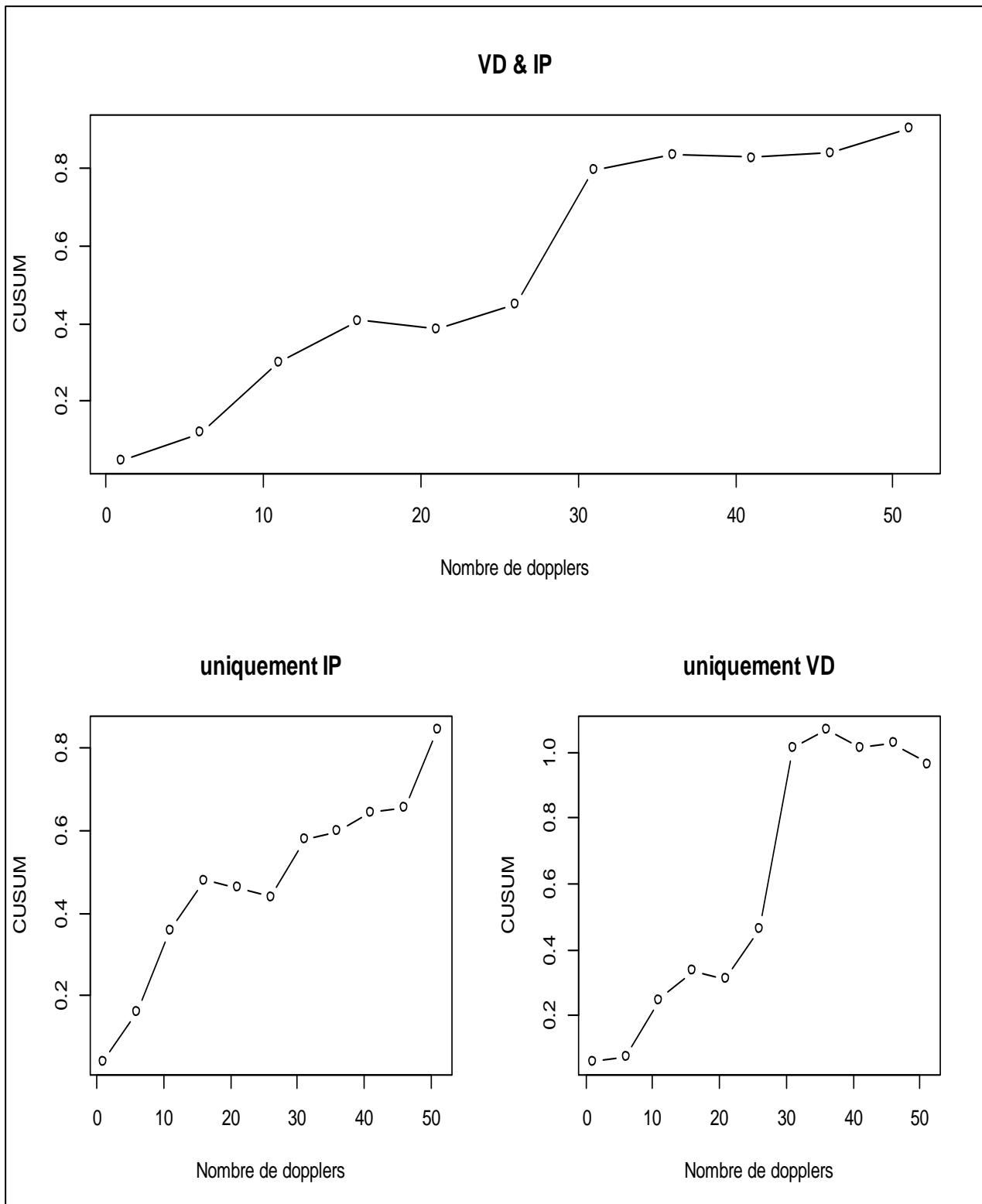


Figure 14 : Résultats de l'analyse de la série individuelle. La statistique CUSUM correspond à la somme cumulée des pourcentages moyens de différences de mesures par rapport au séniormoyenne gauche-droite pour VD uniquement et IP uniquement, et aux moyennes sur les quatre mesures pour VD & IP.

### **3.6.2 Analyse de plusieurs séries individuelles**

La modélisation a été réalisée à partir des données de 4 opérateurs (ayant plus de 20 DTC).

Le modèle linéaire semblait le mieux adapté : AIC = -83,20 contre -81,23 pour le modèle quadratique et -81,19 pour le modèle cubique.

Le modèle mixte n'a pas retrouvé de variations inter-individuelles significatives : les pourcentages de variance expliquée par l'effet aléatoire « opérateur » étaient en effet inférieurs à 0,001 %, tant sur la différence relative de mesure initiale que sur l'évolution en fonction de l'expérience.

Il n'a pas été mis en évidence de différence significative d'apprentissage entre les variables VD et IP, tant sur les valeurs initiales ( $p=0,95$ ) que sur l'évolution en fonction de l'expérience ( $p=0,89$ ).

Après élimination de ces différents facteurs du modèle, la régression linéaire montre une diminution significative des différences relatives de mesure d'en moyenne 0,2 point<sup>1</sup> de pourcentage pour chaque Doppler réalisé ( $p=0,05$ ). Le modèle prédit une différence relative de mesure inférieure à 10 % en moyenne après 56,7 DTC réalisés (intervalle de confiance à 95 % = 4,3 – 109,1): figure 15.

---

<sup>1</sup> Une différence brute de pourcentage s'exprime en point, non en pourcent. Ainsi, si une mesure passe de 50 % à 45 %, on dit qu'elle a diminué de 5 points de pourcentage (ou de  $5/50=10\%$ ).

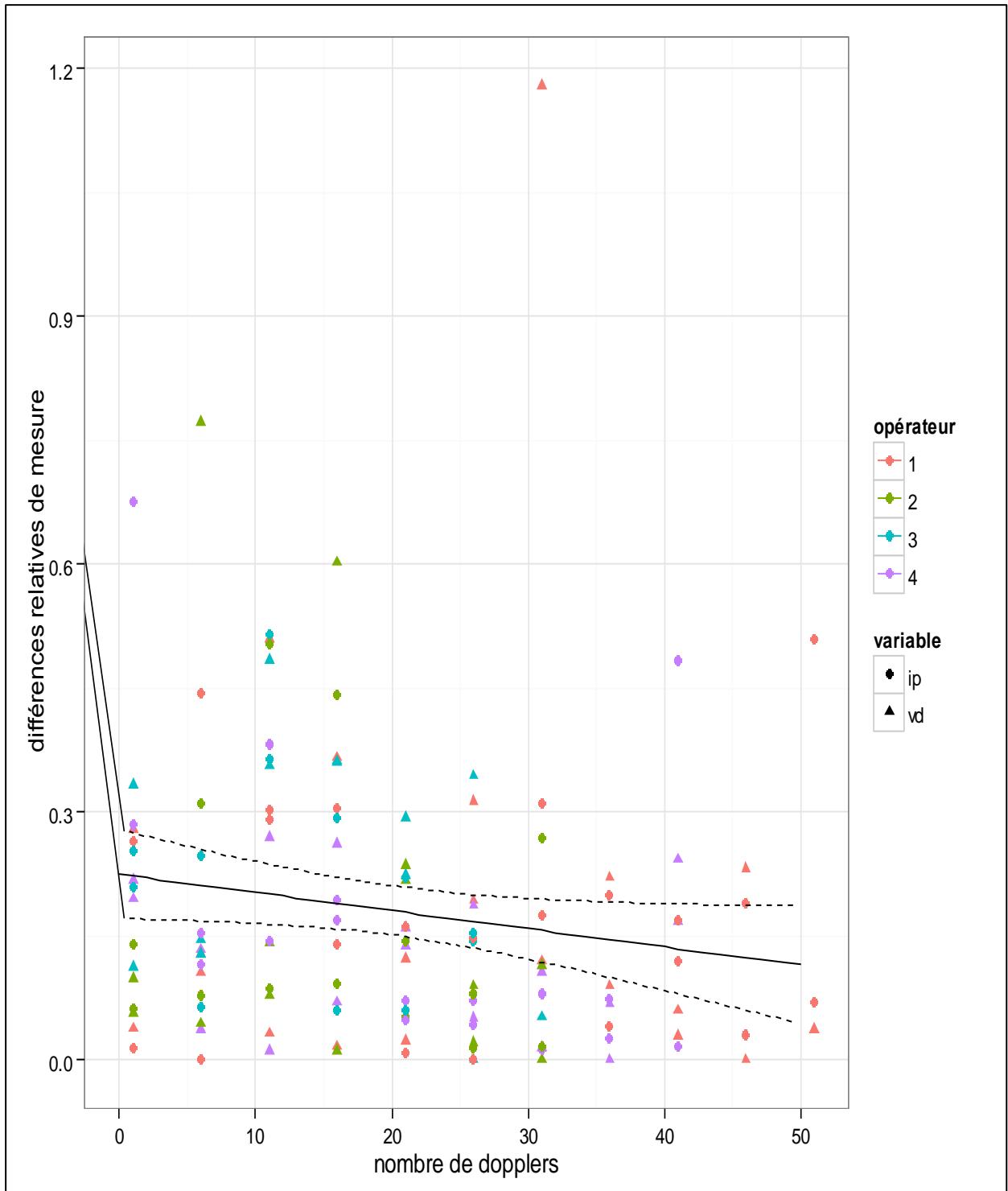


Figure 15 : Différences relatives de mesure par rapport au sénier par opérateur et variable mesurée. La droite pleine correspond à la droite de régression et les droites en pointillés aux intervalles de confiance à 95 %

### 3.7 Récapitulatif des résultats

L'ensemble des résultats est présenté de façon synthétique dans le tableau suivant.

28 participants.  
61% futurs urgentistes, 39% futurs généralistes.  
39% au SAMU (100% futurs urgentistes)  
61% aux urgences (55% futurs généralistes, 45% futurs urgentistes).  
Cursus universitaire : urgentistes > généralistes.  
Femmes > hommes

> 5 DTC après le DTC initial : 15 participants (80% futurs urgentistes).  
**Nombre moyen de DTC** : 17.67 +/- 14.12 (médiane : 10 DTC)  
**Profondeur moyenne des mesures** : 5.08 +/- 0.50 cm.  
**Difficulté moyenne de réalisation des DTC** : 3.77 +/- 2.66 soit une médiane à 3.  
**Valeur moyenne de VD** : 43.38 +/- 13.11 cm soit une médiane à 44.1cm.  
**Valeur moyenne d'IP** : 0.89 +/- 0.40 soit une médiane à 0.81.

**Différence relative de mesure égale à 10 %** : 30<sup>ème</sup> DTC.  
**Différence relative de mesure inférieure à 10 %** : 56,7<sup>ème</sup> DTC (IC 95 : 4.3-109.1).  
**Diminution des différences relatives de mesure** : 0,2 point de pourcentage chaque Doppler réalisé ( $p=0,05$ ).  
**Pourcentages de variance expliquée par l'effet aléatoire « opérateur »** : < 0,001 %.

## 4. Discussion

Le DTC est un outil en plein essor dans la prise en charge des victimes de TC lorsqu'il s'agit de diagnostiquer, de monitorer ou d'évaluer le traitement d'une complication intracérébrale [19]. Notre étude a pour but de déterminer le nombre d'examens nécessaires pour qu'un médecin acquière le DTC en modélisant une courbe d'apprentissage de ce geste au moyen de courbes CUSUM. Après une étude de la population incluse, nous analyserons les résultats de la courbe d'apprentissage avant d'aborder les axes d'amélioration.

La taille de notre population est comparable à celles des études sur l'apprentissage du DTC dans la littérature [20,34] ainsi que celles des études des gestes médicaux hors DTC [32,38,42,43].

Deux tiers des internes participants à l'étude sont des femmes. Cette proportion n'est pas représentative du nombre d'internes femmes exerçants à Nantes (45% en médecine générale, 43% de spécialistes en 2007) [44]. Cependant, ce chiffre est en adéquation avec la féminisation de la médecine. En 2007, elles représentaient 62% du total des étudiants inscrits à l'examen national classant [45].

Une majorité des participants sont de futurs urgentistes. Ce biais de recrutement peut s'expliquer par le bénéfice personnel plus important de l'apprentissage du DTC par ces derniers. Ce bénéfice secondaire explique également leur participation plus active.

Le taux de participation de notre étude était de 80% et seul un participant sur deux a fait plus de 5 DTC après le DTC initial. Cinq hypothèses ont été émises afin d'expliquer les 13 participants perdus de vue et la diminution de participation observée au cours de l'étude : en premier l'absence de bénéfice direct pour le patient [20], en second l'absence de bénéfice personnel pour les futurs généralistes. Troisièmement, ces derniers, moins avancés dans leur parcours de formation (près de 82% en 3<sup>ème</sup> semestre) que les futurs urgentistes (plus de 50% au-delà du 3<sup>ème</sup> semestre), ont peut-être des objectifs d'apprentissage différents. Quatrièmement, certains internes ont justifié l'arrêt de participation par le nombre restreint d'échographes et de référents pour les superviser. Enfin, la durée de l'étude peut également

être en cause. Malgré le choix des deux mois et demi de notre observation, le phénomène de délitement de la participation (délai entre 2 DTC très variable après la formation initiale) a été observé comme dans l'étude de Guene sur 1 an [20].

L'ensemble des DTC ont été réalisés par les internes sur des patients ne présentant aucune pathologie intracrânienne. Les valeurs d'IP et de VD retrouvées dans l'étude sont donc cohérentes. Ces dernières ont été mesurées à une profondeur de 5.08 +/- 0.5 cm conformément à la littérature [11,22].

Notre étude a été réalisé par une population comparable à celle de la littérature et représentative des internes. Les données recueillies étant pertinente (valeurs IP et VD, profondeurs) nous allons donc dans un deuxième temps analyser la courbe d'apprentissage des internes sur cette technique.

Il semble que la technique du DTC est considérée comme relativement facile par les opérateurs (difficulté moyenne évaluée à 3.77 +/- 2.66 sur une échelle de 0 à 10). Ce critère subjectif est en adéquation avec la littérature [20,34]. Il faut garder à l'esprit dans ce résultat que seule l'ACM (considérée la plus simple à explorer [20] ) était cherchée par l'EDTC. De plus, nous ne comparons pas le ressenti des internes avec les données propres au patient (âge, sexe, paramètres vitaux, pathologies...).

Selon notre étude, seuls 30 examens sont nécessaires pour obtenir une différence de 10% entre l'interne et le référent (phase de plateau) sur les valeurs d'IP et de VD. Ce faible chiffre conforte l'impression subjective des internes. Cependant, il est nettement supérieur à celui retrouvé par Corre [34]. En effet, selon son étude, seuls 6 examens sont nécessaires. Cette différence s'explique par un critère de jugement différent entre notre étude et la sienne. Corre évalue un temps de réalisation pour obtenir un IP sans prendre en compte la valeur de ce dernier. Notre étude s'attache à déterminer une différence relative de mesure inférieure à 10% sans prendre en compte le temps de réalisation. Ceci permet d'évaluer la qualité et l'évolution des capacités acquises.

Dans notre étude, le modèle prédit une différence relative de mesure inférieure à 10 % en moyenne après 56,7 DTC réalisés (IC 95 % = 4,3 – 109,1). Les résultats précédents sont évidemment à relativiser du fait du nombre relativement faible de mesures prises en compte dans l'analyse (peu de DTC par participant). Ceci est montré entre autre par l'intervalle de

confiance très large. L'estimation de la forme de la courbe d'apprentissage n'est sans doute pas optimale puisqu'il aurait fallu pour cela une série de mesures plus importante. En effet, peu d'opérateurs ont pu réaliser plus de 30 Doppler, et l'analyse de la série individuelle la plus longue montre que l'apprentissage n'était pas encore terminé à la fin de l'étude. Un suivi plus long et une recherche plus poussée seraient donc nécessaires pour déterminer avec précision la forme la mieux adaptée à la courbe d'apprentissage du Doppler transcrânien.

Enfin, notre étude ne met pas en évidence de différence significative d'apprentissage entre les variables VD et IP et ne retrouve pas de variations inter-individuelles significatives. Les courbes obtenues pour un participant pourraient donc être le reflet de courbes obtenues par d'autres participants. Un nombre de participants important ne semble pas nécessaire pour établir une courbe.

Notre étude apporte plusieurs éléments intéressants sur l'apprentissage du DTC. La significativité de l'effet temporel (ou plutôt de l'effet « nombre de DTC effectués ») est en faveur d'un réel effet d'apprentissage avec la pratique. Plusieurs axes d'amélioration peuvent être proposés afin d'optimiser la modélisation de la courbe d'apprentissage du DTC.

Afin de limiter les perdus de vue, une étude menée uniquement avec des urgentistes, neurologues ou réanimateurs pourrait permettre de favoriser l'adhésion des participants (bénéfice personnel). De même, la réalisation d'un protocole d'étude incluant des patients souffrant de pathologies cérébrales et pour qui le DTC aurait un bénéfice sur la prise en charge thérapeutique pourrait renforcer cette adhésion. Une disponibilité plus importante ou un nombre plus important de référents semble nécessaire afin de limiter le nombre de perdus de vue.

Une recherche plus poussée avec un nombre de DTC réalisés plus important est nécessaire pour déterminer avec précision la forme la mieux adaptée à la courbe d'apprentissage du Doppler transcrânien. Les variations interindividuelles étant faibles, un nombre important de participants ne semble en revanche pas nécessaire.

Il pourrait être judicieux d'ajouter une phase à l'étude pour évaluer la persistance de l'acquisition du DTC à distance de la phase de supervision.

## Conclusion

Notre étude évalue l'apprentissage du DTC par la modélisation de courbes d'apprentissage auprès des médecins juniors.

Une valeur seuil de 30 examens est nécessaire afin d'obtenir une phase de plateau dans l'apprentissage du DTC. L'acquisition de ce geste semble exister après 57 DTC. Ces valeurs sont nettement plus importantes que celles retrouvées dans la littérature.

Une étude sur une population ayant un bénéfice personnel (urgentistes, réanimateurs, neurologues) avec un nombre plus important de référents devrait permettre d'obtenir une série de données plus importante et d'optimiser l'élaboration de la courbe d'apprentissage. Après une phase d'apprentissage sur sujets « sains », il serait intéressant de comparer les performances sur patients cérébro-lésés.

## **Annexes**

Annexe 1 : fiche reflexe DTC

Annexe 2 : fiche d'auto-évaluation

Annexe 3 : récapitulatif des figures et tableaux

## Annexe 1 : Fiche reflexe DTC

### Définition :

Le Doppler Transcrânien (DTC) utilisé en médecine d'urgence cherche à mesurer la vélocité sanguine dans l'artère cérébrale moyenne (ACM). Cette dernière représente 60 à 70 % du flux sanguin cérébral homolatéral.

### Patient :

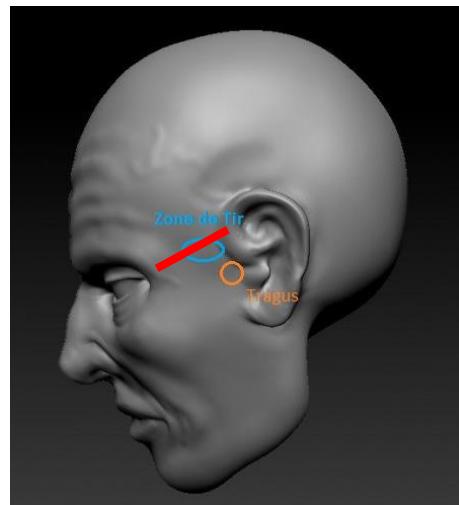
Traumatisme crânien quelque soit la gravité. Autre cause potentielle de souffrance cérébrale.

### Repérage anatomique :

1. Repérer le tragus
2. Un doigt au-dessus du tragus, tracer virtuellement une ligne rejoignant ce point avec l'angle externe de l'œil (épicanthus).

### Machine :

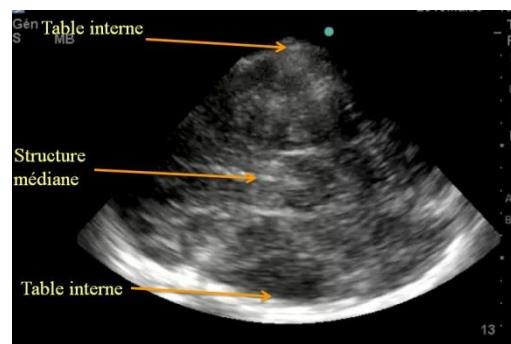
- Preset : TCD
- Profondeur initiale : 16-18 cm
- Sonde Phased Array (cardiaque) avec repère toujours orienté vers l'œil du patient (quelque soit le côté)



### Procédure :

#### En 2D :

- Identifier la table interne controlatérale
- Identifier la structure médiane (trait hyperéchogène horizontal)
- Identifier le tronc cérébral : Papillon ou Pacman
- Réduire la profondeur pour positionner le Papillon/Pacman à ras du bord inférieur de l'écran (+/- 10 cm)



### Doppler couleur :

- Enclencher le Doppler couleur
- Positionner la fenêtre Doppler couleur en avant du papillon/pacman
- Identifier l'ACM en forme de "S" rouge grâce à un léger mouvement de "roulis" de la sonde



### Doppler pulsé :

- Positionner le collimateur Doppler sur la portion la plus "lumineuse" de l'ACM et la plus dans l'axe du tir
- Obtenir le spectre des vitesses du Doppler pulsé
- Effectuer 3 mesures de chaque côté.

### Résultats :

Normal :	Alarme :	A traiter sans délai :
Vd > 30 cm/s IP < 1	20 < Vd < 30 cm/s 1 < IP < 1.4	<b>Vd &lt; 20 cm/s</b> <b>ET IP &gt; 1.4</b>

Noter les paramètres vitaux suivant : GCS, Pupilles, Pouls, PA, T° et si possible Hb et capnie.

## Annexe 2 : FICHE D'AUTO-ÉVALUATION

**Consignes :** À chaque DTC effectué dans le cadre de l'étude, l'interne complète une ligne du tableau ci-dessous et stockera l'image correspondante à chaque côté dans l'appareil utilisé (Penser à bien identifier le patient avant...) et imprimera l'image.

- Les *items « 2D » et « S couleur »* sont VU ou NON VU, identifié respectivement par une croix (X) Item VU et un zéro (0) si NON VU.
- Les *items « Vd » et « IP »* renseignés sous forme de chiffre correspondant à la valeur.
- Les *échelles de ressenti* valent pour chaque item et la dernière est globale, règle : ① très facile à ⑩ très difficile.
- L'interne pensera à remplir *les paramètres vitaux* et notamment le score de Glasgow, la fréquence cardiaque, la tension, la température et si disponible : le taux d'hémoglobine.
- Au verso de la fiche, noter si une modification thérapeutique a eu lieu après interprétation du DTC par un référent.
- Tous les 5 DTC (cases grisées) l'interne demande une *supervision* et un chrono a un référent (le médecin référent inscrira sur la même ligne les valeurs qu'il trouvera ainsi que son ressenti d'une autre couleur et s'identifiera par ses initiales).

N°	Date	Identité Patient	Pathologie	Constante	DTC droit			DTC gauche			Échelle
1	Date : Heure : Machin e :	Nom : Prénom : Sexe : Age :		GCS : Pouls : TA : T° Hb :	2 <b>D</b>	S couleur	Vd : IP :	2 <b>D</b>	S couleur	Vd : IP :	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩
2	Date : Heure : Machin e :	Nom : Prénom : Sexe : Age :		GCS : Pouls : TA : T° Hb :	2 <b>D</b>	S couleur	Vd : IP :	2 <b>D</b>	S couleur	Vd : IP :	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩
3	Date : Heure : Machin e :	Nom : Prénom : Sexe : Age :		GCS : Pouls : TA : T° Hb :	2 <b>D</b>	S couleur	Vd : IP :	2 <b>D</b>	S couleur	Vd : IP :	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩
4	Date : Heure : Machin e :	Nom : Prénom : Sexe : Age :		GCS : Pouls : TA : T° Hb :	2 <b>D</b>	S couleur	Vd : IP :	2 <b>D</b>	S couleur	Vd : IP :	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩
5	Date : Heure : Machin e :	Nom : Prénom : Sexe : Age :		GCS : Pouls : TA : T° Hb :	2 <b>D</b>	S couleur	Vd : IP :	2 <b>D</b>	S couleur	Vd : IP :	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩
6	Date : Heure : Machin e :	Nom : Prénom : Sexe : Age :		GCS : Pouls : TA : T° Hb :	2 <b>D</b>	S couleur	Vd : IP :	2 <b>D</b>	S couleur	Vd : IP :	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩







	Machine :	Age :	T° Hb :	①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩			①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩			
<b>42</b>	Date : Heure : Machine :	Nom : Prénom : Sexe : Age :	GCS : Pouls : TA : T° Hb :	<b>2D</b>	<b>S</b> couleur	Vd : IP :	<b>2D</b>	<b>S</b> couleur	Vd : IP :	①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩
				①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩			①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩			
<b>43</b>	Date : Heure : Machine :	Nom : Prénom : Sexe : Age :	GCS : Pouls : TA : T° Hb :	<b>2D</b>	<b>S</b> couleur	Vd : IP :	<b>2D</b>	<b>S</b> couleur	Vd : IP :	①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩
				①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩			①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩			
<b>44</b>	Date : Heure : Machine :	Nom : Prénom : Sexe : Age :	GCS : Pouls : TA : T° Hb :	<b>2D</b>	<b>S</b> couleur	Vd : IP :	<b>2D</b>	<b>S</b> couleur	Vd : IP :	①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩
				①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩			①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩			
<b>45</b>	Date : Heure : Machine :	Nom : Prénom : Sexe : Age :	GCS : Pouls : TA : T° Hb :	<b>2D</b>	<b>S</b> couleur	Vd : IP :	<b>2D</b>	<b>S</b> couleur	Vd : IP :	①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩
				Chrono :			Chrono :			
<b>46</b>	Date : Heure : Machine :	Nom : Prénom : Sexe : Age :	GCS : Pouls : TA : T° Hb :	<b>2D</b>	<b>S</b> couleur	Vd : IP :	<b>2D</b>	<b>S</b> couleur	Vd : IP :	①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩
				①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩			①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩			
<b>47</b>	Date : Heure : Machine :	Nom : Prénom : Sexe : Age :	GCS : Pouls : TA : T° Hb :	<b>2D</b>	<b>S</b> couleur	Vd : IP :	<b>2D</b>	<b>S</b> couleur	Vd : IP :	①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩
				①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩			①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩			
<b>48</b>	Date : Heure : Machine :	Nom : Prénom : Sexe : Age :	GCS : Pouls : TA : T° Hb :	<b>2D</b>	<b>S</b> couleur	Vd : IP :	<b>2D</b>	<b>S</b> couleur	Vd : IP :	①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩
				①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩			①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩			
<b>49</b>	Date : Heure : Machine :	Nom : Prénom : Sexe : Age :	GCS : Pouls : TA : T° Hb :	<b>2D</b>	<b>S</b> couleur	Vd : IP :	<b>2D</b>	<b>S</b> couleur	Vd : IP :	①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩
				①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩			①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩			
<b>50</b>	Date : Heure : Machine :	Nom : Prénom : Sexe : Age :	GCS : Pouls : TA : T° Hb :	<b>2D</b>	<b>S</b> couleur	Vd : IP :	<b>2D</b>	<b>S</b> couleur	Vd : IP :	①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩
				Chrono :			Chrono :			

### **Annexe 3 : Récapitulatif des figures et tableaux**

Figure 1 : Représentation du polygone de Willis en vue axiale

Figure 2 : Fenêtres osseuses pour la réalisation du DTC

Figure 3 : Zone de tir de l'ACM.

Figure 4 : Position de la sonde dans l'axe de l'ACM

Figure 5 : Image obtenue lors de la réalisation d'un Doppler transcrânien

Figure 6 : Courbe d'apprentissage du DTC. En abscisse les différents essais, en ordonnée les temps moyens retrouvés en secondes. D'après Corre et Al.

Figure 7 : Schéma récapitulatif du déroulement de l'étude

Figure 8 : Répartition des participants selon leur parcours professionnel.

Figure 9 : Répartition des participants selon le sexe et le parcours professionnel.

Figure 10 : Répartition des futurs urgentistes selon leur avancée dans le cursus universitaire

Figure 11 : répartition des futurs généralistes selon leur avancée dans le cursus universitaire.

Figure 12 : Lieu de stage des participants.

Figure 13 : Nombres de DTC réalisés par les 15 internes ayant fait plus de 5 DTC après le DTC initial.

Figure 14 : Résultats de l'analyse de la série individuelle

Figure 15 : Différences relatives de mesure par rapport au séniorm par opérateur et variable mesurée

Tableau 1 : Echelle du score de Glasgow

Tableau 2 : Valeurs normales des vélocités sanguines de l'ACM retrouvées au DTC chez les adultes

## Bibliographie

1. Jehl E, Honnart D, Grasleguen C, Bouget J, Dejoux C, et al. Traumatisme crânien léger (score de Glasgow de 13 à 15) : triage, évaluation, examens complémentaires et prise en charge précoce chez le nouveau-né, l'enfant et l'adulte. Société française de médecine d'urgence. Ann Fr Médecine Urgence. 23 avr 2012;2(3):199- 214.
2. Tazarourte K, Kleitz O, Laribi S, Vigué B. Prise en charge des traumatisés crâniens graves. EMC - Médecine. déc 2005;2(6):605- 616.
3. Tazarourte K, Bensalah N, Rebillard L. Epidémiologie des traumatismes crâniens. 2008. [cité 16 sept 2014]. Disponible sur: [http://campus.neurochirurgie.fr/IMG/pdf\\_Epidemiologie\\_des\\_traumatismes\\_craniens.pdf](http://campus.neurochirurgie.fr/IMG/pdf_Epidemiologie_des_traumatismes_craniens.pdf)
4. Versmée G, Gil-Jardine C, Roux M, Valdenaire G, De La Rivière C, Yali M, et al. Évaluation et amélioration des pratiques professionnelles: la prise en charge des patients sous anticoagulant victimes d'un traumatisme crânien. Ann Fr Médecine Urgence. 2014;1- 7.
5. Mailhan L. Qualité de vie après traumatisme crânien sévère. Prat Psychol. déc 2005;11(4):343- 357.
6. Masson F, Thicoipe M, Mokni T, Aye P, Erny P, Dabadie P, et al. Epidemiology of traumatic comas: a prospective population-based study. Brain Inj BI. avr 2003;17(4):279- 293.
7. Smail N, Samii K. Evaluation de la gravité et recherche des complications précoces chez un polytraumatisé. Rev Prat. 15 juin 2004;(11):1239- 48.
8. ANAES. Prise en charge des traumatisés crânien grave à la phase précoce. Recommandations pour la pratique clinique. Ann Fr Anesth Réanim. 1999;1- 172.
9. Bouhours G, Terminassian A, Beydon L. Traumatismes crâniens graves: prise en charge à la phase initiale. Réanimation. déc 2006;15(7-8):552- 560.

10. Rohacek M, Albrecht M, Kleim B, Zimmermann H, Exadaktylos A. Reasons for ordering computed tomography scans of the head in patients with minor brain injury. Injury. sept 2012;43(9):1415- 1418.
11. Jaffres P, Francony G, Bouzat P, Brun J, Declercq P, Fauvage B, et al. Le doppler transcrânien aux urgences chez le traumatisé crânien. Réanimation. nov 2007;16(7-8):665- 672.
12. Jehle E, Ray P, Tazarourte K, Beaudeux JL, Bouvier D. Intérêt du dosage sérique de la protéine S100B dans la prise en charge du traumatisme crânien léger. Ann Fr Médecine Urgence. 2014;4(3):Sup 1.
13. Corre M, Sapir D, Gauthier A, Laborde F, Césaréo E, Briole N, et al. Doppler transcrânien en médecine d'urgence [Internet]. 2012 [cité 23 déc 2013]. Disponible sur: [http://sofia.medicalistes.org/spip/IMG/pdf/Doppler\\_transcranien\\_en\\_medecine\\_d\\_urgence.pdf](http://sofia.medicalistes.org/spip/IMG/pdf/Doppler_transcranien_en_medecine_d_urgence.pdf)
14. Tazarourte K, Atchabahian A, Tourtier J-P, David J-S, Ract C, Savary D, et al. Pre-hospital transcranial Doppler in severe traumatic brain injury: a pilot study: Pre-hospital transcranial Doppler. Acta Anaesthesiol Scand. avr 2011;55(4):422- 428.
15. Chesnut RM, Marshall LF, Klauber MR, Blunt BA, Baldwin N, Eisenberg HM, et al. The role of secondary brain injury in determining outcome from severe head injury. J Trauma. févr 1993;34(2):216- 222.
16. Krejza J, Fryc J, Owlsasiuk M, Huba M, Bert RJ, Mariak Z. Transcranial color Doppler sonography in the emergency diagnosis of middle cerebral artery occlusion in a patient after head injury: Case report. Clin Imaging. 2001;25(2):90- 4.
17. Petrovic T, Gamand P, Tazarourte K, Catineau J, Lapostolle F. Feasibility of transcranial Doppler ultrasound examination out-of-hospital. Resuscitation. janv 2010;81(1):126- 127.
18. Aaslid R, Markwalder T-M, Nornes H. Noninvasive transcranial Doppler ultrasound recording of flow velocity in basal cerebral arteries. J Neurosurg. 1982;57(6):769- 74.
19. Vigue B, Tazarourte K, Geeraerts T, Ract C, Duranteau J. Le doppler transcrânien en réanimation. Réanimation. oct 2007;16(6):538- 545.

20. Guene B, Lefrançois C. Courbe d'apprentissage du Doppler trans-crânien en réanimation. Rouen; 2004.
21. Boishardy N, Granry JC, Jacob JP, Houï N, Fournier D, Delhumeau A. Intérêt du doppler transcrânien dans la prise en charge des traumatisés crâniens graves. Ann FR Anesth Réanim. 13:172- 3.
22. Padayachee T, Kirkham F, Lewis R, Gillard J, Hutchinson M, Gosling R. Transcranial measurement of blood velocities in the basal cerebral arteries using pulsed Doppler ultrasound: a method of assessing the Circle of Willis. Ultrasound Med Biol [Internet]. janv 1986 [cité 3 juill 2014]; Disponible sur: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/3083552>
23. Verlhac S, Bernaudin F. Imagerie de la vasculopathie cérébrale drépanocytaire [Internet]. 2006 [cité 27 août 2014]. Disponible sur: <http://drepanosite.free.fr/imagerie.htm>
24. Petrovic T, Lapostolle F. Échographie d'urgence comment et quand l'utiliser: fondamentaux, principes d'analyses et raisonnement stratégiques. Rueil-Malmaison: Arnette; 2013.
25. Baumgartner RW, éditeur. Handbook on neurovascular ultrasound. Basel ; New York: Karger; 2006. 276 p.
26. Jaffres P, Brun J, Decley P. Transcranial Doppler to Detect on Admission Patients at Risk for Neurological Deterioration Following Mild and Moderate Brain Trauma [Internet]. Intensive Care Med. 2005;31:785-790. [cité 23 déc 2013]. Disponible sur: [http://ac.els-cdn.com/S0196064406008523/1-s2.0-S0196064406008523-main.pdf?\\_tid=930e2f22-6be4-11e3-9d73-00000aab0f6b&acdnat=1387811701\\_e5f769e1d04cd6b7637097a856a62924](http://ac.els-cdn.com/S0196064406008523/1-s2.0-S0196064406008523-main.pdf?_tid=930e2f22-6be4-11e3-9d73-00000aab0f6b&acdnat=1387811701_e5f769e1d04cd6b7637097a856a62924)
27. Ducrocq X, Pincemaille B. Intérêt du doppler transcrânien chez les patients suspects de mort cérébrale. Ann FR Anesth Réanim [Internet]. 2012 [cité 29 janv 2014]; Disponible sur: [http://ac.els-cdn.com/S0750765805803417/1-s2.0-S0750765805803417-main.pdf?\\_tid=3eb1fc44-88f7-11e3-a8a6-00000aab0f02&acdnat=1391008304\\_049cf49f0791ed0d0927b6748c953f5](http://ac.els-cdn.com/S0750765805803417/1-s2.0-S0750765805803417-main.pdf?_tid=3eb1fc44-88f7-11e3-a8a6-00000aab0f02&acdnat=1391008304_049cf49f0791ed0d0927b6748c953f5)

28. Biyick E, Laffon M, Lamotte C, Tranquart F, Fabre M, Boudjella B, et al. Correlation Entre Le Doppler Trans-Cranien Et L'EEG Dans l'Etat De Mort Cerebrale. Annales Françaises d'Anesthésie et de Réanimation. Elsevier Masson; 1995. p. R291.
29. Tazarourte K, Cesáreo E, Sapir D, Atchabahian A, Tourtier J-P, Briole N, et al. Update on prehospital emergency care of severe trauma patients. Annales Fran\ccaises d'Anesthésie et de Réanimation [Internet]. 2013 [cité 19 janv 2014]. p. 477- 82. Disponible sur: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0750765813002189>
30. Ract C, Moigno S, Bruder N, Vigué B. Transcranial Doppler ultrasound goal-directed therapy for the early management of severe traumatic brain injury. Intensive Care Med. 23 mars 2007;33(4):645- 651.
31. Emergency Ultrasound Guidelines. Am Coll Emerg Physicians.
32. Messant I, Lenfant F, Chomel A, Rapenne T, Freysz M. Évaluation de l'apprentissage d'une nouvelle technique d'intubation: le ML-Fastrach™. Annales francaises d'anesthesie et de reanimation [Internet]. Elsevier; 2002 [cité 14 févr 2014]. p. 622- 6. Disponible sur: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0750765802007037>
33. Corre M, Mimoz O, Aries J, Dahyot-Fizelier C, Tazarourte K, Sapir D. Courbe d'apprentissage du Doppler Transcrânien. Poitiers; 2013.
34. Corre M, Herkelman L, Gauthier A, Césáreo E, Briole N, Laborde F, et al. Courbe d'apprentissage du doppler transcrânien (DTC) [Internet]. [cité 9 déc 2013]. Disponible sur:  
[http://www.sfmu.org/urgences2013/urgences2013/donnees/communications/resume/resume\\_152.htm](http://www.sfmu.org/urgences2013/urgences2013/donnees/communications/resume/resume_152.htm)
35. Sapir D, Benenati S, Dupouy V, Miranda C, Césáreo E, Corre M, et al. Courbe d'apprentissage du Doppler transcrânien (DTC) [Internet]. [cité 23 déc 2013]. Disponible sur: [http://ac.els-cdn.com/S0750765813004279/1-s2.0-S0750765813004279-main.pdf?\\_tid=91e55122-6be7-11e3-84c0-00000aab0f27&acdnat=1387812988\\_a9749149a12f1a3d9abbe2e31c625774](http://ac.els-cdn.com/S0750765813004279/1-s2.0-S0750765813004279-main.pdf?_tid=91e55122-6be7-11e3-84c0-00000aab0f27&acdnat=1387812988_a9749149a12f1a3d9abbe2e31c625774)
36. Moronval F-X. Les gestes techniques de Médecine d'Urgence: description, apprentissage et maintien des compétences. [Internet]. 2012 [cité 9 déc 2013]. Disponible sur: <http://www.colmu.net/IMG/pdf/fx.pdf>

37. Cossus J, Tazarourte K, Dubart A, Sonet F, Grimon D, Martarello R, et al. Evaluation de l'apprentissage de l'échographie doppler transcrânien (DTC) par le médecin urgentiste [Internet]. [cité 19 déc 2013]. Disponible sur: <http://www.sfmu.org/urgences2013/urgences2013/donnees/communications/resume/posters/P041.pdf>
38. Brogly N, Kollmann A, Schiraldi R, Maggi G, Guasch E, Gilsanz F. Utilisation des courbes de somme cumulée (CUSUM) pour l'évaluation de l'apprentissage du bloc périnerveux fémoral analgésique échoguidé après prothèse totale de genou. Ann Fr Anesth Réanimation. sept 2013;32:A298- A299.
39. Biau DJ, Williams SM, Schlup MM, Nizard RS, Porcher R. Quantitative and individualized assessment of the learning curve using LC-CUSUM. Br J Surg. juill 2008;95(7):925- 929.
40. Bokhari MB, Patel CB, Ramos-Valadez DI, Ragupathi M, Haas EM. Learning curve for robotic-assisted laparoscopic colorectal surgery. Surg Endosc. mars 2011;25(3):855- 860.
41. Ramsay C, Grant A, Wallace S, Garthwaite P, Monk A, Russel I. Statistical Assessment of the Learning Curves of Health Technologies: a systematic review. Int J Technol Assess Healthc. 2000;16:1095- 108.
42. Nguyen B-V, Prat G, Vincent J-L, Nowak E, Bizien N, Tonnelier J-M, et al. Determination of the learning curve for ultrasound-guided jugular central venous catheter placement. Intensive Care Med. janv 2014;40(1):66- 73.
43. Kim S-C, Hauser S, Staniek A, Weber S. Learning curve of medical students in ultrasound-guided simulated nerve block. J Anesth. févr 2014;28(1):76- 80.
44. Panorama des effectifs médicaux en 2007 [Internet]. [cité 7 sept 2014]. Disponible sur: [http://www.drees.sante.gouv.fr/IMG/pdf/demo\\_medicale2007.pdf](http://www.drees.sante.gouv.fr/IMG/pdf/demo_medicale2007.pdf)
45. Catalogue en ligne Bibliothèque de l'Insee [Internet]. [cité 7 sept 2014]. Disponible sur: [http://insee.bibli.fr/opac/index.php?lvl=author\\_see&id=66047](http://insee.bibli.fr/opac/index.php?lvl=author_see&id=66047)

## **Statistiques**

Nombres de pages : 56

Nombre de mots : 11145

Nombre de caractères (espaces non compris) : 57367

Nombre de caractères (espaces compris) : 67505

**NOM : BROCHEUX**

**PRENOM : ROMAIN**

**Titre de Thèse :**

**EVALUATION ET COURBES D'APPRENTISSAGE DU DOPPLER  
TRANSCRANIER AUPRES DE MEDECINS JUNIORS**

---

**RESUME**

*Introduction :* Le Doppler transcrânien (DTC) est un outil en plein essor depuis une dizaine d'années dans la prise en charge des traumatisés crâniens lorsqu'il s'agit de diagnostiquer, de monitorer ou d'évaluer le traitement d'une complication intracérébrale. Le but de notre étude est de déterminer le nombre d'examens nécessaires pour qu'un médecin acquière le DTC. Le critère de jugement principal est la superposition de la courbe du référent par rapport à celle du participant novice.

*Matériel et Méthodes :* Etude uni-centrique observationnelle prospective du 31 janvier au 31 juillet 2014.

*Résultats :* 28 étudiants ont été inclus. Une phase de plateau dans l'apprentissage du DTC est trouvée à partir du 30<sup>ème</sup> examen. Une différence relative de mesure inférieure à 10 % semble exister en moyenne après 56,7 DTC réalisés ( $IC_{95\%} = 4,3 - 109,1$ ). Les variations inter-individuelles semblent négligeables sur la courbe d'apprentissage de même que les différences d'apprentissage entre de VD et l'IP.

*Conclusion :* L'EDTC semble être une technique facile et rapide d'apprentissage. Un grand nombre d'examens paraît nécessaire afin d'optimiser la courbe d'apprentissage. L'application du protocole d'étude à une population y trouvant un bénéfice personnel incluant des patients cérébro-lésés serait une suite logique à notre étude.

---

**MOTS-CLES :**

**Urgences, Doppler transcrânien, courbe d'apprentissage, CUSUM, traumatisme crânien**