



**HAL**  
open science

# Approche neurocomportementale de la gestion anesthésique de l'hémorragie du post partum : étude expérimentale en simulation médicale haute-fidélité

Arnaud Desvergez

► **To cite this version:**

Arnaud Desvergez. Approche neurocomportementale de la gestion anesthésique de l'hémorragie du post partum : étude expérimentale en simulation médicale haute-fidélité. Santé publique et épidémiologie. 2018. dumas-01986252

**HAL Id: dumas-01986252**

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01986252v1>

Submitted on 18 Jan 2019

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

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

# Approche neurocomportementale de la gestion anesthésique de l'hémorragie du post partum : étude expérimentale en simulation médicale haute-fidélité

Arnaud Desvergez

► **To cite this version:**

Arnaud Desvergez. Approche neurocomportementale de la gestion anesthésique de l'hémorragie du post partum : étude expérimentale en simulation médicale haute-fidélité. Santé publique et épidémiologie. 2018. <dumas-01986252>

**HAL Id: dumas-01986252**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01986252>**

Submitted on 18 Jan 2019

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

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

Thèse pour l'obtention du  
**DIPLÔME DE DOCTEUR EN MEDECINE**  
Spécialité Anesthésie-Réanimation

Présentée et soutenue publiquement

Le 27 Février 2018

Par **Arnaud DESVERGEZ**

Né le 25 septembre 1986 à Caen (14)

**APPROCHE NEUROCOMPORTEMENTALE DE LA GESTION  
ANESTHESIQUE DE L'HEMORRAGIE DU POST PARTUM**

---

**ETUDE EXPERIMENTALE EN SIMULATION MEDICALE HAUTE-FIDELITE**

**Directeur de Thèse**

Monsieur le Professeur Arnaud WINER

**Co directeur**

Monsieur le Docteur ès Neurosciences Médéric DESCOINS

**Membres du Jury**

Monsieur le Professeur Alexandre OUATTARA

Président du Jury

Monsieur le Docteur Raphaël DARMON

Rapporteur

Madame le Docteur Aurélie SAN-MIGUEL

Membre du Jury

Monsieur le Professeur Thomas GEERAERTS

Membre du Jury

Monsieur le Professeur Malik BOUKERROU

Membre du Jury

# Remerciements

## A mes directeurs :

*Monsieur le Professeur Arnaud WINER.*

Que de chemin parcouru depuis cette première rencontre à Bordeaux, au pied d'une carte de La Réunion. Déjà plus de 5 ans. Merci pour ton soutien sans faille, pour ton investissement dans la formation des internes d'AR, pour la simulation et toutes les missions associées. Merci d'avoir encadré avec bienveillance ces travaux et de m'avoir fait confiance à tous niveaux. Merci de me faire l'honneur de diriger cette thèse et c'est avec une grande fierté que je présente aujourd'hui les résultats de nos deux ans de travaux.

*Monsieur le Docteur ès Neurosciences Médéric DESCOINS.*

Après deux années de collaboration, on arrive enfin à cette thèse-article. Je me souviendrai des premières rédactions du master, entièrement rayées de rouge avec ces fameuses mentions « à reformuler » ou « à revoir » qui m'ont donné tant de travail. Je pense avoir pu affiner mon sens scientifique à tes côtés et je t'en suis profondément reconnaissant. Merci d'avoir été le couteau suisse de tous ces travaux, sans ton aide rien n'aurait pu être fait. J'espère que cette entente fructueuse se poursuivra à l'avenir ... to be continued.

## A mon rapporteur :

*Monsieur le Docteur Raphaël DARMON.*

Merci d'avoir porté tant d'intérêt à ce travail et d'avoir accepté d'en être le rapporteur. Ta bienveillance, toujours juste et discrète, est l'une de tes plus grandes qualités. Merci pour ton accessibilité et ce réconfort tout au long de cet internat d'anesthésie-réanimation.

## A mon jury :

*Monsieur le Professeur Alexandre OUATTARA*

Merci de me faire l'honneur de présider ce jury de thèse. Je vous suis reconnaissant d'avoir pu trouver ce temps pour me permettre de présenter nos travaux. Et je tiens encore à vous remercier pour ces quelques mots échangés à mon départ de votre service à Bordeaux. Veuillez recevoir l'expression de mon profond respect.

*Monsieur le Professeur Malik BOUKERROU.*

Merci d'avoir accepté de participer à ce jury. Merci de m'avoir ouvert les portes du PFME et d'avoir facilité grandement certains de nos travaux. J'ai beaucoup apprécié cette collaboration avec les gynécologues-obstétriciens et j'espère la voir se poursuivre.

*Monsieur le Professeur Thomas GEERAERTS.*

Merci de me faire l'honneur de participer au jury de cette thèse, dont le sujet, je l'espère, vous intéressera. Merci d'avoir pu aussi rapidement vous rendre disponible. Soyez assuré de ma plus grande reconnaissance et de mon sincère respect.

*Madame le Docteur Aurélie SAN-MIGUEL.*

Merci d'avoir accepté de participer à ce jury de thèse. J'espère pouvoir faire valoir la qualité de nos travaux sur ce sujet que vous connaissez bien. Merci pour vos encouragements à chacun de vos mails et pour votre disponibilité sans faille.

## **A toute l'équipe d'HPPET :**

A toutes ces personnes qui ont rendu ce travail possible dans le plus grand des secrets.

HPPET c'est avant tout une bande d'acteurs studio... « Gynécologues » d'un jour : *Médéric, Tabard, Antho, Olivier, Yohann*. Une Noelle, exceptionnelle, parfaitement doublée par *Camille*. Un IADE au talent reconnu, dans son propre rôle : *Glenn*.

Mais c'est aussi une équipe de soutien logistique : *Axelle, Isabelle, Nas et Anaëlle*, les drôles de dames du CEPOI, merci pour tous ces bons moments passés avec vous. Merci au *Professeur Jean-Bernard GOUYON*, directeur du CEPOI, pour m'avoir accordé sa confiance.

Merci à tous *les anesthésistes* du CHU de Saint Pierre d'avoir accepté de passer à la moulinette.

## **A ceux de l'Océan Indien :**

La plus grande joie de cet internat a été de vous rencontrer et de passer du temps avec vous. A cette grande famille de l'Océan Indien je tiens à dire merci.

### **- Les « couillus » de Mayotte :**

A *l'artilleur Pasquier* et à *l'amiral Tabard* : Azziiii ! Not every week ! On ne s'est pas ramolli... finit la paperasserie. Merci pour ces années de colocation, au chat mort, au sopalin et à la soute-avant-tribord. Heureusement on a eu des chocos et de la Redbull. De quoi écrire un roman... Bref à tout ça quoi... Pas d'excès juste du plaisir.

A *Bouénimandine* et à *la Dumont* : une bien belle épopée avec des vieilles meufs au top !

Et aux *BelleGrosse*, toujours à portée d'hélicoptère.

### **- Les aventuriers Réunionnais :**

A ma *Chloé*, ma cointerne de toujours. Dans les bons moments comme dans les moins bons, du haut d'une enceinte (ou d'un bar...) aux entrailles d'un hôpital, on a su serrer les coudes et lever les verres. Pour tous ces grands instants que nous avons partagés, qui construisent un internat et une vie, je te remercie.

Aux *Bassets* : ma promo d'adoption. A *Mathilde* et *Marion* : sans vous, l'anesthésie à St Pierre n'aurait pas eu la même saveur. Bravo pour la création des apéros du BJA®. A *Romain*, commissaire à ses grandes heures (souvent nocturnes). Toujours débordant d'enthousiasme, de bons plans et instigateur principal du gang des VanVan. Merci pour ces grands moments qu'on ne regrettera pas une fois décatis « mmmm humm ».

*Olivier*, le snoop dog des hauts, « Bah ouais on va manger ! : Thug life ».

猫の吉良天井みず \* #Miaou

A *Beno...*

## **A ceux qui m'ont appris mon métier : (et qui continueront à le faire...)**

Je tiens à remercier tous les hommes et femmes, médecins ou paramédicaux qui m'ont tant appris sur ce formidable métier. Une pensée particulière aux équipes du CHM de Mamoudzou

qui m'ont accueilli en premier semestre : *Éric, Emiliano, Florian*, grâce à vous j'ai débuté une profession dans un cadre inoubliable. Aux équipes des réanimations polyvalente, neurochirurgicale et du bloc opératoire du CHU Sud Réunion : merci d'avoir donné de votre temps pour faire progresser un interne durant 3 longues années, je vous dois tellement. Certains d'entre vous resteront des amis proches. Spéciale dédicace à *Glenn* que je ne saurai jamais trop remercier pour l'ensemble de son œuvre, *Hassan, Seb* ou *Alexis* qui auront toujours eu le mot pour me faire rire. Aux médecins de la réanimation thoracique de Bordeaux, merci pour votre bonne humeur. Un grand merci aux équipes de la réanimation de Libourne pour ce semestre durant lequel j'ai beaucoup appris. Enfin un grand merci à l'équipe de la réanimation du CHU de Saint-Denis pour leur confiance et le temps laissé à disposition pour finir de rédiger ma thèse. Mention spéciale pour mes adorables cointernes de la Réanimation Polyvalente avec lesquels je vais enfin pouvoir aller en soirée.

Au regretté *Docteur Max-André DOPPIA*, anesthésiste au CHU de Caen, à qui je dois cette vocation. Merci d'avoir permis à ce petit externe du DCEM2, alors en stage de chirurgie maxillo-faciale, de découvrir le monde étrange et inconnu de l'anesthésie.

### **A ceux de la métropole :**

Ceux que je n'oublie pas, qu'on ne voit malheureusement jamais assez et qui font mentir l'adage : « loin des yeux, loin du cœur ».

#### **- A tous mes amis de métropole :**

La distance n'enlève rien à la profonde affection que je vous porte. Je suis aujourd'hui un petit peu de chacun d'entre vous. Merci de m'avoir accompagné depuis de si longues années, bien avant, pendant et pour encore longtemps après ces études dévorantes. Je sais ce que je dois à chacun d'entre vous.

*Benjamin, JB, Antoine, Benji, Yohann, Jibé, Aymeric, Marie so, Emma...*

Et *David*, qui a fait le bon choix de venir goûter à l'exotisme de la vie réunionnaise.

#### **- A tous les copains qui ont partagé l'externat au CHU de Caen :**

Le niveau 3, les redoutables, le pin-pon sur la voie des urgences, les ECN à Douai, toutes ces soirées en ville, les papillons de nuit, les rattrapages, les stages d'été, la phase 4... Tellement de souvenir ! merci à tous les *Merins*.

A tous les amis de ma chérie devenus mes amis pendant cette année difficile de D4.

### **A ceux à qui je dois tout le reste :**

Ceux-là, à qui on ne dit jamais assez je t'aime.

#### **- A mes parents :**

J'ai la chance d'avoir des parents formidables qui ont toujours tout donné pour leurs deux enfants. Ils ont fait de nous ce que nous sommes aujourd'hui et je leur en suis éternellement reconnaissant. A ma *Maman*, qui a toujours su trouver les mots qui soulagent les maux. A mon *Papa*, si je deviens la moitié de l'homme que tu es, j'aurai réussi ma vie. Merci.

- **A ma sœur :**

Ma grande sœur, *Aurélie*, toujours à l'écoute et aux petits soins pour un petit frère trop souvent perdu dans ses idées. Je suis convaincu de la chance que j'ai de t'avoir près de moi. J'en profite pour embrasser mes petites têtes blondes, *Célia* et *Léna*, qui égayent tous nos retours en métropole. Avec une spéciale dédicace pour le *Bro*. Vous formez une belle famille.

- **A ma grand-mère :**

Je te devais ces quelques lignes, à toi, à qui j'ai promis tout petit dans la voiture, sur une route de campagne normande, que je deviendrais médecin. Aujourd'hui, les choses se précisent et j'aurai une pensée émue pour toi.

**Et enfin à celle qui donne du sens à ma vie :**

Malgré les années parfois difficiles de l'internat, les heures passées à attendre au pied des hôpitaux ou les nuits de garde à veiller seule.

Il ne t'a pas pris l'idée de t'enfuir et tu es restée à mes côtés.

Nous permettant de vivre tous ces moments fabuleux mais aussi de m'aider à surmonter des instants plus difficiles.

Où que nous allions demain, l'idée de poursuivre cette route à tes côtés me comble de bonheur.

Un simple merci que je te dis trop peu souvent. Merci pour ces 2351 jours d'aventures, de voyages et de lubies. Merci *Gaëlle*.

## **Table des matières**

<b>Liste des abréviations</b> .....	- 8 -
<b>Introduction générale</b> .....	- 9 -
<i>Première partie</i>	
<b>Hémorragie de la délivrance : définition, enjeux et perspectives</b> .....	- 11 -
Définitions et incidence.....	- 11 -
Epidémiologie et mortalité maternelle .....	- 11 -
Enjeu pour le médecin anesthésiste réanimateur.....	- 14 -
<b>La simulation médicale haute-fidélité : apprentissage et amélioration des pratiques professionnelles</b> .....	- 16 -
Notions de psychologie de l'apprentissage .....	- 16 -
Définition de la simulation .....	- 17 -
Aux origines de la simulation en santé.....	- 17 -
Techniques en simulation et bonnes pratiques .....	- 18 -
Formation médicale en simulation : cas de l'anesthésie réanimation .....	- 19 -
Perspectives .....	- 20 -
<b>Processus neurocomportementaux engagés dans les environnements dynamiques</b> ...	- 22 -
Environnements dynamiques .....	- 22 -
Observation préliminaire.....	- 22 -
Les compétences anesthésiques non techniques .....	- 22 -
La conscience situationnelle.....	- 23 -
La charge cognitive .....	- 26 -
<b>L'oculométrie cognitive : le regard comme miroir de la cognition</b> .....	- 28 -
Le système visuel humain .....	- 28 -
Les mouvements oculaires .....	- 29 -
Notions de cognition visuelle.....	- 29 -
La mesure du comportement visuel par l'oculométrie.....	- 32 -
Relation entre l'expertise et le comportement visuel .....	- 33 -
<i>Deuxième partie</i>	
<b>Problématiques et hypothèses de travail</b> .....	- 39 -
Problématiques .....	- 39 -
Hypothèses générales .....	- 39 -
Hypothèses opérationnelles.....	- 40 -

<b>Beyond the performance in postpartum hemorrhage high fidelity simulation: differences between students and anesthetists' perception of the clinical scene .....</b>	<b>- 41 -</b>
<i>Troisième partie</i>	- 42 -
<b>Discussion et perspectives .....</b>	<b>- 43 -</b>
<b>Conclusion .....</b>	<b>- 49 -</b>
<b>Bibliographie.....</b>	<b>- 50 -</b>

## Liste des abréviations

- CSSOI : Centre de Simulation en Santé de l’Océan Indien.
- HPP : Hémorragie du *post partum*.
- MAR : Médecin Anesthésiste-réanimateur.
- SAGAT : Situation Awareness Global Assessment Technique.
- SA : Situation Awareness. Conscience Situationnelle.
- MMR : Taux de mortalité maternel
- NV : Naissances vivantes
- SHF : Simulation Haute-Fidélité
- HAS : Haute Autorité de Santé
- ANTS : Anaesthetists non technical skills. Compétences anesthésiques non techniques
- ROI ou AOI : Area Of Interest, Région d’intérêt
- RPC : Recommandation pour la pratique clinique.
- IDE : Infirmier(e) diplômé d’état.
- IADE : Infirmier(e) d’anesthésie diplômé d’état.

## Introduction générale

Cette thèse présente une partie de nos travaux réalisés au Centre de Simulation en Santé de l'Océan Indien (CCSOI) du CHU de la Réunion. Il s'agit d'une étude expérimentale en simulation médicale haute-fidélité sur l'impact du facteur humain sur les performances de prise en charge anesthésique de l'hémorragie du *post partum* (HPP). Nous nous sommes intéressés au courant récent de recherche sur le comportement visuel en pratique médicale et sur ses liens avec nos performances de gestion thérapeutique. L'attention visuelle est au cœur d'importants dispositifs cognitifs qui œuvrent, de façon consciente ou non, lors de notre intervention sur des patients en situation critique. Parmi eux, la Conscience Situationnelle (SA pour « *Situation Awareness* ») fait office de véritable articulation cognitive entre notre perception et nos actions. Les études que nous avons menées – nécessairement partiales dans le vaste champ de recherche que sont les facteurs humains – souffrent assurément d'un manque d'exhaustivité. Cependant, nous espérons apporter par ce travail, présenté sous forme d'une thèse-article, un regard innovant sur nos pratiques quotidiennes d'anesthésistes-réanimateurs au chevet de nos patients.

La première partie de ce travail consistera en une revue de la littérature et en une présentation des concepts et outils de base utilisés pour notre étude. Il y sera successivement question d'HPP, de simulation médicale, de processus cognitifs et enfin d'oculométrie. D'abord, nous reviendrons sur la définition et sur l'épidémiologie de l'HPP. L'amélioration de la prise en charge de cette pathologie sévère demeure un enjeu de santé publique mondial. Nous analyserons également le rôle du médecin anesthésiste-réanimateur (MAR) et essaierons de mettre en lumière certains aspects encore défailants de la prise en charge. Nous nous intéresserons, ensuite, à la simulation médicale. Après un bref rappel sur l'histoire et sur l'importance de celle-ci pour la formation des médecins, nous aborderons les différentes techniques de simulation et présenterons celle que nous avons choisi d'utiliser comme outil d'étude expérimentale. Nous prendrons comme exemple le cas particulier de l'anesthésie-réanimation qui a toujours été une discipline innovante en matière de simulation médicale. Dans un troisième temps, nous évoquerons quelques processus neurocognitifs opérant en situation critique et que nous avons choisi d'étudier spécifiquement. Cet exposé rendra compte des similitudes entre l'anesthésie-réanimation et l'aéronautique, domaine s'intéressant depuis bien longtemps au facteur humain. Enfin, nous chercherons à mettre en évidence l'importance de l'attention visuelle dans nos tâches professionnelles en revenant sur quelques notions de cognition visuelle. Nous montrerons que l'oculométrie cognitive est un outil d'avenir dans l'analyse du comportement du MAR, en environnement réel ou simulé. Pour conclure cette partie bibliographique, nous discuterons du rôle de l'expertise dans la consolidation d'un comportement visuel efficace face à une situation critique.

L'article que nous avons rédigé et proposé à la communauté scientifique est reproduit dans la seconde grande partie de notre travail. Nous en présenterons, tout d'abord, explicitement les problématiques et les hypothèses, avant de fournir une copie de cet article, actuellement en cours de soumission.

Enfin, dans la troisième partie, nous discuterons d'autres résultats d'intérêt, non publiés pour le moment, qui permettront de mettre en perspective ce travail avec de futures recherches. Il ne s'agira pas d'une réécriture de la discussion de notre article, mais d'autres développements sur la pédagogie médicale et sur la simulation haute-fidélité. Il sera également question d'interprofessionnalité et nous présenterons quelques perspectives de recherches en neurosciences appliquée à notre profession.

# *Première partie*

# Hémorragie de la délivrance : définition, enjeux et perspectives

## Définitions et incidence

L'accouchement représente une période à risque pour la femme. De nombreuses complications se produisent à ce moment pouvant mettre en danger la santé de la mère. Une des complications les plus redoutées est l'hémorragie de la délivrance, aussi appelée hémorragie du *post partum*. Elle correspond à une hémorragie s'extériorisant par les voies génitales au décours de l'accouchement. L'HPP est définie en France par une perte sanguine de plus de 500 ml quelle que soit la modalité de l'accouchement (voie basse ou césarienne). L'HPP est sévère lorsque la perte sanguine dépasse 1000 ml (1) (RPC CNGOF/SFAR, 2014).

L'incidence de l'HPP est variable selon les études : entre 5 et 10% des accouchements. L'HPP sévère concerne 2% des accouchements (1). L'étude PITHAGORE6 – réalisée sur 106 maternités françaises couvrant 146 781 accouchements (soit 18% des accouchements du pays sur la période de 2004 à 2006) – révèle une incidence globale de 6.4% d'HPP (variable selon les maternités de 1.5% à 22%) dont 1.7% d'HPP grave (2). Notons que 20 % des HPP graves étaient découvertes à l'occasion d'un bilan biologique et non par l'observation clinique (Dupont et al, 2014). Les étiologies sont différentes selon la modalité d'accouchement, mais l'atonie utérine reste la plus fréquente. Pour les accouchements par voie basse : 31.7% de rétention placentaire, 29.5% d'atonie utérine et 8.1% de plaies cervico vaginales. Pour les césariennes : 34.7% d'atonie utérine, 16.7% de saignements « chirurgicaux », 6.1% de placenta *prævia* et 5.7% d'hématome retro placentaire.

Les facteurs de risques identifiés sont ceux de l'atonie utérine : l'âge maternel, la parité (primiparité ou multiparité), l'antécédent d'HPP, la grossesse multiple, l'âge gestationnel supérieur à 41SA, une phase active du travail supérieur à 6h, un travail déclenché avec utilisation d'ocytocine, la macrosomie supérieure à 4000g, l'accouchement voie basse avec instruments et la césarienne.

Il existe des prédispositions génétiques maternelles à l'HPP (Oberg et al., 2014). Cette étude suédoise portant sur 466 686 accouchements, dont 4.6% d'HPP, observe un regroupement de cas familiaux (des femmes ayant gardé ou non le même partenaire) ainsi qu'une corrélation du nombre d'atonie utérine ou de rétention placentaire entre sœurs. La génétique maternelle influencerait à hauteur de 18%, celle du fœtus à 11%, le facteur environnemental maternel à 10% et l'interaction du couple à 2% dans la survenue de l'HPP (3). 59% des cas ne seraient pas expliqués par ces facteurs. Des variabilités ethniques sont aussi observées. L'analyse de 115 502 accouchements aux USA entre 2008 et 2011 (4) révèle une incidence deux fois supérieure d'HPP sévère chez les femmes noires ou hispaniques (Grobman et al., 2015).

## Epidémiologie et mortalité maternelle

D'après L'OMS (5), en 2015, le taux moyen de mortalité maternelle (MMR) mondial est de 216 femmes sur 100 000 naissances vivantes (NV). 830 femmes meurent chaque jour de causes évitables liées à la grossesse et à l'accouchement. Comme le montre la figure 1, le tiers de ces décès est imputable à l'HPP et celle-ci représente la première cause de décès maternel à l'échelle mondiale (Khan et al., 2006). La mortalité maternelle mondiale recule (Alkema et al.,

2016), toutefois l'objectif initial de 75 % de réduction de la mortalité maternelle fixé par le programme de développement des Nations Unies (United Nations Millennium Development Goals) n'a pas pu être atteint et on a observé une réduction de 44% entre 1990 et 2015 (6). Six pays concentrent plus de 50% des morts maternelles (7) (l'Inde, le Nigéria, le Pakistan, l'Afghanistan, l'Éthiopie et la RDC) (Hogan et al., 2010). Dans ses projections pour 2030, l'OMS espère atteindre un MMR inférieur à 70/100 000 NV.

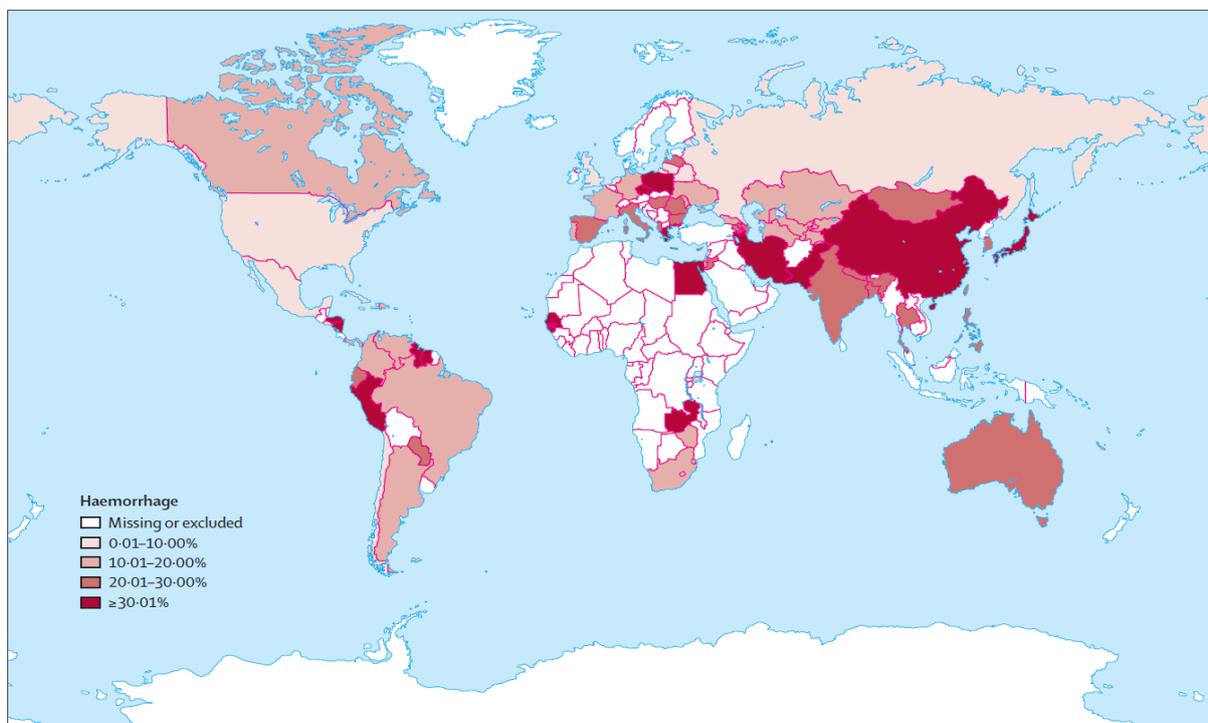
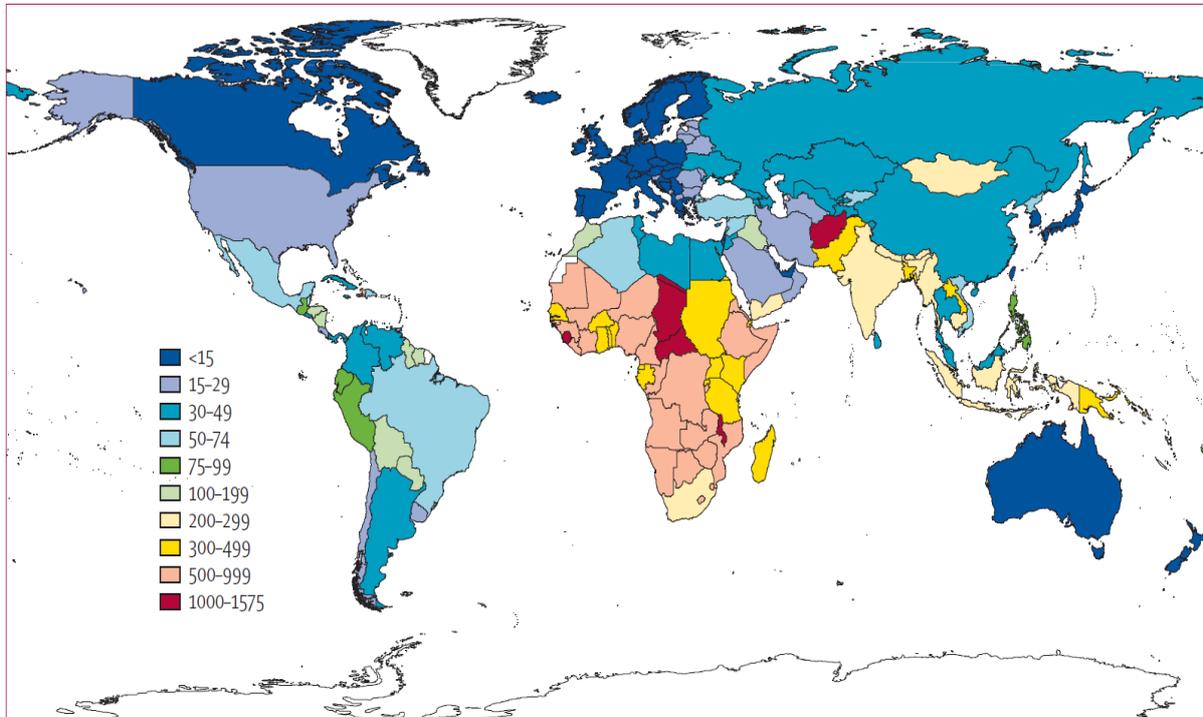


Figure 1. **Haut** : Taux de mortalité maternel pour 100 000 naissances vivantes. Le continent africain et l'Asie du sud-est payent un lourd tribut à la mortalité maternelle (7). **Bas** : Pourcentage de mortalité par hémorragie, les données du continent africain ne sont pas officiellement connues mais la mortalité par hémorragie y est parmi les plus importantes (5). La superposition de ces données rend compte de la vulnérabilité des femmes dans les pays en voie de développement. D'après OMS (2006 et 2008).

En Europe (8), l'HPP reste la première cause de décès identifiée parmi les 335 à 1000 morts maternelles annuelles constatées, malgré un niveau de soins élevé (EURO-PERISTAT project, Gissler et al., 2010). Si le MMR en France se situe dans la moyenne des pays européens, il reste supérieur aux meilleurs et très loin de la Suède où les taux sont deux fois plus faibles (figure 2).

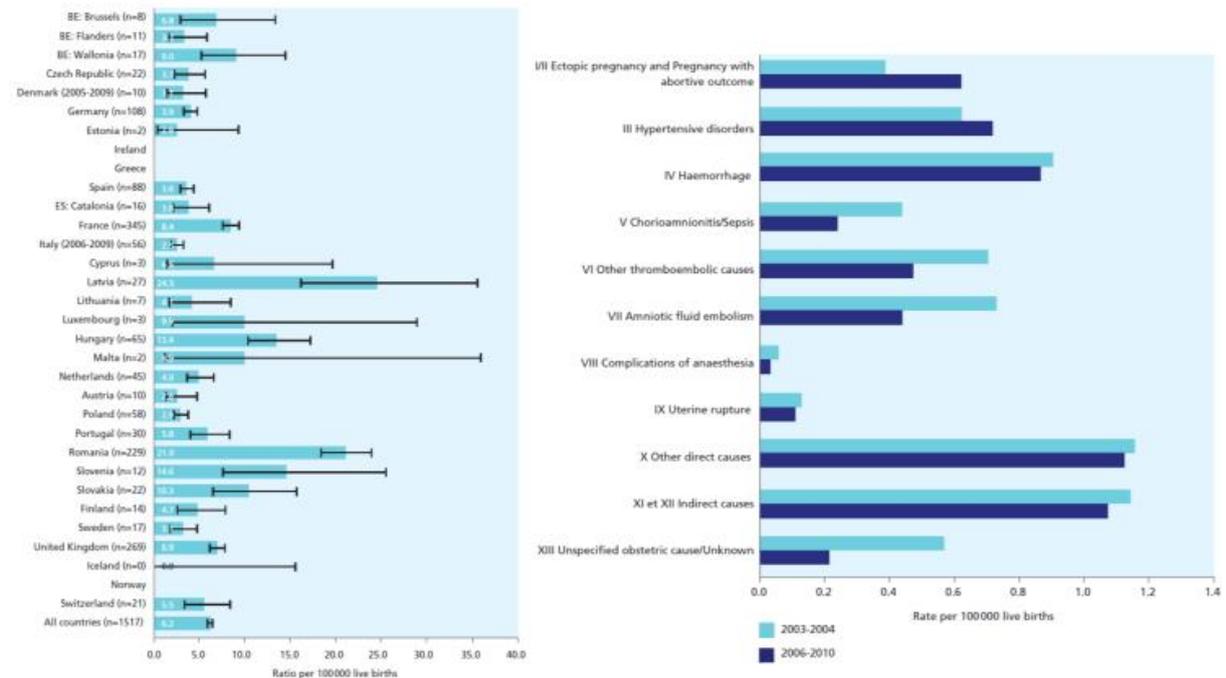


Figure 2. **Gauche** : Taux de mortalité maternelle en Europe par pays. Les pays scandinaves, l'Autriche et l'Italie ont les MMR les plus bas d'Europe alors que les pays d'Europe de l'Est ont encore des progrès à faire. Le MMR en France est plus élevé que la moyenne européenne. **Droite** : Cause de la mortalité maternelle en Europe. Depuis plus de 15 ans, l'hémorragie est la plus grande pourvoyeuse de mort maternelle. D'après European Perinatal Health Report 2010 (8).

En France, de 2007 à 2009, avec 254 morts maternelles dont 20% d'HPP, le MMR moyen est de 10.3/100.000 NV avec une importante disparité géographique régionale (Basse-Normandie : 3.8/100.000 NV et DOM : 32.2/100.000 NV) et ethnique (mères nord-africaines RR=1.2 et mères sub-sahariennes RR=2.4). L'expertise de seulement 185 (73%) de ces dossiers atteste d'une carence de soins portés aux mères, particulièrement dans le cadre des hémorragies obstétricales (9). Comme le montre la figure 3, Plus de 80% des soins apportés aux femmes en train de saigner sont jugés « non optimaux » par l'Institut de Veille Sanitaire, avec un décès évitable dans plus de 80% des cas (Saucedo et al., 2013).

Sur la période 2010 – 2012, la tendance reste stable (10). 256 morts maternelles ont été recensées en France soit un MMR à 10.3/100 000 NV dont 29 cas de décès suite à une HPP. Pour la première fois la mortalité maternelle par hémorragie diminue mais demeure toujours la principale cause. L'expertise de 23 des 29 dossiers fait toujours état de décès majoritairement évitables (12 certainement et 11 probablement). Dans 61% des cas les soins anesthésiques sont jugés non optimaux. Il persiste des problèmes d'évaluation de la gravité et des pertes hémorragiques, un défaut de surveillance post opératoire et un retard transfusionnel. Le rapport fait état de défaillances interdisciplinaires en notant des défaut de communication et de transmission au relai de garde ou de stratégie médicale avec un manque d'anticipation (11).

Cause*	1998–2000				2007–2009			
	n	Soins non optimaux	Non conclus	% non optimaux <sup>a</sup>	n	Soins non optimaux	Non conclus	% non optimaux <sup>a</sup>
Hémorragies	35	25	6	86,2	33	26	1	81,3

Cause*	1998–2000				2007–2009					
	n	Non évitables	Total évitables	% d'évitabilité <sup>a</sup>	Non conclus	n	Non évitables	Total évitables	% d'évitabilité <sup>a</sup>	Non conclus
Hémorragies	35	4	24	85,7	7	33	5	26	83,9	2

Cause*	Nombre de décès évitables	Facteurs d'évitabilité <sup>a</sup>					
		Traitement inadéquat	Retard au traitement/intervention	Erreur diagnostique	Retard au diagnostic	Retard et/ou premiers secours inadaptes	Négligence de la patiente
Hémorragies	26	13	15	2	3	1	1

Figure 3. **Haut** : Soins non optimaux (nombre et pourcentage) d'après l'expertise de dossier de morts maternelle entre 1998 et 2000 et entre 2007 et 2009. Plus de 80% des soins apportés aux femmes sont jugés non optimaux. **Milieu** : Nombre de décès maternel par hémorragie et indice d'évitabilité. Plus de 80% des décès par hémorragie aurait pu être évités. **Bas** : Nombre de décès maternels évitable de 2007-2009 et facteurs d'évitabilité. Les facteurs principaux d'évitabilité sont le retard de prise en charge et le traitement inadéquat. D'après le Comité National d'Experts sur la Mortalité Maternelle (InVS)2010 et 2013 (9)

## Enjeu pour le médecin anesthésiste réanimateur

Le médecin anesthésiste-réanimateur (MAR) est indispensable à la prise en charge de l'HPP et sa responsabilité dans la qualité des soins est avérée. Parmi les décès maternels issus de l'enquête nationale et confidentielle sur la mortalité maternelle, les soins d'anesthésie et de réanimation étaient mis en cause dans 57% des cas (9). (Saucedo et al., 2013)

Certains points de la prise en charge anesthésique restent lacunaires. Une enquête rétrospective sur 38 dossiers de patientes décédées d'HPP entre 2000 et 2003 a montré des anomalies majeures de gestion anesthésique (Bonnet et al., 2011). Après un délai moyen de diagnostic de 25min (avec une importante variabilité de 0 à 315min), dans 21% des cas aucune procédure d'hémostase n'a été entreprise. Aucun bilan sanguin n'avait été prescrit dans 13% des cas et seules quelques femmes avaient bénéficié d'un dosage de l'hémoglobine dans les 6 premières heures. Lorsqu'il était demandé, le bilan n'était complet que dans 53% des cas. Dans 8% des cas, aucune transfusion n'a été débutée ; le ratio CGR : PFC était de 0,6 en faveur des culots globulaires et la transfusion de fibrinogène et de plaquettes n'a été réalisée que dans moins de la moitié des cas. Seulement 53% des femmes ont bénéficié d'un remplissage vasculaire, 63% d'utilisation de catécholamines et seulement 45% d'entre elles ont pu être transférées en réanimation. Ces pratiques ont conduit à 5 arrêts cardiaques à l'induction anesthésique de patientes en état de choc hémorragique (12). Cette étude fait état d'un défaut de reconnaissance, de conditionnement et de stratégie transfusionnelle au début des années 2000 avant les premières RPC de 2004.

L'analyse des HPP graves de la base de données PITHAGORE6 a, de son côté, révélé une insuffisance de l'évaluation de l'hémorragie avec un monitoring biologique insuffisant et un recours à la transfusion manquant dans presque la moitié des cas. La gestion des HPP sévères était sous optimal dans 66% des cas (13) (Dupont et al., 2012). Ce constat porte sur une base de données datant de 2004 à 2006 mais reste postérieur aux premières RPC en matière de gestion d'HPP.

Les pratiques professionnelles se sont beaucoup améliorées depuis 15 ans et l'adhésion globale aux recommandations professionnelles sont plus fortes aujourd'hui, puisque 40 à 90% des pratiques sont en accord avec les recommandations pour l'accouchement voie basse et 80 à 90% lors d'une césarienne (14) (Dupont et al., 2009). L'analyse de ces données laisse à penser que des améliorations sont encore possibles dans la reconnaissance initiale de la pathologie et dans l'évaluation de sa gravité.

L'investissement politique (plans périnatalités successifs, création des réseaux de santé périnatales et recueil national des indicateurs de qualité et de sécurité des soins), l'implication des sociétés savantes (recommandations professionnelles, création d'un algorithme de prise en charge) et des personnels de santé (audit, évaluation des pratiques professionnelles et formation) ont permis des progrès dans la prévention et dans la prise en charge de cette pathologie. De nombreux progrès ont été réalisés dans la formation initiale et continue des médecins grâce à l'apparition de nouveaux outils comme la simulation en santé.

# La simulation médicale haute-fidélité : apprentissage et amélioration des pratiques professionnelles

## Notions de psychologie de l'apprentissage

Le behaviorisme est la première grande théorie de l'apprentissage à avoir marqué le 20<sup>ème</sup> siècle. Il s'agit de la manifestation observable de la maîtrise d'une connaissance par un comportement-réponse attendu. Il repose donc sur l'observation comportementale. Watson, Skinner ou Pavlov resteront parmi les plus grands théoriciens du behaviorisme.

*Exemple : un scénario simulé de gestion de voies aériennes difficiles induit l'application d'un algorithme de prise en charge. Cormack 4 ventilable = vidéo laryngoscopie.*

Dès 1923, les constructivistes s'opposent aux behavioristes souvent critiqués pour la trop grande simplicité du concept « stimulus = réponse ». Piaget sera l'un des principaux artisans du constructivisme. Cette théorie développe l'idée que les connaissances se construisent par ceux qui apprennent grâce à un équilibre permanent entre deux forces qui s'opposent : l'assimilation et l'accommodation (Piaget, 1975). Le processus d'assimilation se caractérise par l'intégration de nouvelles expériences à des cadres mentaux déjà existants. Le processus d'accommodation est, quant à lui, une action de l'environnement sur l'individu, marquée par l'adaptation du sujet à des situations nouvelles. L'apprentissage devient un processus adaptatif résultant d'un équilibre favorable au sein d'un conflit cognitif entre l'individu et son environnement (15).

*Exemple : lors d'un scénario des voies aériennes en simulation, l'apprenant quitte son cadre d'assimilation habituel : l'intubation classique, pour se confronter à une difficulté extrinsèque (un œdème laryngé) et entrer dans un processus d'accommodation qui engendre une déstabilisation cognitive mais aboutit à la construction d'un apprentissage par résolution de la situation-problème.*

La construction du savoir, bien que personnelle, s'effectue dans un cadre social. L'interaction sociale génère un conflit socio-constructif entre les conceptions divergentes des individus. L'apprenant prend ainsi conscience de sa pensée par rapport à celle d'autrui pour construire un nouveau savoir. On parle alors de socioconstructivisme. Vygotsky décrit le modèle de la zone proximale de développement qui correspond à la différence de niveau entre ce qu'un apprenant est capable d'apprendre seul et ce qu'il peut apprendre s'il est encadré par quelqu'un de plus compétent (16). Ce faisant, le processus d'apprentissage n'est plus seulement une construction individuelle mais une appropriation sociale.

*Exemple : entraînement à l'intubation fibroscopique seul sur une tête d'intubation versus dans le cadre d'un scénario faisant intervenir d'autres apprenants et un enseignant.*

La simulation médicale s'est élevée au fil des années au rang d'outil d'apprentissage au service des médecins et s'inscrit donc dans la lignée des sciences de l'éducation et de l'apprentissage. Kolb (1984) décrit l'apprentissage comme un processus continu par lequel la connaissance est créée à travers la transformation de l'expérience. Simuler c'est donc apprendre (17).

## Définition de la simulation

Le terme de « simulation en santé » correspond à l'utilisation d'un matériel, de la réalité virtuelle ou d'un patient standardisé pour reproduire des situations ou des environnements de soin, dans le but d'enseigner des procédures diagnostiques et thérapeutiques et de répéter des processus, des concepts médicaux ou des prises de décision par un professionnel de santé ou une équipe de professionnels (18) (HAS, 2012).

## Aux origines de la simulation en santé

De l'antiquité à la fin du 17<sup>ème</sup> siècle, les connaissances médicales restent dénuées de fondements scientifiques. Il faut attendre 1731 et la création de l'Académie Royale de Chirurgie (19) pour voir apparaître la méthode anatomo-clinique de quelques barbiers-chirurgiens de Paris qui marqueront la postérité. C'est au sein de cette école de chirurgie qu'on s'exerce sur cadavres aux procédures chirurgicales innovantes comme la trachéotomie (20). Quelques années plus tard, en 1758, Angélique du Coudray (21) est la première à utiliser un mannequin de chiffon pour rendre l'enseignement de l'accouchement « palpable » aux étudiantes sages-femmes. Cette machine fut validée par l'Académie Royale de chirurgie.

---

*« [Elle] représentait le bassin d'une femme, la matrice, son orifice, ses ligaments, le conduit appelé vagin, la vessie, et l'intestin rectum. J'y joignis un modèle d'enfant de grandeur naturelle, dont je rendis les jointures assez flexibles pour pouvoir les mettre dans des positions différentes[,] un arrière-faix, avec les membranes, et la démonstration des eaux qu'elles renferment, le cordon ombilical, composé de ses deux artères, et de la veine, laissant une moitié flétrie, et l'autre gonflée, pour imiter en quelque sorte le cordon d'un enfant mort, et celui d'un enfant vivant, auquel on sent les battements des vaisseaux qui le composent. J'ajoutai le modèle de la tête d'un enfant séparée du tronc, dont les os du crâne passaient les uns sur les autres. »*

---

■ Le Boursier Du Coudray, *Abrégé de l'art des accouchements* (22), 1777.

La technique du mannequin d'entraînement s'améliore au 20<sup>ème</sup> siècle. Tous ces développements ont en commun de répondre à une demande d'exercices procéduraux (23) (Cooper & Taqueti, 2008). D'abord, en 1910, avec « Mrs. Chase » permettant aux infirmières de soins chirurgicaux du *Hartford Hospital* de s'exercer aux soins courants et aux pansements. Puis, en 1960, avec « Resusci-Anne », le mannequin de Laerdal au visage de l'inconnue noyée de la Seine, qui sert de support aux premiers exercices de réanimation cardiopulmonaire et de bouche-à-bouche du Professeur Safar au *Baltimore City Hospital*. En 1966, le prototype du premier modèle de mannequin pilotable par ordinateur est fabriqué par Abrahamson et Denson. Trois ans plus tard, ils démontrent que les anesthésistes en formation sont plus rapidement performants en intubation orotrachéale lorsqu'ils sont formés sur ce mannequin (24). *Sim-One*

est le modèle qui inspire les mannequins haute-fidélité actuels. La figure 4 représente quelques exemples retraçant l’histoire du mannequin en simulation.

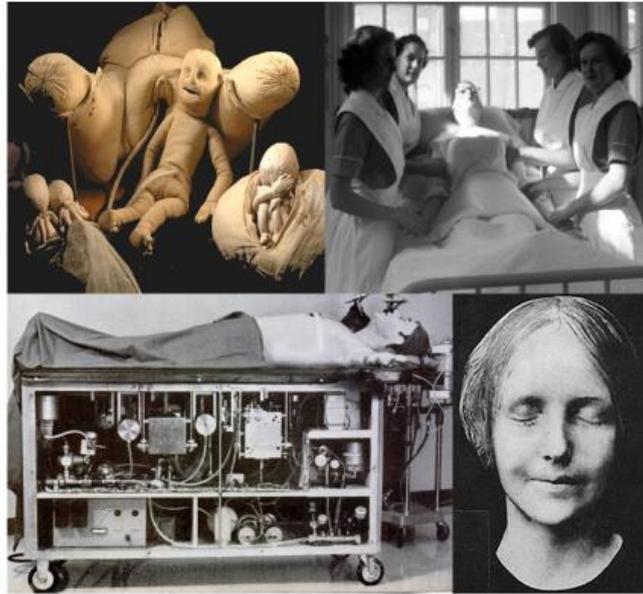


Figure 4. **En haut à gauche** : Seul modèle de la "Machine" Du Coudray datant de 1778 et restant exposé à ce jour. Musée Flaubert et d'Histoire de la médecine à Rouen. **En haut à droite** : Mrs Chase entourée d'infirmière au Hartford Hospital Training School en 1911. Ce mannequin réaliste avait des articulations mobiles et permettait d'enseigner les soins infirmiers. **En bas à gauche** : Premier modèle de simulateur haute-fidélité. Sim-One a été produit dans les années 1960. **En bas à droite** : le visage moulé de l'inconnue de la Seine, retrouvée noyée dans les eaux de Paris, servira de modèle à Resusci-Anne, le premier mannequin de réanimation cardiopulmonaire de Laerdal.

A l’instar du logiciel *GasMan* (Philip 1984) et du mannequin *Gainesville Anesthesia Simulator* (Good, 1988), l’évolution suivante réside dans l’adjonction de modèles mathématiques de physiologie et de pharmacologie afin d’augmenter le réalisme des mannequins, particulièrement dans le domaine de l’anesthésie.

Grâce à l’évolution technologique, certains médecins débutent des travaux sur l’analyse du facteur humain en environnement simulé. En 1986, Gaba met au point le *Comprehensive Anesthesia Simulation Environment*, un simulateur composé d’une tête d’intubation, d’un bras de perfusion et d’un écran de monitoring, qu’il utilise dans le cadre de ses recherches sur le facteur humain et la gestion de crise en anesthésie (25) (Rosen, 2008). En 2000, le rapport « *To Err is Human* » de l’Institute of Medicine Committee on Quality of Health Care in America permet une prise de conscience de l’importance du facteur humain dans les erreurs médicales et propose d’utiliser la simulation médicale comme moyen d’en réduire la fréquence ou les conséquences(26).

### Techniques en simulation et bonnes pratiques

On distingue 5 groupes de techniques en simulation médicale : l’expérimentation animale, humaine, synthétique, hybride et électronique (18) (HAS 2012).

L’expérimentation animale permet un apprentissage de gestes chirurgicaux simples ou complexes. La simulation humaine peut être réalisée sur cadavre pour des apprentissages procéduraux (voies aériennes, procédures chirurgicales). Le patient standardisé est un acteur qui permet de réaliser des entretiens complexes et de développer des compétences en

communication. Le jeu de rôles procure une mise en situation effective des participants et améliore les habiletés relationnelles.

Les simulateurs synthétiques peuvent être réalistes et grandeur nature. Plus ou moins sophistiqués, ils peuvent être pilotés par ordinateurs et être intégrés dans des environnements réalistes. On parle alors de simulation haute-fidélité (SHF). Les situations cliniques peuvent être extrêmement proches de la réalité. Les simulateurs procéduraux permettent un apprentissage par la répétition de gestes spécifiques, ils peuvent être simples (tête d'intubation) ou extrêmement sophistiqués permettant de reproduire des situations interventionnelles de haute technicité (simulateurs de coronarographie, d'échographie).

La simulation hybride est l'association de plusieurs techniques de simulation. Par exemple, la combinaison d'un patient standardisé et d'une partie de mannequin.

L'univers numérique permet de développer des outils de réalité virtuelle et/ou augmentée qui permettent l'interaction d'utilisateurs en immersion avec des entités 3D. Les *serious games* sont des applications développées à partir des technologies du jeu vidéo mais qui dépassent la seule dimension de divertissement en y ajoutant une intention pédagogique.

L'HAS a émis des règles de bonnes pratiques en simulation qu'il convient de respecter. Un programme de simulation peut comporter une ou plusieurs sessions. Une session de simulation peut comporter une ou plusieurs séances. Chaque séance se déroule selon un plan préétabli : le briefing, le déroulement du scénario et le débriefing. Le briefing est un temps indispensable de familiarisation des apprenants avec le matériel, le contexte et l'environnement. Le formateur y explique le déroulement de la séance. Il construit le scénario en utilisant des objectifs pédagogiques clairement définis. Au cours de la séance, le formateur procède par ajustements permanents pour laisser l'apprenant en situation de résolution de problème. Enfin, le débriefing est un temps d'analyse et de synthèse de la séance. Il permet au formateur de dégager avec les apprenants les points correspondant aux objectifs pédagogiques de la formation par l'intermédiaire de feedbacks sur les éléments d'évaluation. Le débriefing n'est jamais sanctionnant.

### Formation médicale en simulation : cas de l'anesthésie réanimation

Parmi les disciplines médicales, l'Anesthésie-Réanimation a longtemps fait office de creuset pour la recherche en simulation. En effet, le développement technologique de l'outil a souvent eu pour but de répondre à des problématiques cliniques anesthésiques. Le travail de pionniers avant-gardistes, comme Gaba, a permis de débiter l'analyse du facteur humain lors de situation d'incidents au bloc opératoire (25)(Rosen, 2008).

La simulation médicale permet d'améliorer les compétences procédurales des MAR. Chopra et al. (1994) ont montré que des anesthésistes, entraînés en simulation à la gestion d'hyperthermie maligne, répondaient plus rapidement et de façon plus appropriée que ceux n'ayant pas eu la formation en simulation (27). Des conclusions identiques sont rapportées pour la gestion de l'arrêt cardiaque après un programme de formation en simulation (28) (Wayne et al., 2008). Kuduvalli et al. (2008) ont démontré une meilleure organisation et une meilleure utilisation du matériel d'intubation en cas d'intubation difficile imprévue (29). Une méta-analyse de Ma et al. (2011) fait état d'une amélioration des performances pour la pose des cathéters veineux centraux et d'une diminution des complications post procédurales (30). La

qualité des images échographiques en ETO est plus grande chez les internes d'anesthésie entraînés sur simulateurs (31) (Ferrero et al., 2014). Bruppacher et al. (2010) ont quant à eux prouvé qu'un entraînement dirigé sur simulateur lors de la prise en charge anesthésique d'une chirurgie de pontage aorto-coronarien était plus bénéfique qu'un apprentissage académique (32).

Une importante méta-analyse (33), publiée dans le Journal of the American Medical Association (JAMA), en 2011, concernant 35 226 apprenants dans 609 études, prouve un bénéfice de l'entraînement par la simulation sur les connaissances théoriques, les compétences techniques, la gestion du temps et les facteurs comportementaux quel que soit le type d'étude ou le type de participants. Cependant, cette étude ne permet pas de mettre en évidence de bénéfices directs pour le patient (Cook et al., 2011). Une seconde méta-analyse (34), plus récente, publiée dans le British Journal of Anaesthesia, conforte ces résultats. Elle concerne cette fois 6066 anesthésistes et 77 études. Comparativement à l'absence d'intervention, la simulation est associée à une augmentation de la satisfaction, des connaissances, des compétences techniques et comportementales sans effet bénéfique significatif pour le patient (Lorello et al., 2014).

La revue réalisée spécifiquement dans le cadre de l'anesthésie par Leblanc (2012) fait état d'une bonne acceptation de la simulation par les participants et d'une amélioration des performances d'apprentissage comparativement à l'apprentissage conventionnel pour des situations d'exception (35). L'augmentation des performances et des compétences techniques s'accompagnerait d'un transfert en pratique clinique dans le cadre de certaines compétences techniques (intubation, voies veineuses centrales, circulation extracorporelle) ou de certaines situations cliniques comme l'arrêt cardiaque. L'évaluation des compétences non techniques, de l'ACRM (Anesthesia Crisis Resources management) et de simulations en équipe pluridisciplinaire doit faire l'objet de recherches spécifiques. De plus en plus, la simulation est utilisée comme moyen de certification de compétences dans certains pays (Israël, Etats-Unis, Canada) sans pouvoir attester d'un réel bénéfice pour le patient.

Gjeraa et al. (2014) ont réalisé une revue sur l'intérêt de la simulation dans la réanimation des traumatisés. Les auteurs font état d'un manque d'études randomisées dans le domaine de la simulation pouvant conduire à d'importants biais dans les résultats. Cependant, il semble que la simulation permette une amélioration des compétences techniques et non techniques dans le domaine de la réanimation traumatologique (36).

### Perspectives

La recherche en simulation médicale nourrit plusieurs paradoxes. Par définition, la simulation se heurte à un problème structurel : le manque d'écologie. De nombreuses situations dangereuses ne peuvent pas être étudiées ou entraînées sans compromettre la sécurité du patient. Les études en simulation répondent à cet impératif de sécurité mais limitent les possibilités d'extrapolation et la valeur scientifique de leurs observations. Certains auteurs estiment que pour être efficace en tant qu'outil de formation, l'environnement de simulation ne doit pas nécessairement être identique au contexte clinique (37) (Nyssen et al., 2002). En revanche, d'autres s'attachent à prouver que des conditions toujours plus réalistes permettent d'obtenir des états physiologiques toujours plus proches de la réalité clinique à l'aide de mesures physiologiques (38) (Manser et al., 2007) ou comportementales (39) (Weller et al., 2014). La question de l'extrapolation des résultats observés à la pratique clinique réelle semble insoluble. Cela est d'autant plus vrai que la recherche en simulation souffre de nombreux biais

méthodologiques intrinsèques. Le peu d'études randomisées et les outils de mesure manquant de fiabilité conduisent à un faible niveau de preuves ainsi qu'à l'absence de bénéfices observés pour les patients. Et ce, même si la Raison devrait nous conduire à penser qu'un anesthésiste formé par la simulation serait le garant d'une plus grande sécurité pour le patient (40) (Green et al., 2016). La recherche en simulation doit donc s'astreindre à la même rigueur scientifique que le reste du champ médical (41) (Cheng et al., 2014).

# Processus neurocomportementaux engagés dans les environnements dynamiques

## Environnements dynamiques

Un environnement dynamique se définit comme étant un système dont les propriétés sont susceptibles de se modifier en fonction de la dynamique interne du système. Il est donc question d'une interaction entre un opérateur, une tâche et une situation.

*Exemple : situation = attentat dans les rues de Paris. Opérateur = médecin. Tâche = prise en charge d'un traumatisé balistique multifocal. La dynamique du système dépend de la course naturelle de l'évènement (choc hémorragique, pneumothorax, autres victimes, décès, surattentat...) mais aussi des capacités de l'opérateur à réaliser sa tâche et à prendre des décisions.*

La gestion d'une tâche dans un environnement changeant nécessite une actualisation constante des données environnementales. Certains environnements dynamiques représentent des situations à haut risque impliquant d'importantes ressources cognitives. Ainsi, sur le plan professionnel, l'aiguilleur du ciel, le pilote, le contrôleur de sécurité nucléaire ou l'anesthésiste sont confrontés à des environnements dynamiques qui conservent une analogie structurelle (trajectoire de collision à Orly, panne moteur, fusion d'un réacteur ou HPP).

## Observation préliminaire

Au début des années 2000, lors d'un congrès de Réanimation, un stand de « simulation médicale » proposait aux personnels de santé (médecins et infirmiers), tous habitués à la gestion de l'urgence vitale, de participer à la gestion du cas d'un patient faisant un arrêt cardiaque par fibrillation ventriculaire dans un box scopé devant témoins. Un massage cardiaque et deux chocs électriques externes dans les deux premières minutes suffisaient au retour du rythme sinusal et marquaient la fin du scénario. 16 trinômes (1 médecin et 2 IDE) ont tenté leur chance. L'originalité de l'étude résidait dans le choix des variables mesurées : toutes étaient des variables comportementales (leadership, distribution des tâches, communication et présence de conflits). La défibrillation précoce n'a été réalisée que dans 6/16 groupes. Au sein des équipes ayant échoué, on a pu constater un défaut significatif de leadership et une difficulté à répartir les tâches. Malgré des connaissances théoriques identiques et une situation clinique simple, le facteur humain a ainsi limité les performances (42) (Marsch et al., 2004).

## Les compétences anesthésiques non techniques

Ce genre d'observation rend compte de l'importance des compétences non techniques et de leur rôle prépondérant dans la réalisation des performances. Les « *Non Technical Skills* », « *NoTechs* » ou « *Crew Resource Management* » proviennent d'un long héritage de l'aviation militaire. Elles représentent les ressources cognitives, sociales et personnelles qui complètent les aptitudes techniques et contribuent à l'efficacité et à la sécurité d'une tâche.

Ces compétences comportementales décrites en Grande Bretagne par Flin et al. (2010) sous le terme d'« *Anaesthetists non-technical skills* » (43) (ANTS) et aux Etats-Unis par Gaba

comme les « *Anesthetic Crisis Ressource Management* » sont essentielles à la gestion de situations critiques. Elles regroupent la planification et la gestion de tâches cognitives, la conscience situationnelle (SA « *situation awareness* »), la prise de décision, la communication et le travail d'équipe. L'analyse de ces paramètres comportementaux est fréquente dans les pays anglo-saxons lors d'incidents en situation d'exception. Ils sont rappelés dans la figure 5. Leur évaluation est rendue possible, en SHF, par l'immersion d'un apprenant dans un scénario réaliste et par l'analyse de paramètres comportementaux.

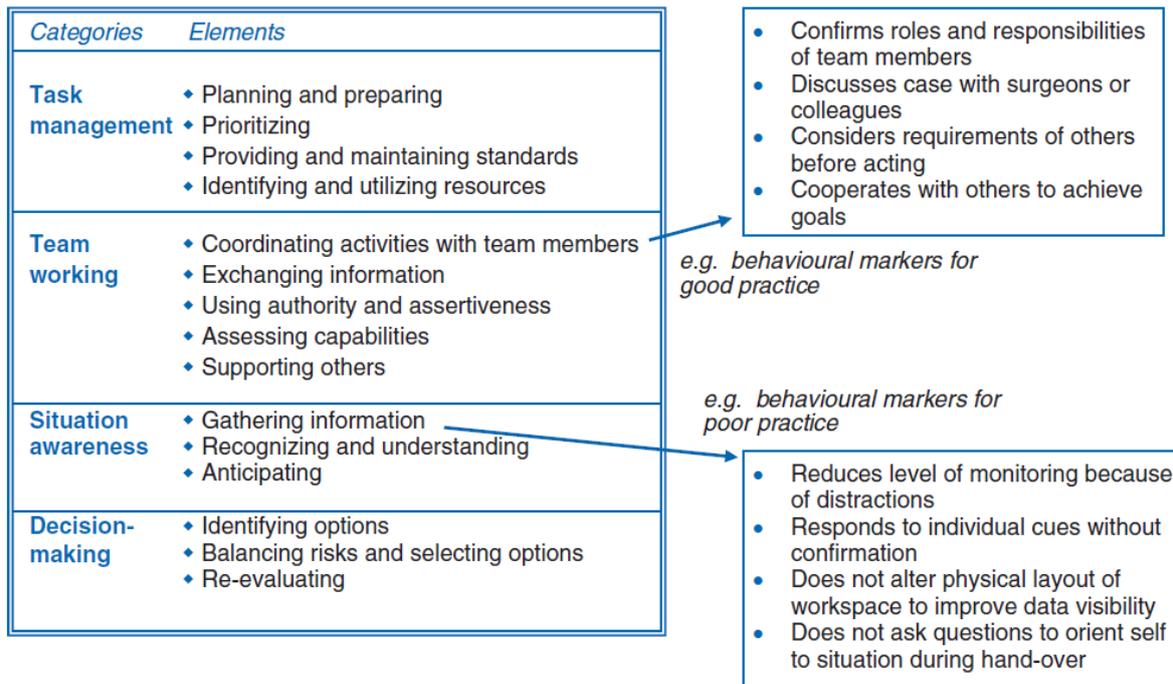


Figure 5. Présentation des compétences anesthésiques non techniques. ANTS (Anaesthetists non technical skills). On décrit la gestion de tâche (planification, identification des ressources...), le travail d'équipe, la Conscience Situationnelle et la prise de décision. D'après Flin 2010 (43).

## La conscience situationnelle

Le concept de conscience situationnelle est né en même temps que l'aviation militaire lorsque de façon plutôt intuitive, les premiers pilotes de chasse de la Grande Guerre réalisèrent l'importance de voir, comprendre et anticiper la trajectoire de vol de leurs ennemis pour ne pas se faire abattre. Cette intuition sera théorisée bien plus tard, à partir des années 1980, par la psychologie clinique (44) (Salmon et al., 2007).

De manière générale, la SA se définit par la perception dans un espace-temps donné d'une situation, de sa compréhension et de la projection de son évolutivité à court terme (44–46) (Endlsey 1995, Salmon et al., 2007). Ce processus cognitif linéaire à 3 niveaux provient d'une perception intégrée de l'information utile et conduit à la prise de décision en environnement dynamique. La figure 6 représente schématiquement le modèle cognitif de la SA qui s'applique dans les situations dynamiques évolutives. Appliqué au MAR, 3 niveaux ont été décrits (47,48) (Gaba et al., 1995, Schulz et al, 2013), chacun faisant intervenir des processus différents pouvant être la source d'erreurs :

- **La perception** de l'état clinique du patient (SA Niveau 1) : elle repose sur les indices de l'examen clinique, la qualité du monitoring, la prise d'informations auprès des

partenaires de la prise en charge. Elle dépend d'une distribution correcte de l'attention et de l'acuité de la principale entrée sensorielle pour le MAR : la vision.

- **La compréhension** du problème (SA Niveau 2) : elle repose sur l'intégration en mémoire de travail des données perceptives et leurs confrontations aux connaissances médicales, aux procédures chirurgicales, aux modèles mentaux, physiologiques et pharmacologiques stockés en mémoire à long terme.
- **La projection** ou **l'anticipation** du devenir du patient à court terme (SA Niveau 3) : elle permet d'anticiper l'évolution de la situation, de préparer et d'adapter la réponse. Elle nécessite une bonne compréhension du problème et la connaissance de modèles mentaux évolutifs. La mémoire prospective intervient dans la planification de la réponse à fournir.

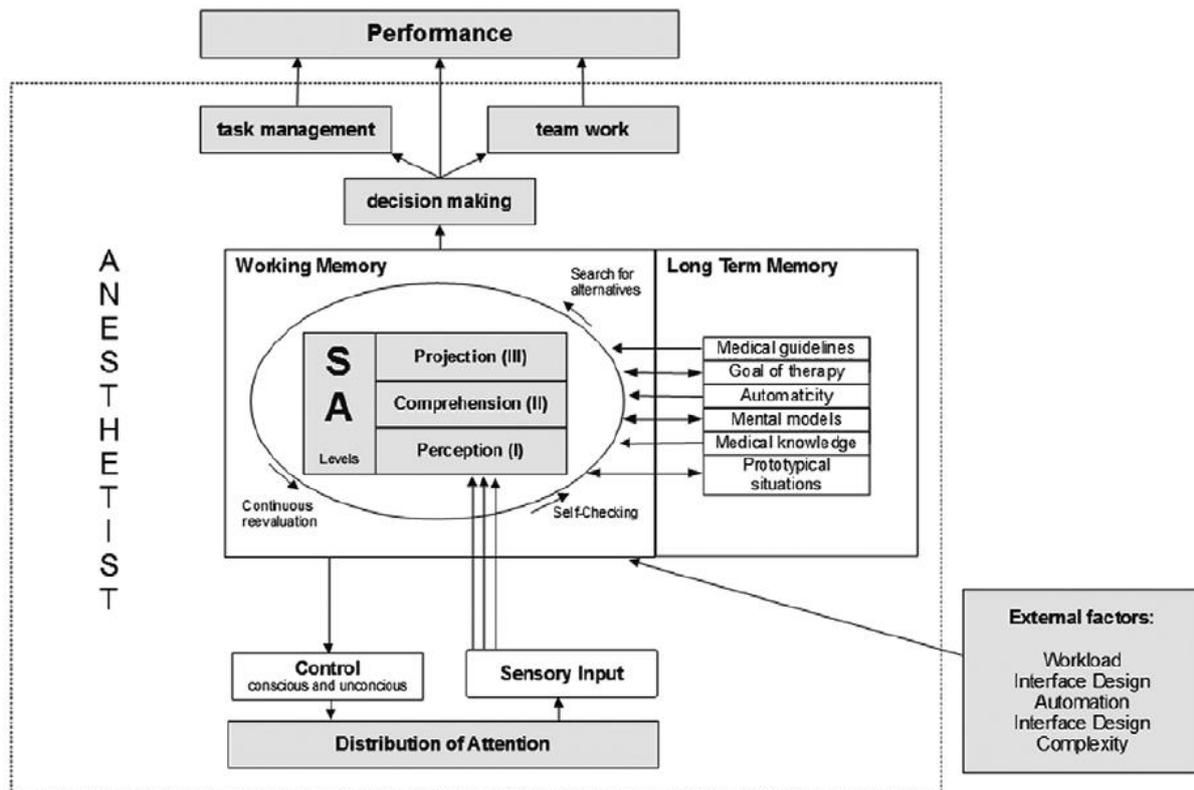


Figure 6. Présentation schématisée du fonctionnement de la Conscience Situationnelle. La SA est essentielle à la prise de décision et donc à la performance. La distribution de l'attention est déterminante dans la modulation de l'entrée sensorielle du modèle. La SA est un processus cognitif inconscient opérant en mémoire de travail et se confrontant à des cadres mentaux préexistants stockés dans la mémoire à long terme (connaissances médicales, exemple de situations déjà rencontrées...). Le processus est en constante réévaluation grâce à un control de l'attention qui permet d'actualiser en temps réel l'information perceptive. Il existe une variété de facteurs externes pouvant influencer positivement ou négativement le fonctionnement du processus. D'après Endsley, Gaba et Schulz (46-48).

Il existe différents outils de mesure de la conscience situationnelle. Le plus utilisé et le plus performant est le questionnaire SAGAT (*Situation Awareness Global Assessment Technique*) (44) (Salmon et al., 2007). En pratique, la réalisation du questionnaire impose le gel d'une situation, de façon à pouvoir poser des questions précises à l'opérateur sur ce qu'il a perçu, compris ou anticipé.

Avec les travaux récents de Schulz, on ne peut plus considérer ce processus cognitif comme l'illustration d'un modèle mental mais bien comme un marqueur de la sécurité du patient. D'avril à novembre 2013, Schulz a interrogé la base de données allemande du *Critical*

*Incident Reporting Systems (CIRS)* qui collige les données d'accidents d'anesthésie ou de réanimation sur la base de déclarations volontaires. L'analyse exhaustive de 200 cas d'incidents en anesthésie et en réanimation rapporte des erreurs de SA dans plus de 80% des cas (49). Comme le montre la figure 7, le défaut de perception est l'élément déterminant dans la genèse des incidents d'anesthésie (Schulz et al., 2016).

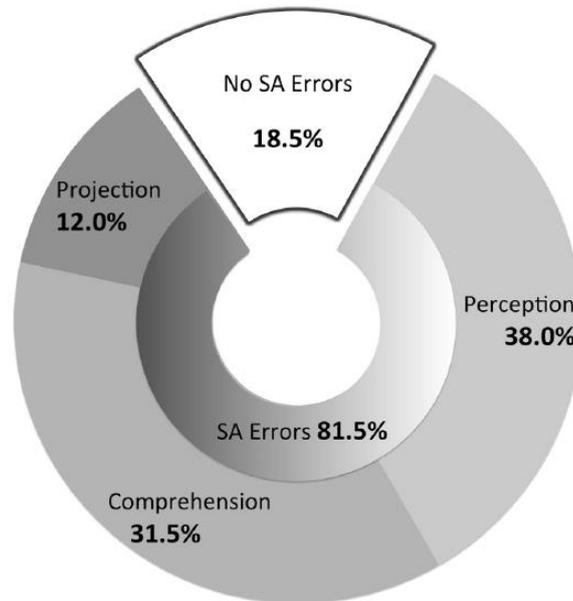


Figure 7. Dans les incidents en Anesthésie- Réanimation, les erreurs de SA interviennent dans 81.5% des cas. La perception est la première source d'erreur rapportée. D'après Schulz (2016) (49).

L'*Anesthesia Closed Claims database* américaine contient 10 546 déclarations d'accidents peri-opératoires. Entre 2002 et 2013, 266 incidents opératoires sont de responsabilité anesthésique exclusive et ont conduit à la mort ou à des dommages cérébraux pour les patients. Schulz (2017), en conservant la même méthode d'analyse, conclut de nouveau que les erreurs de SA des anesthésistes ont conduit à la mort ou à des dommages cérébraux chez 198 des 266 cas (74%) (50). Les événements respiratoires sont les plus nombreux à mettre en cause la SA des anesthésistes (56%) avec notamment une ventilation ou une oxygénation inadéquate (24%), l'intubation difficile (11%) et l'inhalation (10%). Il est important de noter que dans 77% des cas, il s'agissait de chirurgies réglées. De la même façon, dans 42% des cas l'erreur était perceptive alors que les erreurs de compréhension et de projection étaient presque moitié moins fréquentes.

La perception visuelle, en tant qu'interface intégrative avec l'environnement dynamique, semble donc être un important facteur limitant de la performance. Ce constat semble largement partagé dans les disciplines chirurgicales. Sur un recueil de 252 plaies biliaires en coelioscopie pour cholécystectomie, la principale cause d'erreur dans 97 % des cas était la perception visuelle contre 3% de fautes techniques (51) (Way 2002). A titre informatif l'analyse des bases de données de l'aviation (*Aviation Safety Reporting System*) fait état de 73.6 % d'erreurs perceptives, 20.3% d'erreurs de compréhension et de 3.4% d'erreurs de projection (52) (Jones & Endsley 1996).

Le 1<sup>er</sup> juin 2009, à 10 700m d'altitude, le vol 447 entre Rio et Paris traverse un orage à la croisée du front intertropical. Le gel des sondes Pitot a provoqué la perte momentanée des indications de vitesse pendant moins d'une minute. La perte de cette information essentielle va

déconnecter le pilote automatique, remettre les pilotes aux commandes et annoncer une altitude erronée. L'avion est pourtant stable. Après 6 secondes, la décision est prise de cabrer. L'avion entame alors une ascension en dehors de son domaine de vol et finit par décrocher et s'abîmer dans l'océan Atlantique 3 minutes plus tard entraînant la mort des 228 passagers et membres d'équipage (53). Le Bureau d'Enquête et d'Analyse de l'aviation civile conclura que la défaillance technique des sondes associée à un défaut de formation des pilotes ont conduit à un défaut de conscience situationnelle dans les minutes qui ont précédé le crash.

### La charge cognitive

La charge cognitive est un facteur important de dégradation de l'efficacité de la SA. Elle correspond à la balance dynamique entre un défi, représenté par une tâche, et les capacités individuelles à réaliser cette tâche (54) (Leedal et Smith 2005). Elle dépend de l'exigence de la tâche, de l'effort cognitif nécessaire à la répartition consciente des ressources mentales, de la performance et de l'attention disponible et nécessaire.

Plus la tâche est dense, de haut niveau cognitif, nécessitant de bonnes performances technico-motrices ou mentales avec une mobilisation forte de l'attention, plus le sujet consomme sa réserve cognitive. La réserve cognitive ou « capacités inutilisées » devient alors le facteur limitant des performances. Sans ressources, le sujet ne peut plus allouer d'attention supplémentaire à l'évaluation de son environnement, ni performer ou produire un effort cognitif.

63% des anesthésistes déclarent faire des erreurs à cause d'une surcharge cognitive (54) (Leedal et Smith 2005). De nombreux facteurs augmentant la charge cognitive sont couramment rencontrés dans l'exercice quotidien des MAR. Cadre : checklist/protocoles, pression, adéquation entre capacité du staff d'anesthésie et charge de travail. Matériel : automatisation des moniteurs, lisibilité, alarmes. Environnement : lumière, bruit, température, organisation du bloc. Humain : individuel (fatigue, privation de sommeil, ennui, connaissances, gestion des équipements et du stress), collectif (communication, hiérarchie, entraînement).

Hart et Staveland (1988) ont créé pour l'aérospatial, le questionnaire NASA-TLX pour quantifier la surcharge cognitive des pilotes (55). Depuis, ce test est utilisé en pratique courante dans de nombreux domaines et particulièrement dans les études en anesthésie. En 2010, Byrne et al. l'utilisent *in situ* en anesthésie et mettent en évidence une association entre l'importance de la surcharge cognitive et le score au test NASA-TLX (56). Une étude observationnelle conduite dans les hôpitaux londoniens lors de 90 procédures chirurgicales s'est intéressée aux interactions entre les distractions et la charge cognitive au bloc opératoire parmi les anesthésistes et les chirurgiens (Wheelock et al., 2015). Les distractions les plus fréquentes provenaient d'intervenants extérieurs ou de conversations inappropriées. Les conversations inappropriées étaient associées à une moins bonne performance d'équipe. Les distracteurs acoustiques généraient du stress chez le chirurgien et de la charge cognitive chez l'anesthésiste (57).

Une autre façon de mesurer indirectement la charge cognitive consiste à mesurer le temps de réalisation de tâche secondaire. La consigne peut être d'éteindre un simple dispositif vibrant posé sur le corps à chaque fois qu'on le sent vibrer. Plus la charge cognitive augmente en situation, plus le temps pour réaliser cette tâche secondaire va augmenter de façon linéaire

(délai d'extinction du dispositif : 301 ms durant l'induction, 51ms pendant l'entretien et 141ms au réveil). L'expertise semble jouer un rôle protecteur en diminuant le temps de réponse au dispositif vibrant (58,59) (Byrne 2013, Davis et al., 2009).

Les neurosciences proposent d'autres méthodes d'analyse de la charge cognitive comme l'électroencéphalographie et les potentiels évoqués visuels. 300 à 600 ms après un stimulus imprévu mais attendu, apparaît une onde positive au niveau du cortex pariétal : P300. La latence de cette onde donne une indication indirecte sur la durée des opérations cognitives et son amplitude fournit un indice de l'aspect énergétique des processus cognitifs (figure8). La diminution de l'une de ses composantes, P3b, reflète une diminution des ressources cognitives et une augmentation de la charge cognitive (60) (Causse et al., 2015). L'analyse des mouvements oculaires par l'oculométrie ou *Eye Tracking* permet d'étudier également certains processus cognitifs. La réponse adrénurgique au stress induit une dilatation pupillaire et des micromouvements mesurables qui sont en rapport avec les variations de charge cognitive(61) (Szulewski et al., 2014).

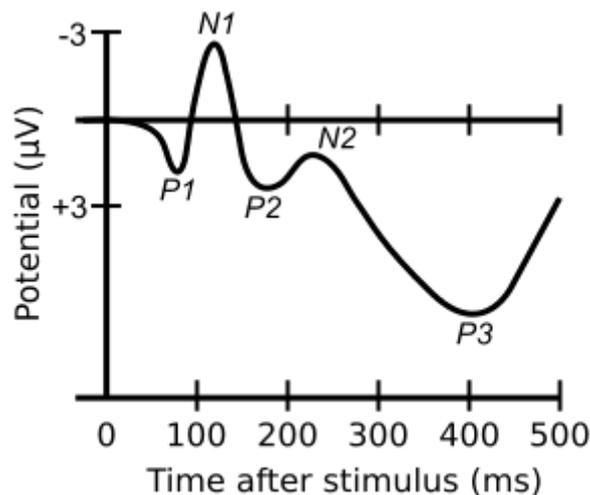
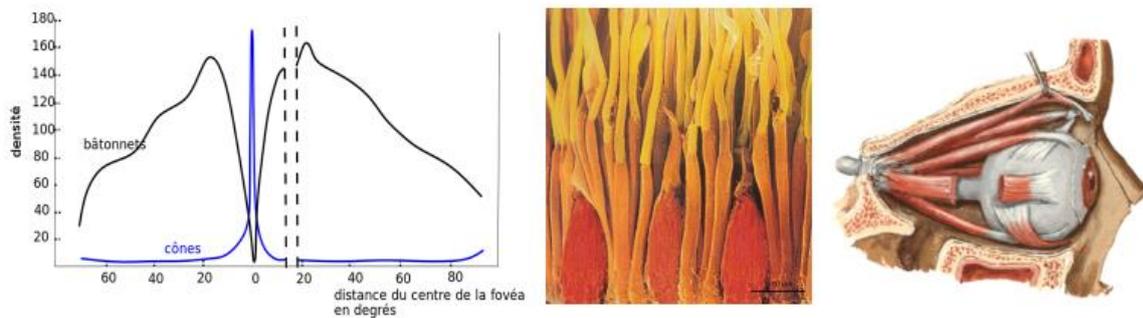


Figure 8. Représentation d'un potentiel évoqué. La latence et l'amplitude de l'onde positive à 300ms (P300 ou P3) donne des informations sur les processus cognitifs en cours de traitement. P300 est la somme de plusieurs ondes, parmi elles P3b (non représentée) varie en amplitude en fonction de la charge cognitive du sujet. D'après Causse (2015) (60,62).

# L'oculométrie cognitive : le regard comme miroir de la cognition

## Le système visuel humain

L'œil est un organe optique parfait disposant d'une mise au point à l'infini grâce à deux surfaces convergentes d'une puissance de 40 et 20 dioptries : la cornée et le cristallin. Il porte la membrane sensorielle rétinienne capable d'une transduction photochimique. La région fovéaire centrale est responsable de l'acuité visuelle grâce à une unique représentation des photorécepteurs permettant la vision colorimétrique diurne : les cônes. Cette zone de 3mm<sup>2</sup> se projette sur une aire corticale 1000 fois plus grande qui conserve une organisation rétinotopique, c'est-à-dire que les signaux captés par deux points rétiniens adjacents sont codés au niveau du cortex par deux groupes de neurones adjacents (62,63). La répartition inhomogène des cellules visuelles rend indispensable la capacité de nos yeux d'être doués d'une mobilité extrinsèque (figure 9). Environ 150.000 mouvements oculaires quotidiens sont nécessaires pour nous donner l'illusion d'une vision haute définition. Notre vision binoculaire est orchestrée par 12 petits muscles squelettiques oculomoteurs aux propriétés remarquables : Le motoneurone innerve 10 à 100 fois plus de plaques motrices et décharge à une fréquence 4 fois supérieure aux muscles squelettiques normaux. Les propriétés structurales et chimiques font de ces muscles des muscles endurants à faible consommation énergétique.



L'information électrique est transmise le long du nerf optique jusqu'au niveau du chiasma optique où s'opère une héli décussation. En arrière, les informations de la rétine temporale et maculaire homolatérale et celles de la rétine nasale controlatérale atteignent le corps géniculé latéral du thalamus *via* les bandelettes optiques. C'est à ce niveau qu'a lieu le seul relai des voies visuelles. Finalement, les radiations optiques, qui sont les axones des cellules géniculostriées, projettent l'information sur le cortex visuel primaire occipital V1 au niveau de la couche IV en conservant l'organisation rétinotopique initiale. De là, l'information est traitée par une vingtaine d'aires associatives afin de l'analyser et d'en extraire du sens (figure 10).

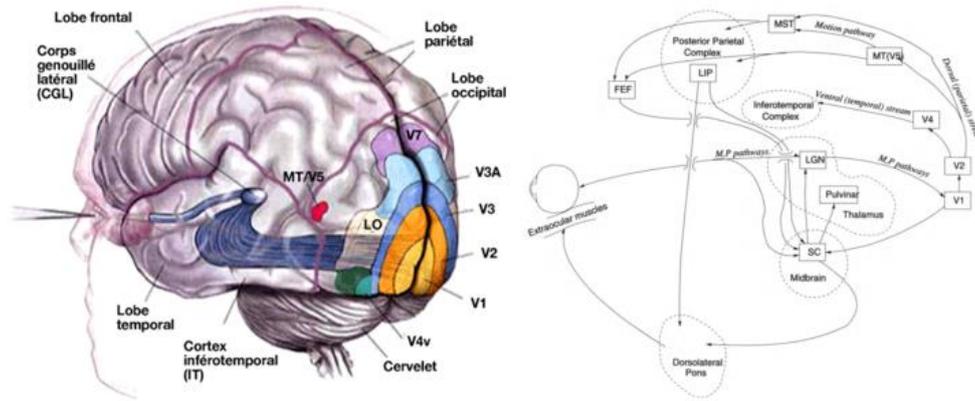


Figure 10. **Gauche** : Représentation des voies visuelles retro orbitaires et des aires associatives du cortex visuel. Le cortex visuel primaire, V1, reçoit les informations des héli- nerfs optiques droit et gauche après la seule synapse des voies visuelles dans le Corps Géniculé Latéral (CGL ou LGN). V1 conserve une organisation rétinotopique, V2 V3 V4 réalisent un traitement sur les formes, les couleurs, les mouvements.... **Droite** : Représentation des connexions entre les centres visuels associatif et les centres attentionnels. Le Colliculus Supérieur (SC) reçoit des afférences de nombreuses aires visuelles primaire et associative. Il joue un rôle dans la programmation de la séquence oculomotrice grâce à des efférences vers les noyaux de l'oculomotricité du tronc cérébral. Le Complexe Pariétal Postérieur (PPC) et l'Aire Latérale Intra Pariétale (LIP) permettent une modélisation visuelle des informations auditives. PPC joue un rôle dans les fixations du regard et dans le désengagement attentionnel (efférences vers les centres oculomoteurs) alors que le Pulvinar a un rôle promoteur dans l'engagement attentionnel. Il existe schématiquement 2 voies de traitement de l'information visuelle : la voie dorsale qui traite les informations de mouvements, de localisation et les processus attentionnels. La voie ventrale file vers le Complexe Infero Temporal et représente la voie du « Quoi », une voie dédiée à du traitement cognitif. Cette organisation reflète la polarisation antéro postérieure du cerveau allant de processus basiques postérieurs vers des processus antérieurs de plus en plus complexes et intégrés. L'Aire Oculomotrice Frontale ou Frontal Eye Field (FEF) joue un rôle fondamental dans le contrôle volontaire du regard, dans les mouvements de saccades ainsi que dans la conscientisation de la perception. D'après Physiologie Humaine Appliquée et Duchowski (2003).

## Les mouvements oculaires

Schématiquement, le mouvement oculaire consiste en une série de fixations et de saccades. La fixation consiste en un état relativement stable du regard durant lequel nous prélevons de l'information en alignant notre fovéa avec l'objet d'intérêt. La saccade est un mouvement rapide balistique entre deux fixations. Lorsqu'il est initié, il n'est plus possible de le stopper ou de modifier son trajet. Il peut s'agir d'un mouvement volontaire ou non, durant lequel le traitement de l'information visuelle est inhibé, ce qui explique qu'on ne perçoive aucun flou visuel au déplacement du regard (64) (Reingold & Stampe 2002). Une fixation dure entre 100 et 500 ms selon le type de tâche en cours de réalisation, tandis qu'une saccade prend 30 ms pour parcourir 2° d'arc ou 40 à 50 ms pour 5° d'arc (65) (Rayner 2009). Nous ne détaillerons pas les autres types de mouvements oculaires (micro-saccades, mouvements de poursuite, nystagmus réflexes, mouvements opto-cinétiques, rotation et vergence) mais tous concourent à produire une illusion de vision continue à haute résolution.

## Notions de cognition visuelle

Les mouvements oculaires sont-ils le fruit d'un hasard heureux ou dirige-t-on notre regard là où se trouve l'information et surtout **au moment où** cette information est requise ? Des britanniques, dirigés par Land (1999), ont mené l'enquête autour d'une activité anodine stéréotypée : la préparation d'une tasse de thé (66). Cette activité fait intervenir une séquence de gestes simples : se saisir d'une bouilloire, la remplir d'eau du robinet, la remettre sur son socle pour démarrer la résistance, récupérer une tasse sur le meuble, y rajouter le thé et enfin y

verser l'eau chaude. L'équipe de Land a observé que la première fixation d'un objet (bouilloire, robinet, interrupteur, tasse...) allait entraîner sa manipulation 560 ms plus tard. En moyenne, le regard passait à l'objet suivant 610 ms avant la fin du dernier acte moteur. Chaque action (comme fermer le couvercle ou ouvrir le robinet) nécessite en moyenne 5.4 fixations et les fixations ont pu être séparées en 4 fonctions principales : localisation, direction de la main, guidage d'approche, vérification. Faire du thé nécessite peu de processus conscients mais les yeux monitorent de près l'ensemble de la réalisation.

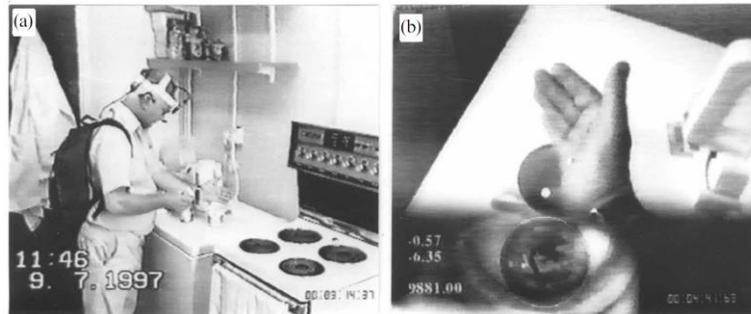


Figure 11. Expérience de Land sur le contrôle visuelle lors d'une tâche quotidienne stéréotypée : la réalisation d'une tasse de thé. Notre regard est lié à notre activité cognitive. A tout instant, et de façon inconsciente, nous contrôlons la bonne réalisation de notre séquence motrice et nous anticipons visuellement les prochains gestes. D'après Land et al. (1999) (66)

Depuis les travaux de Yarbus (67) en 1956, il est démontré qu'une tâche cognitive nécessitant une prise d'information visuelle modifie la séquence oculomotrice (figure 12). Notre environnement contient beaucoup d'informations et nos capacités d'intégration sont trop limitées pour permettre un traitement simultané de toutes les données visuelles. La saillance physique des objets (68) (Itti et Koch 2000) et la nécessaire sélectivité de notre prise d'information se conjuguent pour contraindre notre prospection visuelle (69) (Hayhoe et Ballard 2005). La notion de saillance physique est expliquée dans la figure 13. En d'autres termes : la prospection visuelle est un mécanisme asservi à la cognition.

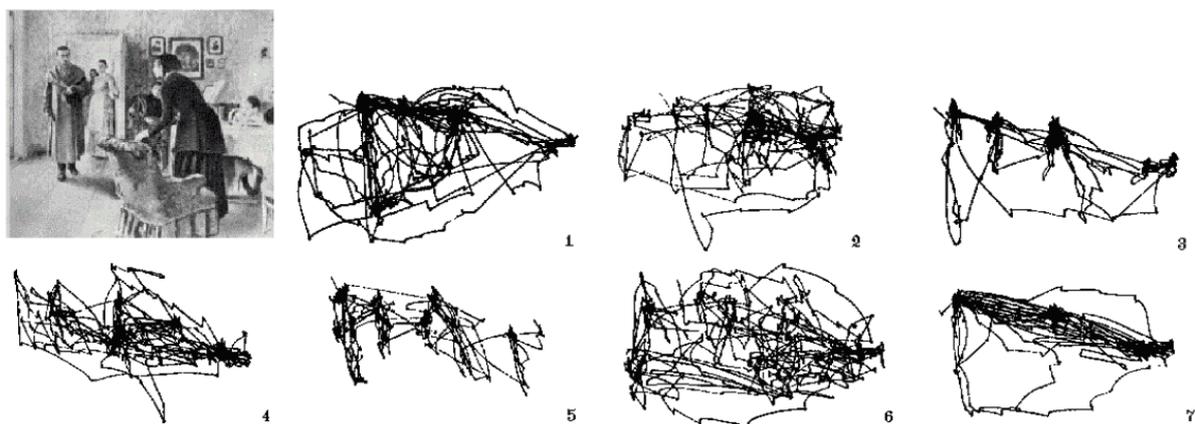


Figure 12. Expérience de Yarbus (1956). Le comportement visuel de sujets était enregistré lors de la réalisation de différentes tâches mentales à propos du tableau de Repin « le visiteur inattendu ». 1 prospection libre dans le tableau, 2 estimer la richesse de la famille, 3 donner l'âge des personnes représentées, 4 conjecturer sur ce que faisait la famille avant l'arrivée de l'inconnu, 5 mémoriser les vêtements des personnes, 6 mémoriser l'emplacement des objets dans la pièce, 7 estimer la durée de l'absence du visiteur. Cette expérience fondatrice prouve que le comportement visuel dépend directement d'une tâche cognitive à laquelle on se soumet. D'après Yarbus, *Eye Movements and Vision* (publié en 1967).

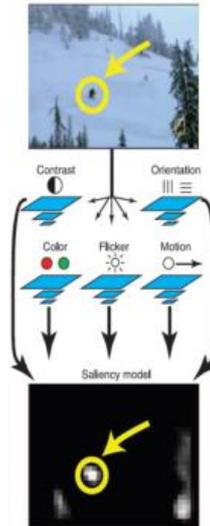


Figure 13. Réalisation d'une carte de saillance à partir des propriétés physiques d'un objet. Exemple d'un skieur dévalant une pente enneigée. Le contraste (noir/blanc), les couleurs (vert des arbres, logo de la chaîne TV), la luminosité (neige), le déplacement du skieur et l'orientation des objets (arbres, pente) génère une carte de saillance par nos neurones. Plus un objet est saillant dans son environnement plus il aura tendance à capter le regard. Autre exemple : le galop d'un insecte sur le mur à coté de la télévision va immédiatement déclencher une saccade et une fixation avant que des processus conscients ne nous replongent dans cette série. D'après Berg (2009) *Free viewing of dynamic stimuli by humans and monkeys*.

Plus récemment, des liens anatomiques entre les centres attentionnels et oculomoteurs ont été mis en évidence (70,71) (Awh et al., 2006, Fecteau et Munoz 2006). Des lésions du réseau oculomoteur (FEF : *frontal eye field*, le colliculus supérieur, l'aire intra pariétale, le pulvinar et la formation réticulée du tronc cérébral) entraînent des déficits de l'attention visuelle (comme présenté dans la figure 10). Enfin, il apparait que la bonne réalisation de la séquence motrice fixation/saccade en vue d'une tâche soit soumise à l'apprentissage puisqu'il existe des connections avec des neurones dopaminergiques dans la substance noire *pars compacta* du tronc cérébral (69) (Hayhoe et Ballard 2005). Le comportement visuel efficace est donc récompensé et sélectionné par l'expérience.

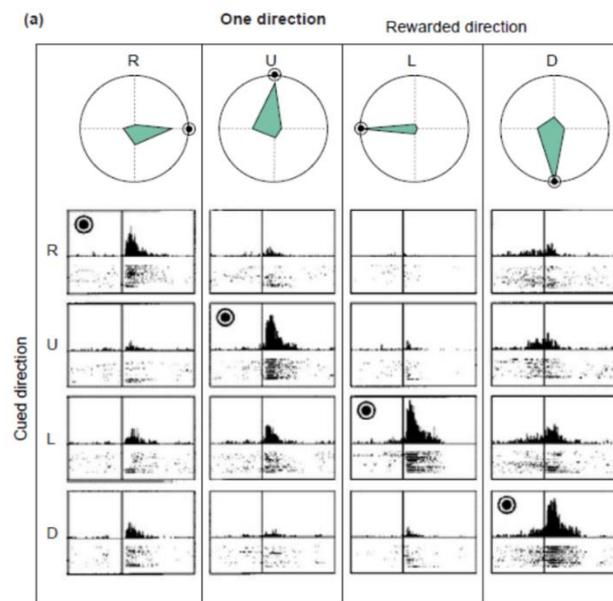


Figure 14. L'expérience de Kawagoe, chez des singes lors d'une tâche de mémorisation, montre que les neurones du noyau caudé sont sensibles à la récompense. Lorsque la direction du regard va dans le sens attendu (Right, Up, Left ou Down), une activité dopaminergique est enregistrée dans le noyau caudé des primates. Rapporté par Hayhoe et Ballard (2005) (69).

## La mesure du comportement visuel par l'oculométrie

L'oculométrie ou « *Eye tracking* » est la mesure du mouvement oculaire. Il existe 4 principales méthodes de mesure : les lentilles sclérales, l'électro-oculographie, la photo- ou vidéo -oculographie et la vidéo combinée à la réflexion cornéenne. La méthode historique consistait en la fixation sur la cornée d'un stylo par un bras mécanique qui retransmettait le mouvement sur une feuille. Bien des progrès ont été faits depuis rendant l'examen plus supportable.

En insérant une micro bobine métallique dans une lentille de contact et en soumettant le sujet à un champ électromagnétique, il est possible de mesurer les variations de position du globe oculaire. L'électro-oculographie repose sur la mesure de potentiels électriques cutanés à l'aide d'électrodes placées autour des yeux. La détection du potentiel électrique cornéo-rétinien (polarisation antéro-postérieure du globe oculaire à l'état basal) et de sa variation dans l'espace renseigne sur la position du globe oculaire. La photo-vidéo-oculographie correspond à l'enregistrement de clichés ou l'acquisition vidéo de mouvements oculaires. La position du regard est ensuite calculée à partir d'images références.

Les trackers vidéo combinés à la réflexion cornéenne d'une lumière permettent de mesurer en temps réel la position du regard. La méthode de réflexion cornéenne des infrarouges permet de calculer la position du regard en utilisant un vecteur différence entre le centre pupillaire et le reflet cornéen d'une source infrarouge de 880nm. Lors d'un mouvement oculaire, la position du reflet va rester relativement stable alors que le centre de la pupille va se déplacer. Après calibration, cette différence va permettre une reconstruction en temps réel de la position du regard. La figure 15 présente des exemples de ces 4 méthodes (72,73). (Duchowski 2017, Harezlak 2017).

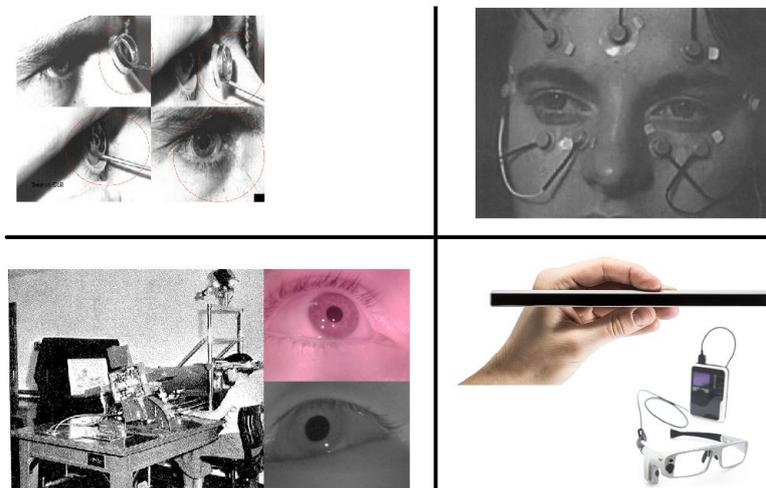


Figure 15. **En haut à gauche** : pose d'une lentille contenant une bobine métallique. Après exposition de la tête du sujet dans un champ magnétique, il est possible de suivre le mouvement du globe oculaire. **En haut à droite** : Electro-oculographie. La détection du potentiel électrique rétino-cornéen par des électrodes cutanées permet de suivre le mouvement du globe oculaire. **En bas à gauche** : Photo ou Vidéo-oculographie. La position des yeux d'un sujet regardant une scène et photographiée ou filmée. En comparant ces clichés avec les références faites lors de la calibration on devine a posteriori la position du regard. **En bas à droite** : Tracking combiné à la réflexion cornéenne. Une caméra infrarouge mesure en temps réel la position du regard par un calcul de différence vectorielle. Il existe des dispositifs portatifs permettant au sujet de ne plus avoir sa tête immobilisée et d'analyser le comportement visuel dans des situations écologiques. D'après Harezlak (2017) (73), Eye Tribe® et Tobii®.

Les variables habituellement mesurées peuvent être séparées en trois grandes catégories : les variables spatiales, temporelles et les nombres d'occurrences(74). (Lai et al., 2013). L'analyse de ces variables impose la définition de régions d'intérêt (ROI ou AOI « *Area of interest* ») expérimentales. Ces ROIs correspondent à une fraction de l'environnement observé dont l'expérimentateur veut connaître la propension à être regardées. Les variables spatiales peuvent être la position ou la séquence de fixation, l'amplitude de saccades ou le cheminement du regard. Les variables temporelles peuvent être la durée moyenne d'une fixation ou d'une saccade, le temps avant la première fixation. Enfin l'expérimentateur peut compter un nombre total de fixations ou de saccades et réaliser des taux de fixation (nombre/sec).

### Relation entre l'expertise et le comportement visuel

En aéronautique, la relation entre l'expertise et le comportement visuel est établie depuis longtemps. Au lendemain de la Seconde Guerre mondiale, les laboratoires de l'armée américaine s'intéressaient déjà secrètement au mouvement oculaire des pilotes. En 1950, Fitts(75) fait état de l'importance de l'analyse du comportement visuel des pilotes lors du vol aux instruments et s'inscrit dans une démarche d'ergonomie cognitive pour optimiser la prise d'information dans les cockpits. Si on sait ce que regarde un pilote à l'atterrissage, on accède à une partie du contenu de sa pensée. La compréhension fondamentale de ces processus pouvait permettre de repérer des mécanismes d'erreur et d'améliorer l'interface homme-machine. En comparant le regard de pilotes instructeurs avec celui de pilotes moins expérimentés, il a été noté que les experts avaient un plus grand nombre de points de fixation et que les temps de fixation étaient inférieurs. Il a aussi pu être démontré qu'il existait une corrélation entre le nombre d'heures de vol et les caractéristiques d'observation des instruments du tableau de bord. Des résultats similaires sont retrouvés par Kasarski (2001) à l'atterrissage : les pilotes experts ont plus de points de fixation au total et leur temps moyen de fixation est plus bas. En d'autres termes, ils observent plus d'éléments en moins de temps avec une répartition différente de l'attention visuelle. En effet, ils regardent moins souvent l'altimètre et plus souvent l'horizon en dehors du cockpit(76), non pas pour regarder le paysage, mais pour y prélever différemment des informations de position, d'altitude et de vitesse par rapport à la piste. De ce fait, l'expert fait intervenir sa vision périphérique pour prélever de l'information là où le novice se doit de consulter l'instrument de navigation pour répondre de façon consciente à sa question mentale (*quelle est mon altitude d'approche ? Suis-je trop rapide ? ...*).

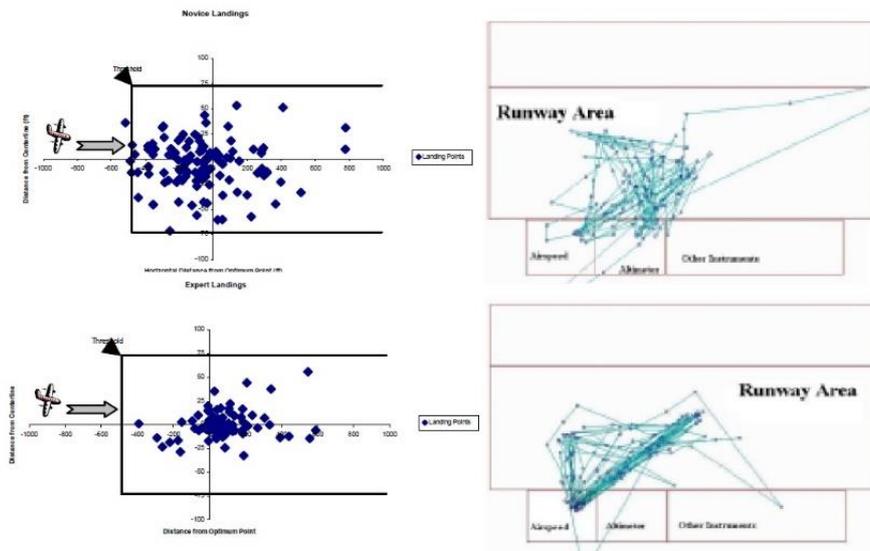


Figure 16. Expérience de Kasarski (2001) (76). **A gauche** : Les performances d'atterrissage sont mesurées sur simulateur, l'objectif était d'atterrir au plus proche de l'intersection des 2 axes. **A droite** : représentation des trajets du regard entre les régions d'intérêts (Extérieur du cockpit, AirSpeed, Altitude, Others Instruments). **La ligne du haut** correspond aux performances des novices et **la ligne du bas** à celle des experts. On remarque que les experts sont plus performants dans leur atterrissage et que leur comportement visuel est différent des novices (moins erratique, plus organisé, exploration de l'environnement plus systématisé, pas de contrôle de l'altitude).

La recherche oculométrique en médecine est entrée par le bloc opératoire et l'analyse du regard des chirurgiens en procédure laparoscopiques. Il n'est plus question d'interface homme-machine à proprement parlé mais d'évaluation qualitative du regard du médecin. Le regard du médecin expert correctement formé pourrait devenir un objectif à atteindre pour le plus jeune, c'est pourquoi la pédagogie médicale s'intéresse de plus en plus à cet outil. Il apparaît que les experts ont une capacité à rester focalisés sur leur cible alors que les novices ont un comportement visuel plus erratique. Les novices ont par ailleurs besoin d'un contrôle visuel plus important des instruments, signe d'un apprentissage encore en voie de consolidation(77) (Law et al., 2004).

Group	Target Gaze	Switching	Tool Follow	Loss
Expert	73.3%	13.3%	8.9%	4.4%
Novice	53.3%	17.8%	26.7%	2.2%

Figure 17. Différence dans le regard entre des chirurgiens experts et novices en cours de procédure laparoscopique. Les experts restent focalisés plus longtemps sur leur cible tandis que les novices passent beaucoup plus de temps à monitorer leurs outils. D'après Law (2004) (77).

Il existe des patterns visuels spécifiques qui correspondent à un niveau d'expertise relatif à un apprentissage consolidé. Lorsqu'on demande à des chirurgiens de regarder des vidéos de cholécystectomie coelioscopique on observe un taux de chevauchement du regard supérieur chez l'expert par rapport au novice(78) (Khan et al., 2012). Les experts regardent la scène de la même manière, 55% de la séquence visuelle est commune et ce de façon parfaitement inconsciente. Il existe donc une façon de regarder et celle-ci peut faire l'objet d'un apprentissage dédié(79) (Tien et al., 2014).

Plus récemment, la radiologie s'est emparée de cette technologie. Quelles sont les caractéristiques de l'expert en diagnostic radiologique ? En 2016, Kelly a réalisé une étude sur la précision diagnostique et le comportement visuel de radiologues experts et novices pendant l'observation de radiographies thoraciques à la recherche de pneumothorax. Il est apparu que l'expertise était associée à une augmentation de la précision diagnostique, à une diminution du nombre de points de fixation et du temps moyen de fixation nécessaire pour localiser un pneumothorax(80). Le diagnostic s'avérait donc plus rapide, plus précis. La figure X montre un regard de radiologue expert comparé à celui d'un non-initié(73) (Harezlak et al., 2017).

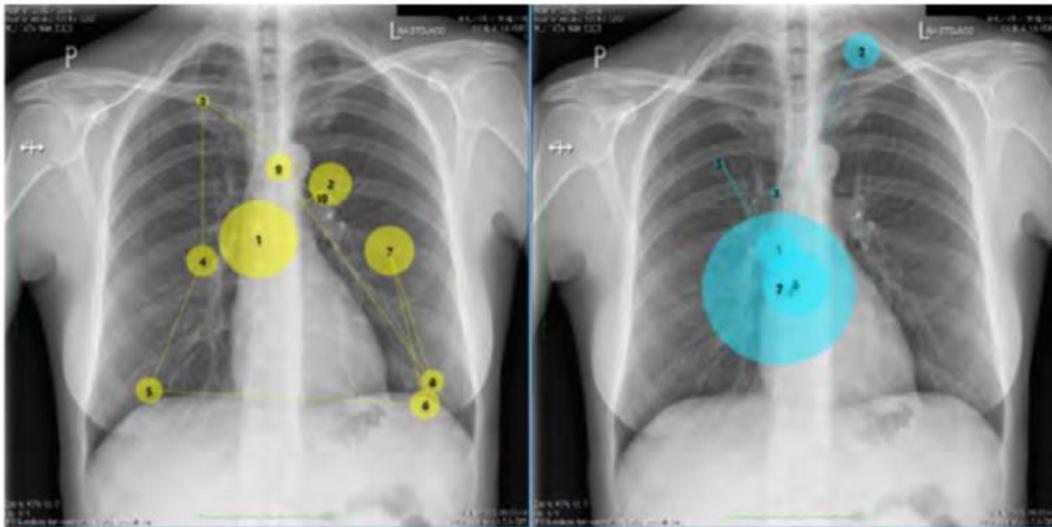


Figure 18. Prospection visuelle sur un cliché de radiographie pulmonaire par un radiologue expert (à gauche) et par un non initié (à droite). On peut suivre le trajet du regard du radiologue partant du haut de la silhouette cardiaque et réalisant un cercle (crosse, apex droit, hile droit, base droite, base gauche, hile gauche...) alors que le non initié ne développe pas de regard structuré. D'après Harezlak (2017) (73).

En anesthésie, Schulz et al. (2011) ont démontré que la répartition du regard était différente lors d'accidents anaphylactiques simulés selon le niveau d'expérience des médecins. Au moment de l'accident, les experts maintiennent une attention visuelle au moniteur et aux tâches manuelles alors que les novices augmentent leur attention visuelle au moniteur et à d'autres éléments moins pertinents(81). L'analyse des stéréotypies visuelles montre des boucles itératives masque-thorax chez l'expert et moniteur-dossier chez les novices.

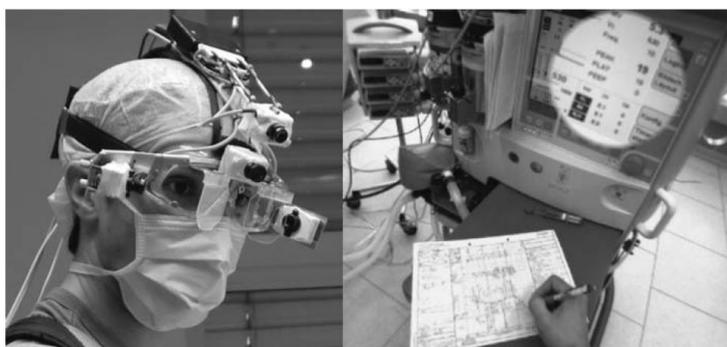


Figure 19. Dispositif d'oculométrie portatif utilisé par Schulz (2011) (81).

En 2014, pour la première fois, Schulz évalue simultanément des indicateurs physiologiques de charge mentale (diamètre pupillaire et fréquence cardiaque), la performance de gestion d'un incident anaphylactique en simulation, l'expérience et la distribution de l'attention visuelle entre des ROIs de surveillance et de tâches manuelles(82). Malheureusement, aucune interaction n'est apparue significative entre ces variables sur un faible effectif de 14 anesthésistes.

L'oculométrie commence à s'enraciner solidement dans l'analyse de la pratique médicale, non seulement dans une optique d'évaluation de la qualité du soin (en vue d'améliorer les pratiques professionnelles et la formation) mais aussi dans l'analyse des facteurs concourant à l'incident et à l'erreur médicale.

## **-- TIPS --**

Surveillance de l'agacement chirurgical par le clignement des paupières à l'usage du MAR :

---

*Reduction of blink frequency and shorter blink duration matched the increasing level of mental workload reported by surgeons.*

---

■ Zheng 2012(83)

## *Deuxième partie*

# Problématiques et hypothèses de travail

## Problématiques

Les urgences médico chirurgicales représentent des situations dynamiques rapidement évolutives durant lesquelles la conscience situationnelle du MAR est mise en jeu. Le comportement visuel et la focalisation de l'attention visuelle permettent le prélèvement de l'information et concourent à la bonne performance.

L'expertise dans la gestion d'évènements dynamiques ne se limite pas aux nécessaires mais non suffisantes connaissances théoriques. Avec le temps, l'expérience permet d'apprendre et de consolider des processus comportementaux visuels et cognitifs. L'efficacité de ces processus cognitifs peut être altérée par un niveau de charge cognitive trop important.

L'HPP représente toujours un enjeu de santé publique en 2018. Les données de la littérature attestent d'un défaut de reconnaissance initiale de la gravité impliquant une carence de soins de réanimation précoces. Même si le lien reste à définir clairement, il s'agit certainement d'un défaut de conscience situationnelle provoquant une mauvaise anticipation des complications potentielles.

Sur le plan expérimental, l'HPP est un bon modèle d'étude comportementale en neurosciences. En effet, sa définition diagnostique est clairement posée et son évolution conduit invariablement vers le décès en l'absence de traitement. Par ailleurs, sa prise en charge est standardisée au CHU de La Réunion, ce qui limite la variabilité inter expérimentale, inter et intra individuelle. Il s'agit donc d'une pathologie pouvant s'intégrer dans le cadre de protocoles expérimentaux en neurosciences.

## Hypothèses générales

Un corpus théorique et des outils méthodologiques sont à notre disposition pour évaluer et analyser le comportement visuel, la conscience situationnelle, la prise de décision et la charge cognitive des MAR en situation d'HPP. La simulation médicale haute-fidélité permet d'immerger le MAR dans une situation grave et reproductible, afin d'analyser ses performances et ses compétences non techniques. La conscience situationnelle peut être étudiée depuis la prospection visuelle par l'oculométrie jusqu'au raisonnement par l'administration de questionnaires dédiés.

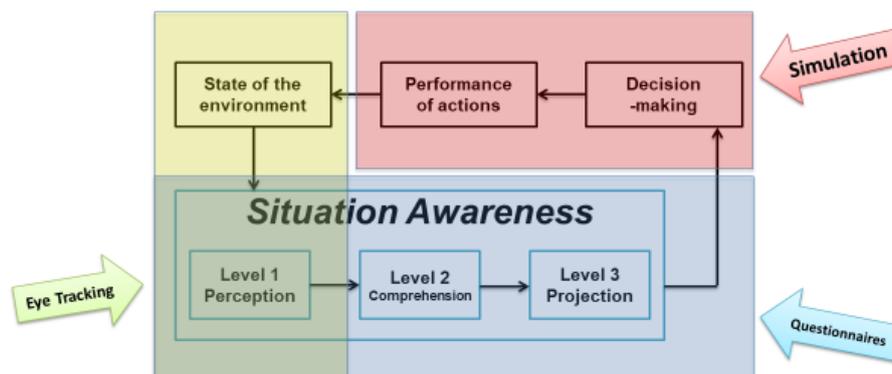


Figure 20. Figure schématisant la relation entre la conscience situationnelle, la prise de décision, les performances et l'environnement dynamique. On se propose de mesurer ces éléments grâce à différents outils (Oculométrie, Questionnaires SAGAT et Simulation Haute-Fidélité).

Nous pensons que l'expertise du MAR induit une prospection visuelle différente. Avec l'expertise, le MAR doit acquérir de façon plus efficace l'information dont il a besoin à chaque instant. Cette plus grande capacité d'extraction de l'information doit être le corollaire d'une conscience situationnelle plus efficiente. L'efficacité du fonctionnement cognitif doit se manifester par une moindre sensibilité à l'augmentation de la charge cognitive par économie de ressources cognitives et aboutir à une meilleure prise en charge des patientes à mesure que l'expertise s'accroît.

L'objectif *in fine* est de mieux appréhender les processus pouvant mener à des erreurs dans la pratique professionnelle des MAR et permettre de limiter leurs conséquences importantes pour la santé des mères. A notre connaissance, il n'existe encore aucune étude sur le lien entre la prise d'information, la conscience situationnelle et la conformité de la prise en charge dans le cadre de l'urgence médico-chirurgicale.

### Hypothèses opérationnelles

Concernant le comportement visuel : le comportement visuel des Experts doit se caractériser par un nombre de points de fixation plus important que chez les Novices. Le temps moyen de fixation dans les régions d'intérêt doit être plus court chez les Experts, afin d'obtenir l'information pertinente par économie cognitive. Des séquences visuelles stéréotypées doivent être révélées chez les Experts alors que les Novices doivent montrer une plus grande errance visuelle.

Concernant les performances : les performances des Experts, mesurées par une check-list d'actions thérapeutiques attendues et un pourcentage de mauvaise réalisation, doivent être supérieures à celles des Novices. Le temps de résolution de la situation doit être plus court chez les Experts par rapport à celui des Novices. Pour autant, les connaissances théoriques entre les Experts et les Novices ne doivent pas être différentes, les différences devant s'expliquer par une variation des processus cognitifs.

Concernant la Conscience Situationnelle : cette articulation cognitive entre attention visuelle et performance doit être qualitativement supérieure chez les Experts. Le pourcentage de bonnes réponses aux questionnaires SAGAT doit être supérieur chez les Experts par rapport aux Novices, particulièrement sur le plan perceptif.

Concernant la charge cognitive : l'efficacité des systèmes cognitifs experts permettent une économie cognitive et une plus grande capacité d'allocation de ressources mentales *per* procédure. La charge cognitive des Experts doit être plus basse que chez les Novices ce qui doit concourir à de meilleures performances attendues.

# Beyond the performance in postpartum hemorrhage high fidelity simulation: differences between students and anesthetists' perception of the clinical scene

Article en cours de soumission : cf Annexe 1

## Anesthesiology

**Beyond the performance in postpartum hemorrhage high fidelity simulation: differences between students and anesthetists' perception of the clinical scene**  
 –Manuscript Draft–

Manuscript Number:	
Full Title:	Beyond the performance in postpartum hemorrhage high fidelity simulation: differences between students and anesthetists' perception of the clinical scene
Article Type:	Original Investigation: Education
Section/Category:	
Corresponding Author:	Médéric Descoins, Ph.D. Centre Hospitalier Universitaire de la Reunion Saint Pierre, REUNION
Corresponding Author Secondary Information:	
Corresponding Author's Institution:	Centre Hospitalier Universitaire de la Reunion
Corresponding Author's Secondary Institution:	
First Author:	Arnaud Desvergez, M.Sc., M.D.
First Author Secondary Information:	
Order of Authors:	Arnaud Desvergez, M.Sc., M.D. Arnaud Winer, M.D. Jean-Bernard Gouyon, M.D., Ph.D. Médéric Descoins, Ph.D.
Order of Authors Secondary Information:	
Suggested Reviewers:	Marie-Pierre Bonnet, MD Hôpital Tenon marie-pierre.bonnet@cch.aphp.fr  Christian M Schulz Technische Universität München, Klinikum rechts der Isar, München, Germany c.m.schulz@lrz.tum.de Expert in Situation awareness and anesthesiology  Aidan J Byrne Cardiff University, Cardiff, UK aidanbyrne27@gmail.com published on relationship between experience and mental workload in anaesthetic practice
Opposed Reviewers:	

## *Troisième partie*

## Discussion et perspectives

### Pédagogie médicale et simulation en santé

La disciplinarisation de la pédagogie médicale vit le jour en 1910 avec le rapport Flexner aux Etats-Unis. Ce principal de collège à Louisville fit état de carences dans la formation des médecins américains, ne bénéficiant alors que d'un enseignement artisanal issu des théâtres de la Guerre de Sécession. Ce rapport donna naissance à l'enseignement médical moderne (84). Après un siècle d'évolution, la pédagogie médicale reste le résultat d'un processus culturel fondé sur la tradition et l'histoire plutôt qu'une discipline basée sur des fondements théoriques et conceptuels (85).

En effet, la pédagogie médicale est un processus secondaire, c'est-à-dire qui s'organise autour d'une profession déjà existante. Les déterminants de cette discipline sont donc dominés par des considérations socioprofessionnelles et politico-administratives conduisant à générer de la recherche « ponctuelle et utile » davantage que du savoir conceptuel et fondamental sur « comment apprendre ». L'action éducative est donc souvent réduite à des attentes d'ordre pédagogique et à des objectifs d'évaluation. Ceci s'explique par une certaine méfiance vis-à-vis des théories des sciences de l'éducation et par un manque de connaissance dans le domaine des sciences sociales en général (86).

Dans une revue systématique des travaux de recherches en éducation médicale, Pottier et al., montraient en 2015 que la contribution française restait très modérée dans ce domaine (0.22% des publications dans Pubmed). Cette faible implication des équipes françaises serait possiblement liée à une méconnaissance de ce champ disciplinaire, à un manque de formation des chercheurs aux spécificités de la recherche dans ce domaine et au manque d'équipes cherchant à y développer une recherche fondamentale (87).

C'est dans un cadre conceptuel fragile que se développe la pédagogie en simulation médicale. Cet outil de formation performant nécessite donc une vigilance accrue quant à son utilisation dans la certification de l'acquisition des compétences. Les résultats de nos travaux vont dans ce sens puisque nous avons du mal à distinguer les Experts de Novices performants (88).

« Jamais la première fois sur un patient ». Si cette philosophie de préservation conserve tout son intérêt, dans les faits, l'apprenant formé se confrontera toujours *de facto* une première fois au patient, avec les conséquences émotionnelles et cognitives que cela implique. Probablement que la simulation aura une action facilitante sur l'adaptation et donnera une information sur l'état mental dans lequel l'apprenant va se retrouver en situation réelle. Mais la preuve d'un réel bénéfice pour le patient n'a pas encore pu être donnée, l'extrapolation des résultats de la simulation vers la pratique clinique ne pouvant être faite pour le moment (33,34). Pourtant, les environnements simulés sont de plus en plus réalistes et nos réactions mesurées de plus en plus proches des observables réels (38,39).

## De l'intérêt d'un debriefing de qualité

Nous avons réalisé une étude expérimentale en Neurosciences. A ce titre, nous avons conçu un protocole qui utilise la simulation médicale haute-fidélité comme une condition expérimentale et non comme un outil pédagogique. Cette distinction entre l'utilisation conventionnelle de la simulation et notre construction scientifique était clairement exprimée lors des réunions d'information et répétée en début et fin de séance. Toutefois, et compte tenu de l'importante charge cognitive à laquelle nous avons soumis les sujets, il était prévu de réaliser un entretien/debriefing à la fin de la phase expérimentale qui n'avait pas d'objectif pédagogique défini mais qui permettait de réaliser un sas de décompression.

Rappelons que le scénario expérimental était celui d'une femme en choc hémorragique réfractaire avec retard de prise en charge dont les paramètres vitaux ne faisaient que se dégrader. Le MAR devait prendre les décisions thérapeutiques seul, aucune aide n'était disponible, l'infirmier anesthésiste ne prenait aucune initiative et exécutait les ordres du MAR dans l'ordre d'énonciation. Tous les gestes techniques devaient être réalisés. Les perfusions devaient être posées sur le mannequin, les dilutions et vitesse d'administration respectées. Un problème de compatibilité transfusionnelle était administré au MAR pendant la séance (ce problème permettait une mesure objective de la charge cognitive par réalisation d'une tâche secondaire). La décision de chirurgie d'hémostase marquait la fin du scénario.

Les sujets souvent stressés – voire choqués, avec de véritables réactions de sidération – étaient parfois frustrés du contenu de cet entretien final. Nous nous sommes aperçus qu'ils attendaient plus de pédagogie, surtout pour ceux n'ayant pas beaucoup expérimenté la simulation au préalable. L'inadéquation entre les attentes pédagogiques de certains sujets, la position hiérarchique de l'expérimentateur vis-à-vis de ses aînés ou de ses collègues internes et le cas particulier de ce scénario ont rendu le debriefing difficile par moment.

L'importance du debriefing dans la construction d'une séance de simulation n'est plus à démontrer. Il s'agit d'un temps fondamental qui permet aux apprenants de renforcer les apprentissages autour d'un entretien structuré et dirigé par l'enseignant. Le premier temps est laissé à l'apprenant pour réagir sur son expérience. Ensuite, l'enseignant fait une description factuelle du scénario qui aboutit à une lecture analytique des actions et des comportements des apprenants selon des objectifs pédagogiques clairement définis. La reformulation du contenu pédagogique par les apprenants signe l'appropriation du savoir. Cette phase est idéale pour sensibiliser les apprenants à l'analyse du facteur humain et aux compétences non techniques (89,90).

Cette expérience nous conduit à penser qu'un débriefing doit être préparé avec des objectifs pédagogiques adaptés, même dans le cadre d'un projet de recherche fondamentale. Il apparaît difficile de décontextualiser l'outil simulation pour un sujet/apprenant de son utilisation conventionnelle. Nous proposons d'intégrer dans nos futurs projets de recherche d'autres professionnels, comme des neuropsychologues, pour l'élaboration de scénarii à charge cognitive élevée et pour l'encadrement des debriefings difficiles. A l'image de l'aéronautique, l'intégration de la transdisciplinarité devrait aboutir à une progression de l'art.

## Interprofessionnalité et prise en charge de l'HPP

Une des particularités de la prise en charge de l'HPP sévère est qu'elle fait intervenir le concept de Conscience Situationnelle Distribuée (91,92). L'évaluation de la situation clinique est un composite entre la SA du MAR, la SA de l'obstétricien et celle d'autres acteurs du soin. La circulation de l'information entre les différents acteurs est donc capitale pour la qualité de la prise en charge et la sécurité des patientes. Et ce d'autant que les informations prélevées dans l'environnement dépendent de la spécialité du médecin (93). Dans une étude expérimentale sur 54 praticiens d'anesthésie et d'obstétrique regardant la même vidéo d'un scénario d'HPP simulée avec dégradation clinique rapide vers un état de choc hémorragique, nous avons montré que le comportement visuel était différent selon la spécialité. L'observation des cartes attentionnelles met en évidence une répartition différente de l'attention visuelle entre les MAR et les obstétriciens avec une focalisation plus importante des MAR sur les paramètres vitaux de la patiente.

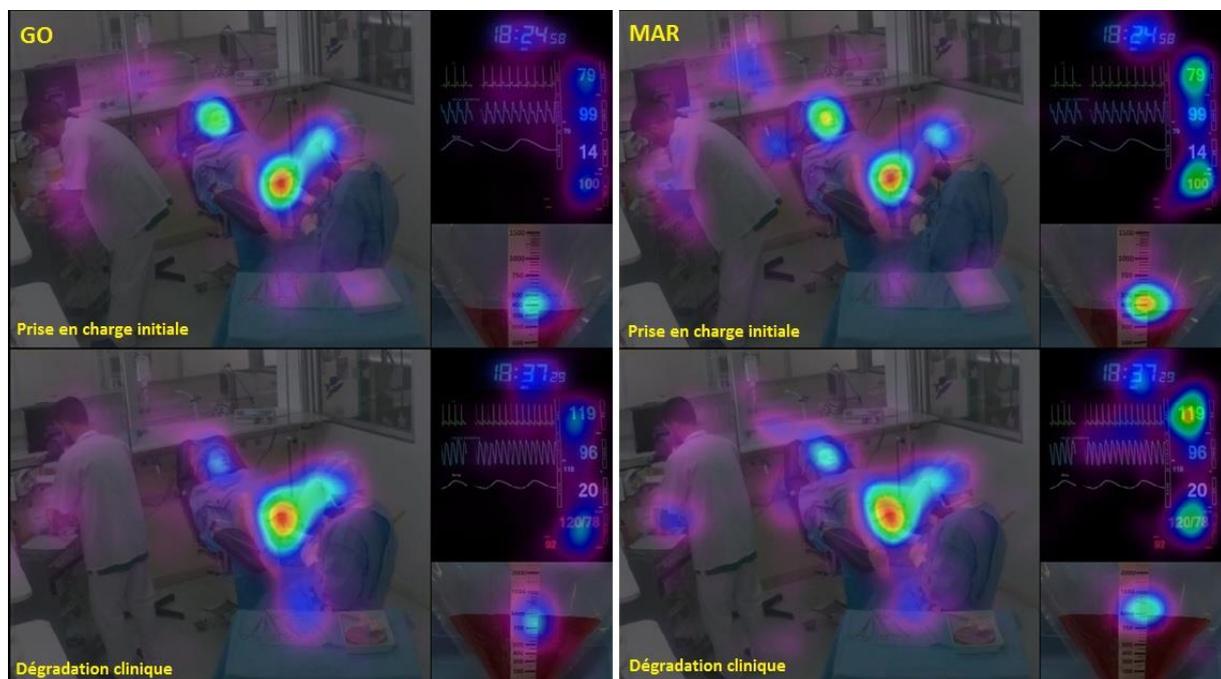


Figure 21. Carte d'attention visuelle extraite lors du visionnage d'un scénario d'HPP sévère par des MAR (à droite) et des Obstétriciens (à gauche). **En haut**, au début de la prise en charge et **en bas** lorsque la situation clinique se dégrade vers le choc hémorragique. Plus une zone est grande et colorée (du bleu au rouge) plus l'attention visuelle qui y a été portée est importante. On remarque que les MAR portent une plus grande attention aux éléments extra périnéaux : le temps, les conditions hémodynamiques et la poche de recueil de sang. D'après Desvergez (2017) (93).

Cette différence d'appréciation perceptive conduisait à une plus grande capacité d'anticipation (SA niveau3) des MAR. La sensibilité hémodynamique du MAR combiné à la perception clinique d'un globe utérin *in vivo* par l'obstétricien illustre parfaitement le concept de Conscience Situationnelle Distribuée. L'inégal prélèvement de l'information, combiné à un défaut de circulation de celle-ci peut conduire à l'erreur médicale et à la mise en danger des patientes. D'autres études sont nécessaires afin d'analyser la relation entre les facteurs humains et l'interprofessionnalité afin de comprendre la genèse des incidents médicaux.

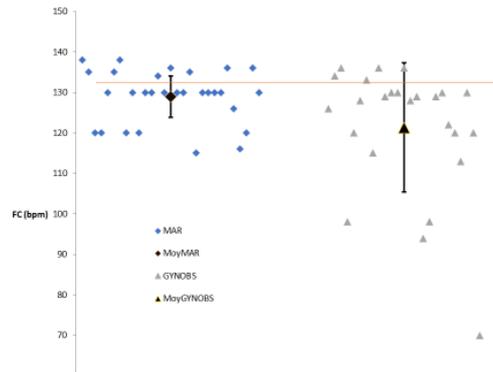


Figure 22. Retranscription graphique de l'évaluation de la fréquence cardiaque par les MAR et les Obstétriciens lors du questionnaire SAGAT (Question : Quelle est la fréquence cardiaque finale de la patiente ?). La réponse attendue était 134 bpm. On remarque que les réponses des MAR sont plus proches de la réalité clinique en raison d'une réactualisation plus fréquente de cette information par les MAR. On remarque également qu'ils sont plus nombreux à sur apprécier la valeur attendue [135-140bpm], peut-être est-ce là l'expression de processus d'anticipation plus prégnant. D'après Desvergez, données non publiées.

### La Conscience Situationnelle du MAR : aspect professionnel et légal

Les pays anglosaxons intègrent l'enseignement des facteurs humains au cursus de l'anesthésie-réanimation depuis bien longtemps. En Ecosse, les internes d'anesthésie suivent un module où il est question de l'importance de la Conscience Situationnelle durant leur première année d'internat. Cette culture du raisonnement par le facteur humain est conservée jusque dans l'analyse d'incidents médicaux lors de réunions équivalentes à nos Revues de Mortalité et de Morbidité (94). Par ailleurs, l'analyse conduite par Schulz sur les cas de dommages cérébraux ou de mort faisant intervenir des défauts de Conscience Situationnelle en anesthésie, montre bien la plus forte propension de ces cas litigieux à obtenir des dédommagements (85% des cas versus 46% lorsque la SA n'est pas impliqué) (50).

Cela implique quelques considérations légales. Il ne faut effectivement pas confondre un déficit de SA avec de la négligence qui peut être condamnable par la Loi. Un médecin est tenu moralement et légalement responsable de ses actes et de ses intentions mais il ne peut pas être tenu responsable d'un statut mental ou d'une fausse croyance qui dépendraient de facteurs extérieurs à sa sphère de contrôle. Il faut donc se méfier de l'appellation « erreur de SA » qui induit une culpabilité du médecin mais qui n'a pas de substrat légal (95).

### Analyse en neurosciences comportementales et perspectives de recherche

L'apport de l'oculométrie dans la caractérisation de l'expertise est indéniable. En observant une répartition différente du regard, une augmentation du nombre de points de fixation et une évaluation différente du volume hémorragique, nous avons pu caractériser un comportement visuel expert dans un environnement simulé. Une autre manière de rendre compte de cette différence serait par l'analyse des premiers points de fixation. Nous avons pu, par exemple, extraire des cartes d'attention visuelle en prenant en compte les 20 premières fixations au moment de la révision utérine lorsque la patiente se dégrade cliniquement. La figure 23 présente ces cartes d'attentions et prouve encore une fois l'importance de la focalisation attentionnelle des Experts sur la perte hémorragique.



Figure 23 : Carte d'attention visuelle réalisées à partir des 20 premiers points de fixation à partir de la séquence "révision utérine" lorsque la patiente se dégrade cliniquement. Les Experts, **en haut**, focalisent rapidement leur attention visuelle sur la perte hémorragique au contraire des novices, **en bas**, qui conservent leur attention sur la région périnéale. D'après Desvergez, données non publiées.

L'analyse éthologique des enregistrements des passations pourrait également s'avérer extrêmement pertinente. L'expertise doit pouvoir se mesurer par un ensemble de comportements observables comme l'attitude générale, les déplacements, l'appel à l'aide, l'utilisation d'objets de réassurance, les facultés relationnelles. Mais nous manquons encore d'une méthodologie suffisamment robuste pour pouvoir les analyser statistiquement.

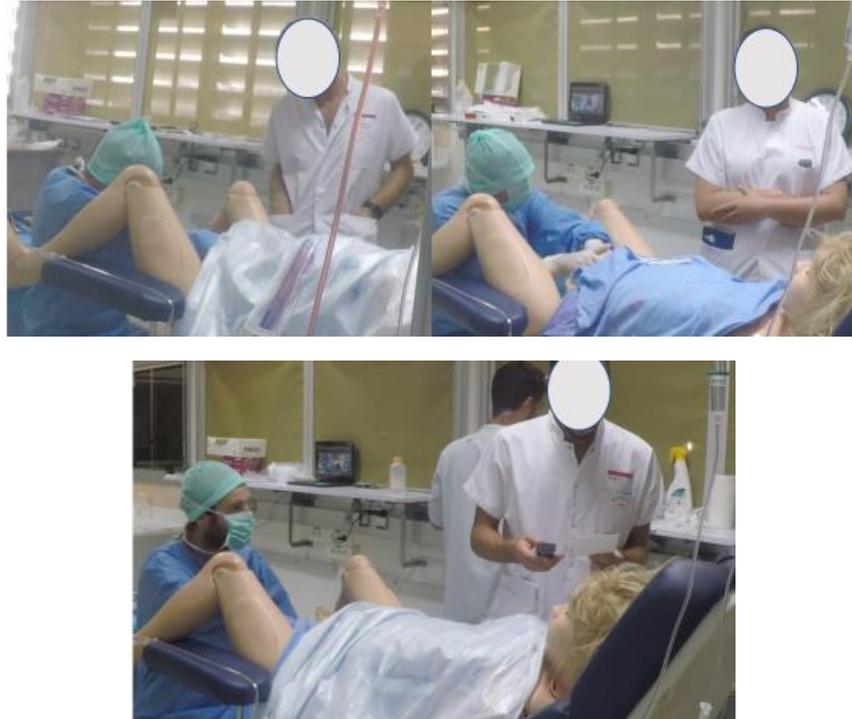


Figure 24. Photos issues des passations lors de notre étude principale pouvant montrer l'intérêt d'une approche éthologique. **En haut** : deux profils d'attitude différents reflétant des états mentaux différents et pouvant être un marqueur de l'expertise. **En bas** : un exemple d'utilisation d'objets de réassurance – ici la manipulation du téléphone – lors d'une augmentation de la charge cognitive (problème de compatibilité transfusionnelle). On l'observe également parfois par la manipulation du stéthoscope. D'après Desvergez, données personnelles non publiées.

Le cerveau humain s'est développé par l'interaction entre individus et les études en neurosciences sociales ont permis de développer le concept de synchronisation cérébrale lors d'interactions sociales. Grâce à des dispositifs d'électroencéphalographes portatifs, Dikker et al., ont pu enregistrer l'activité cérébrale d'étudiants en classe. Ils ont démontré que la synchronisation des activités électriques cérébrales des étudiants était prédictive de leur engagement dans les relations sociales et de leur capacité à se concentrer ensemble sur une même tâche(96). Une synchronisation des ondes cérébrales est requise pour 2 personnes ou plus pour soutenir une conversation, pour marcher dans la rue, produire des actes coordonnés et très certainement pour prendre en charge une situation d'urgence comme l'HPP. La performance dans un environnement à conscience situationnelle distribuée peut donc dépendre non seulement de la qualité du prélèvement de l'information mais aussi de la qualité de la synchronisation cérébrale des acteurs du soins. Le lien entre synchronie et performance fera l'objet de recherches futures.

#### Localement au CHU de Saint-Pierre de la Réunion

L'adhésion des équipes des services d'anesthésie et d'obstétrique a été très forte pour ce projet de recherche. La réalisation de cette étude a permis de promouvoir la formation par la simulation et d'associer les médecins séniors à une démarche qualitative autour d'une pathologie qui nous concerne tous.

## Conclusion

Notre étude n'a pas mis en évidence de différence de performance de gestion d'une HPP sévère en simulation médicale haute-fidélité entre des MAR Experts et Novices. Cependant, nous avons observé une différence du comportement visuel entre les groupes. Ces différences témoignent de processus cognitifs sous-jacents différents selon le niveau d'expertise.

Nous pensons que l'évaluation en simulation doit intégrer des paramètres neurocomportementaux afin d'augmenter son pouvoir de discrimination afin de ne pas confondre l'expert et le novice performant. L'analyse des facteurs humains comme la Conscience Situationnelle et la Charge Cognitive est rendue possible par des outils neuroscientifiques comme l'oculométrie ou l'électroencéphalographie. Des études complémentaires doivent être réalisées en situation réelle et particulièrement en situation d'interdisciplinarité.

La simulation en santé est un outil formidable au service de la formation des médecins. Toutefois, il faut avoir conscience des limites de son évaluation. Des recherches fondamentales doivent être conduites en pédagogie médicale pour « apprendre à apprendre ». Il est probable que l'amélioration de l'évaluation en simulation, à l'image de l'aéronautique, passera par une augmentation de la porosité entre le monde médical et d'autres domaines comme celui de la neuro-psychologie ou des sciences sociales.

L'HPP demeure un enjeu de santé publique à la Réunion, en France et dans le monde entier. L'analyse du facteur humain doit pouvoir conduire à une compréhension de la genèse des incidents et permettre une amélioration des prises en charge.

Nos travaux ont fait l'objet de communications lors des congrès de la Société Francophone de Simulation en Santé (SOFRASIMS) en 2016, de la Society in Europe for Simulation Applied to Medicine (SESAM) en 2017 et de la Société Française d'Anesthésie Réanimation (SFAR) en 2017 également.

## Bibliographie

1. CNGOF\_2014\_HPP.pdf [Internet]. [cité 31 janv 2018]. Disponible sur: [http://www.cngof.asso.fr/data/RCP/CNGOF\\_2014\\_HPP.pdf](http://www.cngof.asso.fr/data/RCP/CNGOF_2014_HPP.pdf)
2. Dupont C, Rudigoz R-C, Cortet M, Touzet S, Colin C, Rabilloud M, et al. [Frequency, causes and risk factors of postpartum haemorrhage: a population-based study in 106 French maternity units]. *J Gynecol Obstet Biol Reprod (Paris)*. mars 2014;43(3):244-53.
3. Oberg AS, Hernández-Díaz S, Frisell T, Greene MF, Almqvist C, Bateman BT. Genetic contribution to postpartum haemorrhage in Swedish population: cohort study of 466,686 births. *BMJ*. 13 août 2014;349:g4984.
4. Grobman WA, Bailit JL, Rice MM, Wapner RJ, Reddy UM, Varner MW, et al. Racial and ethnic disparities in maternal morbidity and obstetric care. *Obstet Gynecol*. juin 2015;125(6):1460-7.
5. Khan KS, Wojdyla D, Say L, Gülmezoglu AM, Van Look PFA. WHO analysis of causes of maternal death: a systematic review. *Lancet Lond Engl*. 1 avr 2006;367(9516):1066-74.
6. Alkema L, Chou D, Hogan D, Zhang S, Moller A-B, Gemmill A, et al. Global, regional, and national levels and trends in maternal mortality between 1990 and 2015, with scenario-based projections to 2030: a systematic analysis by the UN Maternal Mortality Estimation Inter-Agency Group. *Lancet Lond Engl*. 30 janv 2016;387(10017):462-74.
7. Hogan MC, Foreman KJ, Naghavi M, Ahn SY, Wang M, Makela SM, et al. Maternal mortality for 181 countries, 1980-2008: a systematic analysis of progress towards Millennium Development Goal 5. *Lancet Lond Engl*. 8 mai 2010;375(9726):1609-23.
8. Gissler M, Mohangoo AD, Blondel B, Chalmers J, Macfarlane A, Gaizauskiene A, et al. Perinatal health monitoring in Europe: results from the EURO-PERISTAT project. *Inform Health Soc Care*. mars 2010;35(2):64-79.
9. Saucedo M, Deneux-Tharaux C, Bouvier-Colle M-H, Le Comité national d'experts sur la mortalité maternelle. [Maternal mortality in France, 2007-2009]. *J Gynécologie Obstétrique Biol Reprod*. nov 2013;42(7):613-27.
10. Deneux-Tharaux C, Saucedo M. [Epidemiology of maternal mortality in France, 2010-2012]. *Gynecol Obstet Fertil Senol*. déc 2017;45(12S):S8-21.
11. Morau E, Ducloy JC, Le Roux S, Weber P, Dreyfus M. [Maternal deaths due to haemorrhage: Results from the French confidential enquiry into maternal deaths, 2010-2012]. *Gynecol Obstet Fertil Senol*. déc 2017;45(12S):S24-30.
12. Bonnet M-P, Deneux-Tharaux C, Bouvier-Colle M-H. Critical care and transfusion management in maternal deaths from postpartum haemorrhage. *Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol*. oct 2011;158(2):183-8.
13. Dupont C, Deneux-Tharaux C, Cortet M, Colin C, Touzet S, Rabilloud M, et al. [Practices for management of grave postpartum haemorrhage after vaginal delivery: a population-

- based study in 106 French maternity units]. *J Gynécologie Obstétrique Biol Reprod.* mai 2012;41(3):279-89.
14. Dupont C, Touzet S, Colin C, Deneux-Tharoux C, Rabilloud M, Clement HJ, et al. Incidence and management of postpartum haemorrhage following the dissemination of guidelines in a network of 16 maternity units in France. *Int J Obstet Anesth.* oct 2009;18(4):320-7.
  15. Piaget J. *L'équilibration des structures cognitives: problème central du développement.* Presses universitaires de France; 1975. 188 p.
  16. Derouesné C. Lev Semenovich Vygotsky (1896-1924): an introduction to the historical-cultural psychology and the development of the higher psychological processes. *Geriatr Psychol Neuropsychiatr Vieil.* 1 sept 2017;15(3):295-307.
  17. Kolb DA. *Experiential Learning: Experience as the Source of Learning and Development.* FT Press; 2014. 417 p.
  18. *simulation\_en\_sante\_-\_rapport.pdf* [Internet]. [cité 31 janv 2018]. Disponible sur: [https://www.has-sante.fr/portail/upload/docs/application/pdf/2012-01/simulation\\_en\\_sante\\_-\\_rapport.pdf](https://www.has-sante.fr/portail/upload/docs/application/pdf/2012-01/simulation_en_sante_-_rapport.pdf)
  19. Peyronie F de L. *Mémoires de L'Académie Royale de Chirurgie.* Académie Royale de Chirurgie; 1774. 560 p.
  20. Peyronie F de L. *Mémoires de L'Académie Royale de Chirurgie.* Académie Royale de Chirurgie; 1768. 422 p.
  21. Petitcolas J. Mrs. du Coudray's dummy or how to educate midwives in the 18th Century. *Rev Prat.* 31 janv 2006;56(2):226-9.
  22. Coudray AMLB du. *Abrégé de l'art des accouchements, dans lequel on donne les préceptes nécessaires pour le mettre heureusement en pratique. On y a joint plusieurs observations intéressantes sur des cas singuliers ... Par madame Le Boursier du Coudray .. chez la veuve Delaguet, imprimeur-libraire de l'Académie royale de chirurgie, rue Saint Jacques, à l'Olivier; 1759.* 262 p.
  23. Cooper JB, Taqueti VR. A brief history of the development of mannequin simulators for clinical education and training. *Postgrad Med J.* nov 2008;84(997):563-70.
  24. Abrahamson S, Denson JS, Wolf RM. Effectiveness of a simulator in training anesthesiology residents. 1969. *Qual Saf Health Care.* oct 2004;13(5):395-7.
  25. Rosen KR. The history of medical simulation. *J Crit Care.* juin 2008;23(2):157-66.
  26. Institute of Medicine (US) Committee on Quality of Health Care in America. *To Err is Human: Building a Safer Health System* [Internet]. Kohn LT, Corrigan JM, Donaldson MS, éditeurs. Washington (DC): National Academies Press (US); 2000 [cité 31 janv 2018]. Disponible sur: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK225182/>

27. Chopra V, Gesink BJ, de Jong J, Bovill JG, Spierdijk J, Brand R. Does training on an anaesthesia simulator lead to improvement in performance? *Br J Anaesth.* sept 1994;73(3):293-7.
28. Wayne DB, Didwania A, Feinglass J, Fudala MJ, Barsuk JH, McGaghie WC. Simulation-based education improves quality of care during cardiac arrest team responses at an academic teaching hospital: a case-control study. *Chest.* janv 2008;133(1):56-61.
29. Kuduvalli PM, Jervis A, Tighe SQM, Robin NM. Unanticipated difficult airway management in anaesthetised patients: a prospective study of the effect of mannequin training on management strategies and skill retention. *Anaesthesia.* avr 2008;63(4):364-9.
30. Ma IWY, Brindle ME, Ronksley PE, Lorenzetti DL, Sauve RS, Ghali WA. Use of simulation-based education to improve outcomes of central venous catheterization: a systematic review and meta-analysis. *Acad Med J Assoc Am Med Coll.* sept 2011;86(9):1137-47.
31. Ferrero NA, Bortsov AV, Arora H, Martinelli SM, Kolarczyk LM, Teeter EC, et al. Simulator training enhances resident performance in transesophageal echocardiography. *Anesthesiology.* janv 2014;120(1):149-59.
32. Bruppacher HR, Alam SK, LeBlanc VR, Latter D, Naik VN, Savoldelli GL, et al. Simulation-based training improves physicians' performance in patient care in high-stakes clinical setting of cardiac surgery. *Anesthesiology.* avr 2010;112(4):985-92.
33. Cook DA, Hatala R, Brydges R, Zendejas B, Szostek JH, Wang AT, et al. Technology-enhanced simulation for health professions education: a systematic review and meta-analysis. *JAMA.* 7 sept 2011;306(9):978-88.
34. Lorello GR, Cook DA, Johnson RL, Brydges R. Simulation-based training in anaesthesiology: a systematic review and meta-analysis. *Br J Anaesth.* févr 2014;112(2):231-45.
35. Leblanc VR. Review article: simulation in anesthesia: state of the science and looking forward. *Can J Anaesth J Can Anesth.* févr 2012;59(2):193-202.
36. Gjeraa K, Møller TP, Østergaard D. Efficacy of simulation-based trauma team training of non-technical skills. A systematic review. *Acta Anaesthesiol Scand.* août 2014;58(7):775-87.
37. Nyssen A-S, Larbuisson R, Janssens M, Pendeville P, Mayné A. A comparison of the training value of two types of anesthesia simulators: computer screen-based and mannequin-based simulators. *Anesth Analg.* juin 2002;94(6):1560-1565, table of contents.
38. Manser T, Dieckmann P, Wehner T, Ralf M. Comparison of anaesthetists' activity patterns in the operating room and during simulation. *Ergonomics.* févr 2007;50(2):246-60.
39. Weller J, Henderson R, Webster CS, Shulruf B, Torrie J, Davies E, et al. Building the evidence on simulation validity: comparison of anesthesiologists' communication patterns in real and simulated cases. *Anesthesiology.* janv 2014;120(1):142-8.

40. Green M, Tariq R, Green P. Improving Patient Safety through Simulation Training in Anesthesiology: Where Are We? *Anesthesiol Res Pract.* 2016;2016:4237523.
41. Cheng A, Auerbach M, Hunt EA, Chang TP, Pusic M, Nadkarni V, et al. Designing and conducting simulation-based research. *Pediatrics.* juin 2014;133(6):1091-101.
42. Marsch SCU, Müller C, Marquardt K, Conrad G, Tschan F, Hunziker PR. Human factors affect the quality of cardiopulmonary resuscitation in simulated cardiac arrests. *Resuscitation.* janv 2004;60(1):51-6.
43. Flin R, Patey R, Glavin R, Maran N. Anaesthetists' non-technical skills. *Br J Anaesth.* juill 2010;105(1):38-44.
44. Salmon PM, Walker GH, Ladva D, Stanton NA, Jenkins DP, Rafferty L. Measuring Situation Awareness in Command and Control: Comparison of Methods Study. In: *Proceedings of the 14th European Conference on Cognitive Ergonomics: Invent! Explore! [Internet].* New York, NY, USA: ACM; 2007 [cité 31 janv 2018]. p. 27–34. (ECCE '07). Disponible sur: <http://doi.acm.org/10.1145/1362550.1362559>
45. Endsley MR. Measurement of Situation Awareness in Dynamic Systems. *Hum Factors.* 1 mars 1995;37(1):65-84.
46. Wickens CD. Situation awareness: review of Mica Endsley's 1995 articles on situation awareness theory and measurement. *Hum Factors.* juin 2008;50(3):397-403.
47. Gaba DM, Howard SK, Small SD. Situation awareness in anesthesiology. *Hum Factors.* mars 1995;37(1):20-31.
48. Schulz CM, Endsley MR, Kochs EF, Gelb AW, Wagner KJ. Situation awareness in anesthesia: concept and research. *Anesthesiology.* mars 2013;118(3):729-42.
49. Schulz CM, Krautheim V, Hackemann A, Kreuzer M, Kochs EF, Wagner KJ. Situation awareness errors in anesthesia and critical care in 200 cases of a critical incident reporting system. *BMC Anesthesiol.* 16 janv 2016;16:4.
50. Schulz CM, Burden A, Posner KL, Mincer SL, Steadman R, Wagner KJ, et al. Frequency and Type of Situational Awareness Errors Contributing to Death and Brain Damage: A Closed Claims Analysis. *Anesthesiology.* 2017;127(2):326-37.
51. Way LW, Stewart L, Gantert W, Liu K, Lee CM, Whang K, et al. Causes and prevention of laparoscopic bile duct injuries: analysis of 252 cases from a human factors and cognitive psychology perspective. *Ann Surg.* avr 2003;237(4):460-9.
52. Jones DG, Endsley MR. Sources of situation awareness errors in aviation. *Aviat Space Environ Med.* juin 1996;67(6):507-12.
53. Conversy S, Chatty S, Gaspard-Boulin H, Vinot J-L. The Accident of Flight AF447 Rio-Paris: A Case Study for HCI Research. In: *Proceedings of the 26th Conference on L'Interaction Homme-Machine [Internet].* New York, NY, USA: ACM; 2014 [cité 31 janv 2018]. p. 60–69. (IHM '14). Disponible sur: <http://doi.acm.org/10.1145/2670444.2670459>

54. Leedal JM, Smith AF. Methodological approaches to anaesthetists' workload in the operating theatre. *Br J Anaesth.* juin 2005;94(6):702-9.
55. Hart SG, Staveland LE. Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research. In: Hancock PA, Meshkati N, éditeurs. *Advances in Psychology* [Internet]. North-Holland; 1988 [cité 31 janv 2018]. p. 139-83. (Human Mental Workload; vol. 52). Disponible sur: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0166411508623869>
56. Byrne AJ, Oliver M, Bodger O, Barnett WA, Williams D, Jones H, et al. Novel method of measuring the mental workload of anaesthetists during clinical practice. *Br J Anaesth.* déc 2010;105(6):767-71.
57. Wheelock A, Suliman A, Wharton R, Babu ED, Hull L, Vincent C, et al. The Impact of Operating Room Distractions on Stress, Workload, and Teamwork. *Ann Surg.* juin 2015;261(6):1079-84.
58. Byrne AJ, Murphy A, McIntyre O, Tweed N. The relationship between experience and mental workload in anaesthetic practice: an observational study. *Anaesthesia.* déc 2013;68(12):1266-72.
59. Davis DHJ, Oliver M, Byrne AJ. A novel method of measuring the mental workload of anaesthetists during simulated practice. *Br J Anaesth.* nov 2009;103(5):665-9.
60. Causse M, Fabre E, Giraudet L, Gonzalez M, Peysakhovich V. EEG/ERP as a Measure of Mental Workload in a Simple Piloting Task. *Procedia Manuf.* 1 janv 2015;3:5230-6.
61. Szulewski A, Howes D. Combining first-person video and gaze-tracking in medical simulation: a technical feasibility study. *ScientificWorldJournal.* 2014;2014:975752.
62. Martin C, Riou B, Vallet B. *Physiologie humaine appliquée.* Arnette; 2006. 1144 p.
63. Augustine GJ, Fitzpatrick D, Hall W, LaMantia A-S, Purves D, White L. *Neurosciences.* De Boeck Supérieur; 2015. 864 p.
64. Reingold EM, Stampe DM. Saccadic inhibition in voluntary and reflexive saccades. *J Cogn Neurosci.* 1 avr 2002;14(3):371-88.
65. Rayner K. The 35th Sir Frederick Bartlett Lecture: Eye movements and attention in reading, scene perception, and visual search. *Q J Exp Psychol.* 1 août 2009;62(8):1457-506.
66. Land M, Mennie N, Rusted J. The Roles of Vision and Eye Movements in the Control of Activities of Daily Living. *Perception.* 1 nov 1999;28(11):1311-28.
67. Tatler BW, Wade NJ, Kwan H, Findlay JM, Velichkovsky BM. Yarbus, Eye Movements, and Vision. *-Percept.* 1 avr 2010;1(1):7-27.
68. Itti L, Koch C. A saliency-based search mechanism for overt and covert shifts of visual attention. *Vision Res.* 2000;40(10-12):1489-506.

69. Hayhoe M, Ballard D. Eye movements in natural behavior. *Trends Cogn Sci.* avr 2005;9(4):188-94.
70. Awh E, Armstrong KM, Moore T. Visual and oculomotor selection: links, causes and implications for spatial attention. *Trends Cogn Sci.* mars 2006;10(3):124-30.
71. Fecteau JH, Munoz DP. Saliency, relevance, and firing: a priority map for target selection. *Trends Cogn Sci.* août 2006;10(8):382-90.
72. Duchowski AT. *Eye Tracking Methodology: Theory and Practice.* Springer; 2017. 387 p.
73. Harezlak K, Kasprowski P. Application of eye tracking in medicine: A survey, research issues and challenges. *Comput Med Imaging Graph Off J Comput Med Imaging Soc.* 30 mai 2017;
74. Lai M-L, Tsai M-J, Yang F-Y, Hsu C-Y, Liu T-C, Lee SW-Y, et al. A review of using eye-tracking technology in exploring learning from 2000 to 2012. *Educ Res Rev.* 1 déc 2013;10:90-115.
75. Moray N. *Ergonomics: Psychological mechanisms and models in ergonomics.* Taylor & Francis; 2005. 550 p.
76. Kasarskis P, Stehwien J, Hickox J, Aretz A, States U, Academy AF, et al. Comparison of expert and novice scan behaviors during vfr flight. In: *In Proceedings of the 11th International Symposium on Aviation Psychology.* 2001.
77. Law B, Atkins MS, Kirkpatrick AE, Lomax AJ. Eye Gaze Patterns Differentiate Novice and Experts in a Virtual Laparoscopic Surgery Training Environment. In: *Proceedings of the 2004 Symposium on Eye Tracking Research & Applications [Internet].* New York, NY, USA: ACM; 2004 [cité 31 janv 2018]. p. 41–48. (ETRA '04). Disponible sur: <http://doi.acm.org/10.1145/968363.968370>
78. Khan RSA, Tien G, Atkins MS, Zheng B, Panton ONM, Meneghetti AT. Analysis of eye gaze: do novice surgeons look at the same location as expert surgeons during a laparoscopic operation? *Surg Endosc.* déc 2012;26(12):3536-40.
79. Tien T, Pucher PH, Sodergren MH, Sriskandarajah K, Yang G-Z, Darzi A. Eye tracking for skills assessment and training: a systematic review. *J Surg Res.* sept 2014;191(1):169-78.
80. Kelly BS, Rainford LA, Darcy SP, Kavanagh EC, Toomey RJ. The Development of Expertise in Radiology: In Chest Radiograph Interpretation, « Expert » Search Pattern May Predate « Expert » Levels of Diagnostic Accuracy for Pneumothorax Identification. *Radiology.* 2016;280(1):252-60.
81. Schulz CM, Schneider E, Fritz L, Vockeroth J, Hapfelmeier A, Brandt T, et al. Visual attention of anaesthetists during simulated critical incidents. *Br J Anaesth.* juin 2011;106(6):807-13.
82. Schulz CM, Schneider E, Kohlbecher S, Hapfelmeier A, Heuser F, Wagner KJ, et al. The influence of anaesthetists' experience on workload, performance and visual attention during simulated critical incidents. *J Clin Monit Comput.* oct 2014;28(5):475-80.

83. Zheng B, Jiang X, Tien G, Meneghetti A, Panton ONM, Atkins MS. Workload assessment of surgeons: correlation between NASA TLX and blinks. *Surg Endosc.* oct 2012;26(10):2746-50.
84. Barzansky B. Abraham Flexner and the era of medical education reform. *Acad Med J Assoc Am Med Coll.* sept 2010;85(9 Suppl):S19-25.
85. Hodges BD, Kuper A. Theory and practice in the design and conduct of graduate medical education. *Acad Med J Assoc Am Med Coll.* janv 2012;87(1):25-33.
86. Pelaccia T, Tribby E. La pédagogie médicale est-elle une discipline ? *Pédagogie Médicale.* 12(2):121-32.
87. Pottier P, Buffenoir K, Castillo J-M, Etienne J, Richard I. La recherche en éducation médicale dans les facultés de médecine en France. Etat des lieux à partir d'une revue systématique des travaux publiés. *Pédagogie Médicale.* 16(2):91-103.
88. Klimenko A, Tigai Z, Desvergez A, Winer A, Gouyon J-B, Descoins M, et al. Proceedings of the 23rd Annual Meeting of the Society in Europe for Simulation Applied to Medicine. *Adv Simul.* 13 déc 2017;2(1):26.
89. Cheng A, Eppich W, Grant V, Sherbino J, Zendejas B, Cook DA. Debriefing for technology-enhanced simulation: a systematic review and meta-analysis. *Med Educ.* juill 2014;48(7):657-66.
90. Eppich W, Cheng A. Promoting Excellence and Reflective Learning in Simulation (PEARLS): development and rationale for a blended approach to health care simulation debriefing. *Simul Healthc J Soc Simul Healthc.* avr 2015;10(2):106-15.
91. Fioratou E, Flin R, Glavin R, Patey R. Beyond monitoring: distributed situation awareness in anaesthesia. *Br J Anaesth.* juill 2010;105(1):83-90.
92. Fioratou E, Chatzimichailidou MM, Grant S, Glavin R, Flin R, Trotter C. Beyond monitors: distributed situation awareness in anaesthesia management. *Theor Issues Ergon Sci.* 2 janv 2016;17(1):104-24.
93. Desvergez A, Winer A, Gouyon J-B, Descoins M. Anesthésistes VS Obstétriciens : Conscience situationnelle et oculométrie autour de l'HPP simulée. 2017.
94. Glavin R, Flin R. Review article: the influence of psychology and human factors on education in anesthesiology. *Can J Anaesth J Can Anesth.* févr 2012;59(2):151-8.
95. Breakey H, van Winsen RD, Dekker SWA. « Loss of situation awareness » by medical staff: reflecting on the moral and legal status of a psychological concept. *J Law Med.* mars 2015;22(3):632-7.
96. Dikker S, Wan L, Davidesco I, Kaggen L, Oostrik M, McClintock J, et al. Brain-to-Brain Synchrony Tracks Real-World Dynamic Group Interactions in the Classroom. *Curr Biol.* 8 mai 2017;27(9):1375-80.

**ANNEXES**  
**Article en cours de soumission**

# Anesthesiology

## Beyond the performance in postpartum hemorrhage high fidelity simulation: differences between students and anesthesiologists' perception of the clinical scene --Manuscript Draft--

<b>Manuscript Number:</b>	
<b>Full Title:</b>	Beyond the performance in postpartum hemorrhage high fidelity simulation: differences between students and anesthesiologists' perception of the clinical scene
<b>Article Type:</b>	Original Investigation: Education
<b>Section/Category:</b>	
<b>Corresponding Author:</b>	Médéric Descoins, Ph.D. Centre Hospitalier Universitaire de la Reunion Saint Pierre, REUNION
<b>Corresponding Author Secondary Information:</b>	
<b>Corresponding Author's Institution:</b>	Centre Hospitalier Universitaire de la Reunion
<b>Corresponding Author's Secondary Institution:</b>	
<b>First Author:</b>	Arnaud Desvergez, M.Sc., M.D.
<b>First Author Secondary Information:</b>	
<b>Order of Authors:</b>	Arnaud Desvergez, M.Sc., M.D. Arnaud Winer, M.D. Jean-Bernard Gouyon, M.D., Ph.D. Médéric Descoins, Ph.D.
<b>Order of Authors Secondary Information:</b>	
<b>Suggested Reviewers:</b>	Marie-Pierre Bonnet, MD Hôpital Tenon marie-pierre.bonnet@cch.aphp.fr  Christian M Schulz Technische Universität München, Klinikum rechts der Isar, München, Germany c.m.schulz@lrz.tum.de Expert in Situation awareness and anesthesiology  Aidan J Byrne Cardiff University, Cardiff, UK published on relationship between experience and mental workload in anaesthetic practice
<b>Opposed Reviewers:</b>	

Saint Pierre de La Réunion,

**Médéric Descoins, PhD**  
Researcher in Cognitive Neurosciences and  
Simulation in Healthcare  
Centre d'Études Périnatales de l'Océan Indien  
(CEPOI) - EA 7388  
Centre de Simulation en Santé de l'Océan Indien  
(CSSOI)  
CHU de La Réunion - Site Sud  
BP 350  
97448 Saint Pierre Cedex  
La Réunion, France  
mail: [mederic.descoins@chu-reunion.fr](mailto:mederic.descoins@chu-reunion.fr)  
Office : +262 262 359 000 poste 58752  
Cell: +262 692 948 301

15<sup>th</sup> February, 2018,

Dear Pr. Evan D. Kharasch,  
Editor-in-chief  
Anesthesiology,

We are pleased to submit an original study entitled “**Beyond the performance in postpartum hemorrhage high fidelity simulation: differences between students and anesthetists’ perception of the clinical scene**” for consideration for publication in Anesthesiology.

Postpartum hemorrhage remains the leading cause of maternal morbidity worldwide, in France and especially in overseas departments. 80% of maternal care was non-optimal with preventable deaths in nearly 80% of cases mainly originating from a lack of recognition of the initial severity.

We believe that this work is of interest to readers of the journal because our study is the first to combine direct assessment of perception with eye-tracking device, human factors (situation awareness and cognitive load) and performance of high fidelity simulated postpartum hemorrhage. The comparison of residents and experienced anesthesiologists provided very interesting results and question the use of high-fidelity simulation to certify learning and

residents' competencies and also point the need for new tools to evaluate practices. Indeed, using eye tracking devices, we identify different visual perception behavior related to expertise. However, classical tools used to assess situation awareness (SAGAT Questionnaire), cognitive load (NASA-TLX Questionnaire) and performance (behavior video-based scoring method) did not permit to distinguish performing novices from experts.

Part of this work has been presented at the meeting of French Anesthesia and Critical Care Society (SFAR) in 2017.

My co-authors and I have all contributed to and approved this manuscript before submission. We have no conflicts of interest to disclose. This manuscript has not been published previously and is not under consideration for publication by any other journal.

In the hope that you will find our efforts of interest for the scientific community, we await the response from your editorial office.

On behalf of all authors,

Yours faithfully,

Médéric Descoins

**Title:**

**Beyond the performance in postpartum hemorrhage high fidelity simulation: differences between students and anesthetists' perception of the clinical scene**

Author's information:

Arnaud Desvergez, MSc, MD <sup>1,2,3</sup>, Arnaud Winer, MD <sup>1,2,3,4</sup>, Jean-Bernard Gouyon, MD, PhD <sup>1,4</sup>, Médéric Descoins\*, PhD <sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Centre d'Études Périnatales de l'Océan Indien (EA 7388), University Hospital Saint Pierre, La Réunion, France.

<sup>2</sup> Centre de Simulation en Santé de l'Océan Indien, University Hospital Saint Pierre, La Réunion, France.

<sup>3</sup> Critical Care Unit, University Hospital Saint Pierre, La Réunion, France

<sup>4</sup> University of Reunion Island

**Corresponding Author:**

\*Médéric Descoins

Centre d'Études Périnatales de l'Océan Indien (CEPOI) — EA 7388

Centre Hospitalier Universitaire de La Réunion – Site Sud

Avenue François Mitterrand — BP 350

97448 Saint Pierre Cedex

La Réunion, FRANCE

Office: + 262 262 359 000 poste 58752

tel : +262 692 948 301

[mederic.descoins@chu-reunion.fr](mailto:mederic.descoins@chu-reunion.fr)

**Clinical trial number and registry URL:** Not applicable

**Prior Presentations:** Part of this work was presented at the meeting of French Anesthesia and Critical Care Society (SFAR) in 2017

**Acknowledgements:**

We wish to thank all the anesthesiologists and intensivists who participated in this study. We wish to thank Glenn, Clément and Camille for their contribution to the PPH simulations and Elodie Garnier for statistical support.

**Word and Element Counts:**

Abstract: 239 words; Introductions section: 451 words; Materials and Methods: 1087 words; Discussion section: 1531 words; number of Figures: 5; number of Tables: 2; number of Appendices: 3; References: 44

**Abbreviated Title (Running Head):**

Situation awareness during simulated PPH management

**Funding sources**

This study was financed by the SIMULRUN2 project from POE FEDER European research program RE0001879.

**Conflicts of interest**

No author has any conflict of interest

## Abstract

### Background

The postpartum hemorrhage is the leading cause of maternal mortality in the world. Human factors and especially situation awareness has primarily responsibility to explain suboptimal cares. Based on eye tracking and analysis of behavior in high fidelity simulation of postpartum hemorrhage management, the goal of this study is to identify perceptual and cognitive key parameters of the expertise associated with good performance.

### Methods

Two groups of fifteen anesthetists (residents and experienced anesthetists) watched the beginning of a severe simulated postpartum hemorrhage management. During this first experimental phase, situation awareness was assessed using SAGAT questionnaire and visual behavior was analyzed with eye tracking. In the continuity of the video sequence, they have to step in the PPH situation and to provide care to the patient. Performance was evaluated and self-assessed as well as cognitive load.

### Results

No statistical difference between the residents and experienced anesthetists was observed on performance of simulated PPH management, situation awareness, cognitive load or theoretical knowledge of PPH. Only results of self-assessed performance and eye-tracking data revealed that experts tended to get accurate evaluation of their performance and to monitor more the blood loss of the patient.

### Conclusions

This study has clearly shown the limits of classical assessment of performance, and also human factors based on questionnaires to identify expertise in simulated PPH care. A neuroscientific approach with new technology like eye tracking could provide new objective and more sensitive insights on human factors.

### *Keywords:*

PPH, Situation awareness, simulation in healthcare, human factor, eye tracking, perception, performance, expertise.

## 1. Introduction

1 The *postpartum* hemorrhage (PPH) is the leading cause of maternal mortality in the world (1–  
2 3). In France, 20% of maternal deaths are attributable to PPH with a large regional disparity  
3 4). The French overseas regions (as the French Antilles, French Guiana or the Reunion  
4 5 Island) are particularly impacted with prevalence up to 10 times higher. In 2013, a survey  
5 6 estimated that 80% of maternal care was non-optimal with preventable deaths in nearly 80%  
6 7 of cases (4). Improving the management of this pathology remains a public health issue.  
7 8

9 Retrospective case studies indicate a lack of recognition of the initial severity of patients and  
10 11 poor treatment choices, particularly concerning the anesthetic management of PPH  
11 12 (recognition and management of hemorrhagic shock, use of transfusion, anesthetic strategy)  
12 13 (5–7). The analysis of the human factor in anesthesia resuscitation brings a new grid of  
13 14 reading within the framework of the complex and inter-professional management of this  
14 15 serious pathology.  
15 16

17 The export of non-technical skills (8) concepts from aeronautics to anesthesia has made  
17 18 possible to identify significant cognitive impairments during incidents in our practices.  
18 19 Situational awareness (SA) is one of them (9,10). It can be schematized by a three-level linear  
19 20 cognitive process starting from the integrated relevant information gathering in a dynamic  
20 21 environment (Level 1: Perception), an understanding of the situation (Level 2:  
21 22 Comprehension) and an anticipation of the clinical evolution of this situation which allows the  
22 23 elaboration of a management's strategy (Level 3: Projection) and leads to the performance.  
23 24 The dedicated analysis of this cognitive model in anesthesia accidents (11,12) revealed its  
24 25 involvement in more than 80% of cases with a preponderance of the perception level. A lack  
25 26 of information, particularly visual, leads to increase morbi-mortality of our practices.  
26 27

28 Our eye movements in dynamic situations are closer to cognition. Since the Yarbus' study in  
28 29 1956, we know that it is a process controlled by the tasks in progress (13). The repetition of a  
29 30 correct oculomotor sequence is rewarded by dopaminergic circuits connected to visual  
30 31 attentional centers and is therefore selected by experience (14).  
31 32

33 Expertise is a determinant of visual prospecting and performance management. We know the  
33 34 primary role of prospecting behavior and visual information gathering in the model of  
34 35 situation awareness and its involvement in the generation of incidents of anesthetic  
35 36 management. We hypothesized that expert anesthetists develop specific visual behavior  
36 37  
37 38  
38 39  
39 40  
40 41  
41 42  
42 43  
43 44  
44 45  
45 46  
46 47  
47 48  
48 49  
49 50  
50 51  
51 52  
52 53  
53 54  
54 55  
55 56  
56 57  
57 58  
58 59  
59 60  
60 61  
61 62  
62 63  
63 64  
64 65

1 related to a higher level of situation awareness and performance than novices while  
2 maintaining superior cognitive reserve represented by a lower level of cognitive load.  
3

4 The objective of this study is to characterize the visual behavior of expert and novice  
5 anesthetists during a simulated severe PPH scenario and to assess levels of situation  
6 awareness, particularly perceptual, cognitive load and associated performance of simulated  
7 PPH management.  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63  
64  
65

## 2. *Materials and Methods*

### *Study design*

This prospective study utilized a combination of quantitative and qualitative quasi-experimental research methodologies extracted from data recorded during experimental eye tracking and PPH sessions of high fidelity simulation in healthcare. It was carried out from March to May 2016. This study was performed at the Centre of Perinatal Studies of the Indian Ocean located in the University Hospital of La Réunion, France.

### *Participants*

Based on cumulative practice of anesthesia, 30 anesthetists were divided into two equal groups. Novices group included residents with experience of less than 5 years and Experts group included anesthetists with more than 5 years of professional activity. All participants had normal or corrected to normal vision. After a general information session, the participants were required to review and sign a consent form that described the purpose and nature of the study. Participants were free to participate and could withdraw at any time. No incentive was given.

### *Conduct of the experiment*

The experimental procedure is presented in Figure 1.

The pretest questionnaires assessed the level of knowledge on PPH, the characterization of the anesthesia experience and previous exposure to high-fidelity simulation.

The eye-tracking procedure then proceeded for 8 minutes in a black room. They were to see the start of simulated PPH management that they will have to manage later. The rationale was to allow the participants to be fully aware of the PPH case they would have to manage during the high-fidelity simulation. The video featured a high-fidelity mannequin, a nurse and an obstetrician from delivery to the deterioration of the patient's clinical condition. Situation awareness was assessed by SAGAT questionnaire during this stage.

1 The anesthetist started the high-fidelity simulation where the video sequence was interrupted  
2 matching with the call to the anesthetist. Cognitive coherence is guaranteed by the  
3 permanence of actors, time, places and material. The surgical decision ended the scenario.  
4  
5

6 Final questionnaires provided anesthetist self-assessment and measurement of cognitive load  
7 by the NASA TLX index. An interview concluded experimentation.  
8  
9

### 10 ***Eye Tracking Paradigm***

11 We used a fixed binocular eye-tracking device (The EyeTribe APS, Copenhagen,  
12 <http://www.theeyetribe.com/>) to measure the visuo-motor behavior of the participants and  
13 extract fixation points during viewing of a simulated PPH video. Participants' heads were  
14 placed 60 cm from a 22-inch LCD monitor with a resolution of 1920 by 1080 pixels  
15 (Philips 221B Brilliance).  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23

24 An 8-minute video sequence was filmed in a fixed subjective view. It showed the 15 minutes  
25 before the anesthetists' intervention thanks to the acceleration of non-determinant parts with  
26 six sequences related to the obstetrical gestures practiced and the patients clinical worsening  
27 (delivery, PPH diagnosis, call for anesthetist, bleeding worsening, uterine revision and valve  
28 examination). As shown in Figure 2, the screenshot of the video provided clear access to the  
29 evolution of the time, patient's bleeding and vital parameters.  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36

### 37 ***Eye Tracking Data Analysis***

38 With a sampling rate of 60 Hz, 2 points spaced 100 ms apart around a dispersion area of 50  
39 pixels defined our fixation points. This experimental parameterization allowed good  
40 discrimination of objects larger than 1.20 cm, respecting the precision margins of the tracker  
41 (15).  
42  
43  
44  
45  
46  
47

48 Presentation, recording, data acquisition and definition of 17 regions of interest (ROI) were  
49 managed by the OGAMA v5.0.0 software (Open Gaze and Mouse Analyzer, Freie  
50 Universität, Berlin) (16). Figure 2 shows the distributions of the 17 ROI. The variables  
51 extracted were the number of fixations (NBF) and the fixation duration mean (FDM) for each  
52 region of interest. Missing data were computed using MCMC method. The attentional heat  
53 maps were extracted during key steps of care.  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63  
64  
65

## ***Simulation of PPH***

1  
2  
3 After watching the video clip, the anesthesiologists were asked to manage the simulated  
4 patient (high-fidelity mannequin Noëlle® 57X.100, Gaumard) with the nurse and the  
5 obstetrician. The patient suffered from a hemorrhagic shock on severe PPH with delayed  
6 management. Their acting roles were normalized. The nurse followed the instructions of the  
7 anesthetist in the order of enunciation. The obstetrician made no therapeutic decisions. He had  
8 to continue the uterine massage and tell the anesthetist the persistence of the bleeding. No  
9 more help was available. Initially the care provided during the video part was composed of  
10 moderate fluid challenge and 30 UI oxytocin injection. Each resuscitation measure undertaken  
11 by the anesthetist induced a transient corrective response on the vital parameters of the  
12 patient. These responses were standardized and triggered by the pilot. Whatever the actions  
13 provided, the trend continued to worsen. The surgery decision marked the end of the scenario.  
14 The scene was filmed for performance analysis.  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25

## **Data analysis**

26  
27  
28 All data were registered with an anonymous inclusion number, and all questionnaires were  
29 filed by participants using a PhyMyAdmin database.  
30  
31  
32

33  
34 A 16 items checklist (see Appendix 1) was developed by a medical committee using  
35 professional recommendations. A percentage of bad practice was calculated when treatment  
36 was not administered at the recommended dosage or with incorrect prescribing rules.  
37  
38  
39

40  
41 Situation awareness was measured twice with the Situation Awareness Global Assessment  
42 Technique (SAGAT) questionnaire during the eye-tracking sequence (see Appendix 2). The  
43 38-question SAGAT was achieved by an expert medical committee following the Goal  
44 Directed Task Analysis (17). The numerical responses were accurate within a 10% range  
45 around the true value. We asked to justify the answers to the yes/no questions using  
46 keywords. The score was expressed as a percentage.  
47  
48  
49  
50

51  
52  
53 NASA TLX Index allowed the anesthesiologist to self-evaluate the level of cognitive  
54 workload after having been exposed to the situation (18).  
55  
56

57  
58 Anesthetists' self-evaluation of their knowledge, simulation performance, clinical  
59 understanding and their stress were done with Likert scales.  
60  
61  
62  
63  
64  
65

## Statistical analysis

Qualitative data are presented as counts and percentages whereas numerical ones as mean and standard deviation. To test the hypothesis that Experts are the most efficient and less sensitive to the cognitive workload than novices, simulation performance, NASA TLX Index and post-test self-assessments were subjected to parametric tests between the groups. Chi-square test was used for the qualitative variables and the student T-test for the quantitative. To test the hypothesis that the Experts have a higher SA level (particularly perceptual), a two-factor ANOVA (Group: Expert vs. Novices and SA Level: 1, 2 or 3) was made on SAGAT scores. In order to test the hypothesis that an “expert gaze” was applied to the video sequences of the PPH, the oculometric variables (respectively, number of fixation number (NBF) and fixation duration mean (FDM)) were tested by ANOVAs on the two factors Groups and ROI (17 regions of interest). Post-hoc tests of Newman-Keuls have been applied to analyze significant effects. A result with  $P < 0.05$  was considered significant. All statistical analysis was computed using R v 3.3.1 software.

### 3. Results

#### *Descriptive data*

The 30 anesthetists included in this study were divided into two groups (Experts and Novices). Table 1 presents the demographic and professional characteristics of the participants. Figure 3 shows the study flow chart. 1 novice left the experimental protocol before ending.

The cumulative experience in maternity ward is significantly higher among Experts  $12.1 \pm 8.1$  years versus  $1.0 \pm 1.7$  years for Novices. Anesthetists' level of theoretical knowledge on PPH is not statistically different between the groups ( $52.4\% \pm 3.5$  of correct answers). The experts were confronted with more real PPH situation. They are 67% to have managed more than 50 cases and 27% more than 100 cases. Only 57% of the novices participated in the management of 10 to 50 cases for the most exposed ( $p < 0.05$ ).

Participating anesthetists are familiar with high fidelity simulation since 67% of Experts ( $n = 10/15$ ) and 87% of Novices ( $n = 13/15$ ) have already practiced it. However, all the novices have already practiced PPH scenario while only 2 experts already did it ( $p < 0.001$ ). None of them practiced eye-tracking experiment before.

#### **PPH Management performance**

The Experts did not show a significantly better performance than the Novices, nor in terms of the percentage of expected therapeutic actions ( $80 \pm 8.90\%$  with  $10.86 \pm 6.25\%$  of bad practices), nor in terms of simulated care duration ( $19:09 \pm 04:45$  min). Whereas novices did  $73 \pm 17.54\%$  of expected therapeutic actions including  $16.13 \pm 13.34\%$  of bad practices in  $18:15 \pm 02:44$  minutes.

#### **Oculometric data**

Overall recording, the missing data rate is 5.17%. 2958 fixation points were computed for analysis. The observation of attentional heat map showed different gaze dispersion between the experts and the novices. Figure 4 shows an example of heat map extracted during the uterine revision phase. Experts paid more attention to monitoring information. As shown in Figure 5, Experts look more often at the ROI "perineal" and look at the ROI "bloodloss" longer than novices ( $p < 0.05$ ). In addition, the most frequently watched ROIs are not those gazed the longest on average.

### ***Number of Fixation Analysis***

Analysis of the eye-tracking data revealed that Experts have 3.44% more fixating points than Novices (respectively  $n=1530$  vs.  $1428$ ,  $F_{(1, 2754)} = 14.5$ ;  $p < 0.001$ ). Specific elements of the environment (effect of the factor ROI) are more often fixated, revealing a higher interest for anesthetists ( $F_{(16, 2754)} = 155.4$ ;  $p < 0.001$ ). The 5 most frequently watched ROIs were the perineal region ( $15.8 \pm 0.6$ ), the nurse ( $10.8 \pm 0.5$ ), the patient ( $10.6 \pm 0.4$ ), the blood loss ( $9.3 \pm 0.4$ ) and heart rate ( $7.2 \pm 0.3$ ). The post-hoc analysis of the significant interaction effect between the factors Group and ROI ( $F_{(16, 2754)} = 2.22$ ;  $p = 0.003$ ) revealed that experts showed a superior interest for the perineal region. The *post-hoc* analysis of the interaction effect between the Group and ROI factors ( $F_{(16, 2754)} = 1.82$ ,  $p < 0.05$ ) only revealed that Experts fixed the perineal region significantly more often than the Novices ( $16.7 \pm 0.44$  vs.  $14.9 \pm 0.45$ ,  $p < 0.05$ ), no other ROI were statistically more observed by Experts compared to Novices.

### ***Mean Duration of the Fixation***

Anesthetists spent an average time of  $414 \pm 182$  ms (ranging in average from 780 to 153ms) by areas of interest and there is no main effect of the factor Groups was observed ( $F_{(1, 2744)} = 0.43$   $p = ns$ ). All the ROI were not fixed with the same interest ( $F_{(16, 2601)} = 70.7$   $p < 0.0001$ ). Post-hoc analysis showed that the 5 ROIs with the highest average fixation duration are blood loss ( $790 \pm 410$  ms), significantly observed longer than the perineal region ( $663 \pm 222$  ms). Without any difference between Blood pressure ( $506 \pm 258$  ms), heart rate ( $494 \pm 260$  ms) and the patient ( $461 \pm 215$  ms), these regions are significantly gazed for a longer time. The interaction between the factors Group and ROI ( $F_{(16, 2601)} = 2.18$ ,  $p < 0.05$ ) and post hoc analysis only revealed that Experts did not monitor blood loss like novices. Experts gazed significantly longer blood loss ROI than Novices ( $865$  ms  $\pm$   $439$  vs.  $717$  ms  $\pm$   $362$ ,  $p < 0.001$ ).

### ***Situation awareness assessment***

The global level of situation awareness has been evaluated with the SAGAT score at  $65 \pm 6\%$  among anesthetists. Surprisingly, Experts did not statistically reach a higher level of situation awareness ( $66 \pm 7\%$  vs.  $63 \pm 5\%$  respectively,  $p = ns$ ).

The level of situation awareness is burdened by the item comprehension (SA Level 2 =  $51 \pm 8\%$ ) which is significantly lower than perception and projection levels (SA Level 1 =  $71 \pm 11\%$  and level 3 =  $72 \pm 10\%$ ) ( $F_{(2, 81)} = 43.32$ ,  $p < 0.001$ ). This surprising result did not differ between groups.

## Post-test Anesthetist Self-assessment

### *Workload and realism of the situation:*

Anesthetists found the simulated situation realistic ( $80.1 \pm 18.4\%$ ) and immersive ( $79.5 \pm 15.1\%$ ). Because of the lack of help and the severe condition of the patient, the simulated scenario has a very high level of cognitive load. However, expertise did not protect Experts from a high level of cognitive load compared to Novices ( $74.3 \pm 11.4\%$  vs.  $76.6 \pm 11.7\%$ , respectively,  $p=ns$ ).

### *Feeling of personal competence:*

As shown in table 2, post-test self-assessment revealed a significant discrepancy between objective evaluation and subjective feelings in groups.

Experts reported a greater feeling of performance and knowledge than Novices (self-assessment of performance  $66.1 \pm 16.6$  vs.  $47.0 \pm 20.8$ ,  $p < 0.05$ , self-assessment of medical knowledge  $73.8 \pm 9$  vs.  $52.1 \pm 19.9$ ,  $p < 0.05$ ).

## *Discussion*

1  
2  
3 To our knowledge this is the first study linking a visual behavior analysis using a standardized  
4 fixed eye tracking protocol, performance and human factors in high-fidelity simulation of  
5 PPH. Our main result is the identification of an expert visual behavior characterized by an  
6 increased number of fixation points in comparison to residents. The study also shows the  
7 interest of eye tracking in assessing Situation Awareness at the perceptive level.  
8  
9

10  
11  
12 The eye-tracking protocol allowed us to analyze the visual perception objectively and to add a  
13 cognitive dimension since eye movement is a cognition-dependent process (14). Experts have  
14 developed 3.5% more fixation points than novices. This increased number of fixation is a  
15 marker of expertise in dynamic situations. This corresponds to a more frequent updating of  
16 critical data related to the clinical need. This observation is also found in aeronautic with a  
17 10% increase in the fixation points for expert pilots on landings (19). However, it has been  
18 reported in medical radiology (20) that during a chest X-ray analysis, the expertise is  
19 characterized by a reduction in the number and times of fixation. But in this particular case; a  
20 static diagnostic task, the cognitive demand is not the same as for a changing dynamic  
21 environment requiring continuous reassessment.  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31

32  
33 Fixation time is a neurophysiological driven variable. Difference as the additional 150 ms  
34 (30% of the average fixation mean) spent by experts compared to novices for evaluating the  
35 bleeding loss mean clearly different perception and cognition processes. This is a major  
36 observation because the lack of recognition and anticipation of the bleeding problem  
37 contributes to degrading the level of maternal care and creates morbi-mortality (5,7).  
38  
39

40 Evaluation of bleeding is the center of the cognitive strategy put in place by experts to  
41 monitor the dynamic of the PPH. It results in a modification of the visual behavior and a  
42 specific cognitive treatment at different levels of integration (perception, comprehension,  
43 projection and probably the performances).  
44  
45  
46  
47  
48  
49

50  
51 Their apparent interest for the perineal region raises questions. We make several assumptions.  
52 First, it can be a center bias, described in experimental human and animal studies (21). This  
53 may reflect a physiological bias to return the eyes to the center of the orbits and in our eye-  
54 tracking protocol to the center of the screen where the perineal region is located. Second,  
55 current research tends to show that experts use their peripheral vision more. Experienced  
56 endoscopists showed greater ability to detect adenomas when they looked at the central part  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63  
64  
65

1 of the screen, it is thus possible to extract information by maintaining a central position of the  
2 gaze and triggers a saccade when an unexpected event appears (22). On sports fields (23),  
3 researchers proved that expert basket players retained a better awareness of the game than  
4 novices with a hidden foveal vision attesting that the peripheral vision of the expert can  
5 support complex integrated cognitive processes. In addition, experts could have a more  
6 efficient information extraction capacity; this cognitive economy would leave more time to  
7 control gynecological procedures and can explain this center fixation tendency to the perineal  
8 region. Further studies would be needed to investigate the attractiveness of the different ROI.  
9 For example, using a different location of the ROI in the video sequences or a different point  
10 of view could add a clear ranking of the ROI in PPH management.  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18

19 It was interesting to measure how cognition “feeds” in a dynamic situation and what are the  
20 cognitive determinants of clinical sense. Indeed, the analysis of visual behavior reveals  
21 processes of inhibition of some distractors (Perineal, Nurse, Patient) which are often fixed but  
22 not long observed. While the anesthetists spend more time in extracting information on  
23 clinically relevant regions (Blood Loss, Heart Rate, Blood Pressure).  
24  
25  
26  
27  
28

29 At first reading, the study of human factors was disappointing. No difference was observed  
30 between anesthetist students and experienced professionals while the SAGAT, we have  
31 developed, was an arduous 38-questions SAGAT (including 19 perceptive, 9 understanding,  
32 10 anticipatory questions with justifications requested for yes/no questions) which was  
33 supposed to be more discriminant. The overall SAGAT score was  $65 \pm 6\%$  (experts/novices  
34 values). Compared to Stratton’s study on residents with sleep deprivation (24) it was lower.  
35 Indeed, in a traumatic resuscitation and respiratory distress simulated exercise, with a 10-  
36 question SAGAT administered at 3 minutes of simulation, they describe an average situation  
37 awareness value of 80%. In other nursing studies in simulated emergency settings, low SA  
38 scores were identified, averaging around 53% across scenarios and group (25). The apparent  
39 weakness of comprehension (SA level 2 = 51%) in our SAGAT analysis is surprising where  
40 we expected a lack of perception (SA level 1 = 71%) according to the literature (11,12). A  
41 nursing study on a hypovolemic scenario also found a low level of comprehension at 29%  
42 with 2 yes / no questions asked at random times (26). Other experimental studies tend to find  
43 perceptual failures. This weakness probably comes from the way the SAGAT questionnaire  
44 was administered. We have favored a low level of intrusion during the 8-minute video at the  
45 expense of a probable memory bias (27).  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63  
64  
65

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63  
64  
65

In addition, the expertise should have protected the experts from elevated cognitive load (28,29) and should have allowed better situation awareness (10,30). Once again, the tools described in the literature (SAGAT and NASA TLX Index) were not able to discriminate our groups whereas self-assessment allowed it. In the simulation scenario, we suppose that the delay of care generated a high cognitive load, too important for both groups limiting the discriminating capacity of the NASA TLX. Current findings suggest that physiological indices are the most sensitive means for detecting variations in cognitive load while self-reporting assessment have poor validity score ( $1.40 \pm 0.58$  in medical education vs.  $1.71 \pm 0.70$  for physiological measurements) (31). We could have added to our evaluation a physiological dimension with the measurement of the pupillary diameter which reflects adrenergic activity and cognitive load (32). Other methods such as real-time EEG show promising results with very strong discrimination power (33,34).

This study clearly showed the effect of expertise in PPH management at the perceptual level with the eye-tracking data. However, there is currently a critical lack of efficient tools to provide insight of the behavioral level and of the cognitive mechanism at work (situation awareness and cognitive load). Understanding this discrepancy is a major issue.

Evidence of the interest of simulation-based training in improving physicians' performances are clear both for initial training and for maintaining skills (35–37). A meta-analysis found an improvement in professional practices in the field of obstetric emergencies (38). Simulation-based training has become a national recommendation in France. Our pre-graduate residents are trained since the first year to manage obstetric incidents through simulation. Moreover, since 2013, all the centers in our region have adopted a unique protocol gathering the PPH management's key point in the form of a checklist with cognitive aid (see Appendix 3). It's probably for these reasons that we did not show any statistical difference in performance between Experts and Novices despite the higher variability of the Novices performance; a marker of learning processes (39).

For example, during our experimental phase, we observed the case of a novice (second year resident) with the same level of theoretical knowledge as the participants who had never participated in a real PPH management. He was just exposed to 1 PPH scenario in high fidelity simulation the month before. This novice performed the same level of performance as practitioners with clinical experience of more than 100 PPH cases. Can we imagine this undergraduate resident alone on commands for a maternity night shift? Even though the

1 evidence of the ecological validity of the simulation is growing (40,41), the issue of  
2 performance extrapolation still remains. Based on the clinical expertise we do not think that  
3 novices are competent enough but on the move to expertize. Our assessment of performance  
4 with checklist is not sufficiently discriminating. A review published in 2001 reported that the  
5 efficacy of methodologies for assessment of performance during the simulation was largely  
6 undetermined (42). Behavioral and NTS analysis suffers from the same limitations. It would  
7 even seem that adding NTS training appears not to substantively enhance simulation-based  
8 learning (36). Observational scales are used and there is still a lack of research examining  
9 performance transfers, sustainability, and direct patient outcomes (43). Even though we know  
10 that they contribute to poor performance, we cannot conclude that NTS simulation training  
11 improves the safety of the patient.  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20

21 In the present study, self-assessment of performances could be closer to a good assessment of  
22 the care capacity of our participants. It was much lower among novices (sometimes up to 20%  
23 lower). We make the assumption that this difference comes from a higher self-confidence  
24 associated with better self-efficacy of experts. Indeed considering the determinants of self-  
25 efficacy (44): clinical successes, vicarious experience, social persuasion and physiological  
26 states, experts tended to self-assess more accurately. Eventually, the accuracy of self-  
27 assessment would be a good target marker of the expertise.  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34

35 There is a need to update simulation assessment with behavioral tools.

36 It is difficult to think that a complex performance score based on behavioral data would be  
37 less efficient than self-assessments. We should be able to create such a score in the near  
38 future.  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63  
64  
65

## ***Conclusion***

Simulation assessment tools show their limits in this study in terms of sensibility and discriminating power. Practical consequences are obvious: for instance, the relevance of a certification of skills by high-fidelity simulation is questioned by this study.

The contributions of new technologies (portable Eye Tracking and EEG) to better characterization and recognition of expertise will have to be addressed.

Beyond the special case of PPH management this study suggests the need for an innovative neuroscientific approach to better understand the cognitive processes that support medical expertise in lifesaving emergencies.

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63  
64  
65

## References

1. Khan KS, Wojdyla D, Say L, Gülmezoglu AM, Van Look PFA. WHO analysis of causes of maternal death: a systematic review. *Lancet Lond Engl.* 1 avr 2006;367 (9516):1066- 74.
2. Alkema L, Chou D, Hogan D, Zhang S, Moller A-B, Gemmill A, et al. Global, regional, and national levels and trends in maternal mortality between 1990 and 2015, with scenario-based projections to 2030: a systematic analysis by the UN Maternal Mortality Estimation Inter-Agency Group. *Lancet Lond Engl.* 30 janv 2016;387 (10017):462- 74.
3. Hogan MC, Foreman KJ, Naghavi M, Ahn SY, Wang M, Makela SM, et al. Maternal mortality for 181 countries, 1980-2008: a systematic analysis of progress towards Millennium Development Goal 5. *Lancet Lond Engl.* 8 mai 2010;375(9726):1609- 23.
4. Saucedo M, Deneux-Tharaux C, Bouvier-Colle M-H, Le Comité national d'experts sur la mortalité maternelle. [Maternal mortality in France, 2007-2009]. *J Gynécologie Obstétrique Biol Reprod.* nov 2013;42(7):613- 27.
5. Bonnet M-P, Deneux-Tharaux C, Bouvier-Colle M-H. Critical care and transfusion management in maternal deaths from postpartum haemorrhage. *Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol.* oct 2011;158 (2):183- 8.
6. Bouvet C, Lehoussé T, Sentilhes L, Branger B, Granry JC. [Declarative survey about postpartum haemorrhage management by anaesthesiologists in Pays de la Loire area (France): what's the adherence to clinical practice guidelines?]. *Ann Fr Anesthésie Réanimation.* mai 2014;33(5):310- 7.
7. Dupont C, Deneux-Tharaux C, Cortet M, Colin C, Touzet S, Rabilloud M, et al. [Practices for management of grave postpartum haemorrhage after vaginal delivery: a population-based study in 106 French maternity units]. *J Gynécologie Obstétrique Biol Reprod.* mai 2012;41(3):279- 89.
8. Flin R, Patey R, Glavin R, Maran N. Anaesthetists' non-technical skills. *Br J Anaesth.* juill 2010;105 (1):38- 44.
9. Gaba DM, Howard SK, Small SD. Situation awareness in anesthesiology. *Hum Factors.* mars 1995;37 (1):20- 31.
10. Schulz CM, Endsley MR, Kochs EF, Gelb AW, Wagner KJ. Situation awareness in anesthesia: concept and research. *Anesthesiology.* mars 2013;118 (3):729- 42.
11. Schulz CM, Krautheim V, Hackemann A, Kreuzer M, Kochs EF, Wagner KJ. Situation awareness errors in anesthesia and critical care in 200 cases of a critical incident reporting system. *BMC Anesthesiol.* 16 janv 2016;16:4.
12. Schulz CM, Burden A, Posner KL, Mincer SL, Steadman R, Wagner KJ, et al. Frequency and Type of Situational Awareness Errors Contributing to Death and Brain Damage: A Closed Claims Analysis. *Anesthesiology.* 2017;127 (2):326- 37.

13. Tatler BW, Wade NJ, Kwan H, Findlay JM, Velichkovsky BM. Yarbus, Eye Movements, and Vision. *-Percept.* 1 avr 2010;1 (1):7- 27.
14. Hayhoe M, Ballard D. Eye movements in natural behavior. *Trends Cogn Sci.* avr 2005;9 (4):188- 94.
15. Ooms K, Dupont L, Lapon L, Popelka S. Accuracy and precision of fixation locations recorded with the low-cost Eye Tribe tracker in different experimental set-ups. *J Eye Mov Res [Internet].* 11 déc 2015 [cité 2 févr 2018];8(1). Disponible sur : <https://bop.unibe.ch/index.php/JEMR/article/view/2397>
16. Vosskühler A, Nordmeier V, Kuchinke L, Jacobs AM. OGAMA (Open Gaze and Mouse Analyzer): open-source software designed to analyze eye and mouse movements in slideshow study designs. *Behav Res Methods.* nov 2008;40 (4):1150- 62.
17. Jones DG, Endsley MR, Bolstad M, Estes G. The Designer's Situation Awareness Toolkit: Support for User-Centered Design. *Proc Hum Factors Ergon Soc Annu Meet.* 1 sept 2004;48(3):653- 7.
18. Hart SG, Staveland LE. Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research. In: Hancock PA, Meshkati N, éditeurs. *Advances in Psychology [Internet].* North-Holland; 1988 [cité 31 janv 2018]. p. 139- 83. (Human Mental Workload; vol. 52). Disponible sur : <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0166411508623869>
19. Kasarskis P, Stehwien J, Hickox J, Aretz A, States U, Academy AF, et al. Comparison of expert and novice scan behaviors during vfr flight. In: *In Proceedings of the 11th International Symposium on Aviation Psychology.* 2001.
20. Kelly BS, Rainford LA, Darcy SP, Kavanagh EC, Toomey RJ. The Development of Expertise in Radiology: In Chest Radiograph Interpretation, « Expert » Search Pattern May Predate « Expert » Levels of Diagnostic Accuracy for Pneumothorax Identification. *Radiology.* 2016;280 (1):252- 60.
21. Berg DJ, Boehnke SE, Marino RA, Munoz DP, Itti L. Free viewing of dynamic stimuli by humans and monkeys. *J Vis.* 19 mai 2009;9(5):19.1-15.
22. Almansa C, Shahid MW, Heckman MG, Preissler S, Wallace MB. Association between visual gaze patterns and adenoma detection rate during colonoscopy: a preliminary investigation. *Am J Gastroenterol.* juin 2011;106(6):1070- 4.
23. Ryu D, Abernethy B, Mann DL, Poolton JM, Gorman AD. The role of central and peripheral vision in expert decision making. *Perception.* 2013;42 (6):591 - 607.
24. Stratton A, Furey A, Hogan M. The effect of sleep deprivation on a resident's situational awareness in a trauma scenario. *J Orthop Trauma.* juill 2014;28 (7): e160-163.
25. Cooper S, Porter J, Peach L. Measuring situation awareness in emergency settings: a systematic review of tools and outcomes. *Open Access Emerg Med OAEM.* 18 déc 2013;6:1 - 7.

26. Cooper S, Kinsman L, Buykx P, McConnell-Henry T, Endacott R, Scholes J. Managing the deteriorating patient in a simulated environment: nursing students' knowledge, skill and situation awareness. *J Clin Nurs.* août 2010;19(15- 16):2309- 18.
27. Endsley MR, Garland DJ. *Situation Awareness Analysis and Measurement.* CRC Press; 2000. 371 p.
28. Byrne AJ, Murphy A, McIntyre O, Tweed N. The relationship between experience and mental workload in anaesthetic practice: an observational study. *Anaesthesia.* déc 2013;68 (12):1266- 72.
29. Leedal JM, Smith AF. Methodological approaches to anaesthetists' workload in the operating theater. *Br J Anaesth.* juin 2005;94(6):702- 9.
30. Randel JM, Pugh HL, Reed SK. Differences in expert and novice situation awareness in naturalistic decision making. *Int J Hum-Comput Stud.* 1 nov 1996;45 (5):579- 97.
31. Naismith LM, Cavalcanti RB. Validity of Cognitive Load Measures in Simulation-Based Training: A Systematic Review. *Acad Med J Assoc Am Med Coll.* nov 2015;90 (11 Suppl): S24-35.
32. Klingner J, Kumar R, Hanrahan P. Measuring the Task-evoked Pupillary Response with a Remote Eye Tracker. In: *Proceedings of the 2008 Symposium on Eye Tracking Research & Applications [Internet].* New York, NY, USA: ACM; 2008 [cité 8 févr 2018]. p. 69–72. (ETRA '08). Disponible sur : <http://doi.acm.org/10.1145/1344471.1344489>
33. Causse M, Fabre E, Giraudet L, Gonzalez M, Peysakhovich V. EEG/ERP as a Measure of Mental Workload in a Simple Piloting Task. *Procedia Manuf.* 1 janv 2015;3:5230- 6.
34. Yu K, Prasad I, Mir H, Thakor N, Al-Nashash H. Cognitive workload modulation through degraded visual stimuli: a single-trial EEG study. *J Neural Eng.* août 2015;12(4):046020.
35. Cook DA, Hatala R, Brydges R, Zendejas B, Szostek JH, Wang AT, et al. Technology-enhanced simulation for health professions education: a systematic review and meta-analysis. *JAMA.* 7 sept 2011;306(9):978- 88.
36. Lorello GR, Cook DA, Johnson RL, Brydges R. Simulation-based training in anaesthesiology: a systematic review and meta-analysis. *Br J Anaesth.* févr 2014;112 (2):231- 45.
37. Bruppacher HR, Alam SK, LeBlanc VR, Latter D, Naik VN, Savoldelli GL, et al. Simulation-based training improves physicians' performance in patient care in high-stakes clinical setting of cardiac surgery. *Anesthesiology.* avr 2010;112 (4):985- 92.
38. Calvert KL, McGurgan PM, Debenham EM, Gratwick FJ, Maouris P. Emergency obstetric simulation training: how do we know where we are going, if we don't know where we have been? *Aust N Z J Obstet Gynaecol.* déc 2013;53 (6):509- 16.
39. Ericsson KA. Deliberate practice and acquisition of expert performance: a general overview. *Acad Emerg Med Off J Soc Acad Emerg Med.* nov 2008;15 (11):988- 94.

- 1 40. Weller J, Henderson R, Webster CS, Shulruf B, Torrie J, Davies E, et al. Building the  
2 evidence on simulation validity: comparison of anesthesiologists' communication  
3 patterns in real and simulated cases. *Anesthesiology*. janv 2014;120 (1):142- 8.
- 4 41. Manser T, Dieckmann P, Wehner T, Rallf M. Comparison of anaesthetists' activity  
5 patterns in the operating room and during simulation. *Ergonomics*. févr 2007;50  
6 (2):246- 60.
- 7 42. Byrne AJ, Greaves JD. Assessment instruments used during anaesthetic simulation:  
8 review of published studies. *Br J Anaesth*. mars 2001;86 (3):445- 50.
- 9 43. Ross AJ, Kodate N, Anderson JE, Thomas L, Jaye P. Review of simulation studies in  
10 anaesthesia journals, 2001-2010: mapping and content analysis. *Br J Anaesth*. juill  
11 2012;109 (1):99- 109.
- 12 44. Bandura A. Self-efficacy: toward a unifying theory of behavioral change. *Psychol Rev*.  
13 mars 1977;84 (2):191- 215.

Table 1

	Total population (n=30)	Experts (n=15)	Novices (n=15)	<i>p</i>
Hospital status: % (n)				<b>&lt;0.001</b>
- Hospital practitioner	46.6% (n=14)	93.3% (n=14)	0	
- Assistant	6.6% (n=2)	6.7% (n=1)	6.7% (n=1)	
- Resident	46.6% (n=14)	0	93.3% (n=14)	
Percentage of the service workforce:	69.7% (n=30/43)	55% (n=15/27)	94% (n=15/16)	
Age (years $\mu \pm \sigma$ )	34.5 $\pm$ 8.5	41 $\pm$ 8	28 $\pm$ 2	<b>&lt;0.001</b>
Gender % (n)				0.709
- Men	60% (n=18)	53.3% (n=8)	66.6% (n=10)	
- Women	40% (n=12)	46.7% (n=7)	33.3% (n=5)	
Vision trouble % (n)	66.7% (n=20)	60% (n=9)	73% (n=11)	
Vision corrected to normal % (n)	66.7% (n=20)	60% (n=9)	73% (n=11)	0.449
Experience in simulation % (n)				
- Low-fidelity	83.3% (n=25)	66.7% (n=10)	100% (n=15)	<b>0.041</b>
- High-fidelity	76.7% (n=23)	66.7% (n=10)	86.7% (n=13)	0.390
- Including PPH	50% (n=15)	6.7% (n=2)	86.7% (n=13)	<b>&lt;0.001</b>
Experience in Eye Tracking	0	0	0	
Cumulative experience: (years $\mu \pm \sigma$ )				
- Anesthesia	8.1 $\pm$ 8.9	14.9 $\pm$ 8.0	1.3 $\pm$ 1.0	<b>&lt;0.001</b>
- Maternity ward	6.5 $\pm$ 8.1	12.1 $\pm$ 8.2	1 $\pm$ 1.7	<b>&lt;0.001</b>
- Intensive Care unit	3.5 $\pm$ 4.6	6.1 $\pm$ 5.2	0.8 $\pm$ 0.8	<b>0.001</b>
Resident: current assignment service: % (n)				
- Anesthesia			53.3% (n=8)	
- Medico-surgical ICU			40% (n=6)	
- Neurosurgical ICU			6.6% (n=1)	
Current experience in obstetrical anesthesia: % (n)				<b>0.002</b>
- Very Often	13.3% (n=4)	26.7% (n=4)	0	
- Often	56.7% (n=17)	73.3% (n=11)	40% (n=6)	
- Rarely	23.3% (n=7)	0	46.7% (n=7)	
- None	6.7% (n=2)	0	13.3% (n=2)	
Real cases of PPH managed: % (n)				<b>&lt;0.001</b>
- > 100 cases	13.3% (n=4)	26.7% (n=4)	0	
- 50 to 100 cases	20% (n=6)	40% (n=6)	0	
- 10 to 50 cases	43.3% (n=13)	26.7% (n=4)	60% (n=9)	
- < 10 cases	23.3% (n=7)	6.6% (n=1)	40% (n=6)	
Night shifts per month ( $\mu \pm \sigma$ )	4.17 $\pm$ 1.11	3.40 $\pm$ 0.63	4.93 $\pm$ 0.96	<b>&lt;0.001</b>
Patients managed per week ( $\mu \pm \sigma$ )	23.8 $\pm$ 13.2	26.8 $\pm$ 6.6	20.8 $\pm$ 17.2	0.223
Worked hours per week ( $\mu \pm \sigma$ )	49.7 $\pm$ 5.6	46.9 $\pm$ 3.2	52.6 $\pm$ 6.0	<b>0.004</b>

Table 2

	Total population (n=30)	Experts (n=15)	Novices (n=14)	<i>p</i>
PPH knowledge score (%)	52.4 ± 3.5	52.1 ± 3.4	52.7 ± 3.6	0.645
Self-assessment of knowledge level (%)	63.3 ± 18.8	73.8 ± 9.0	52.1 ± 19.9	<b>0.002</b>
SAGAT Total score (%)	66.5 ± 7.1	68.1 ± 8.6	64.8 ± 4.7	0.200
Self-assessment of the effectiveness of information taking	60.7 ± 16.5	66.7 ± 11.2	54.3 ± 19.1	<b>0.046</b>
Self-assessment of understanding of the clinical situation	71.5 ± 18.4	80.0 ± 7.3	62.4 ± 22.3	<b>0.013</b>
Simulation performance:				
- Expected practices (%)	76.9 ± 13.9	80.0 ± 8.9	73.7 ± 17.5	0.22
- Including bad practices (%)	13.4 ± 10.5	10.9 ± 6.3	11.6 ± 5.7	0.73
Simulated care duration (sec)	1123 ± 232	1149 ± 285	1095 ± 164	0.53
Self-assessment of overall management performance	56, 9 ± 20.8	66.1 ± 16.6	47.0 ± 20.8	<b>0.012</b>
Self-assessment of the performance of the resuscitation	60.8 ± 21.1	70.0 ± 14.4	51.0 ± 23.1	<b>0.015</b>
Self-assessment of commitment in care	88.6 ± 13.4	91.0 ± 7.2	86.1 ± 17.8	0.348
NASA TLX Index score (%)	74.4 ± 11.3	74.3 ± 11.4	74.6 ± 11.7	0.947
Self-assessment of perceived stress level in simulation	62.5 ± 19.8	59.2 ± 21.1	66.0 ± 18.4	0.362
Self-assessment of general fatigue level	60.4 ± 23.3	62.2 ± 28.1	58.5 ± 17.6	0.673
Self-assessment of realism level	80.1 ± 18.4	80.8 ± 21.3	79.3 ± 15.6	0.828
Self-assessment of immersion level	79.5 ± 15.1	85.2 ± 10.3	73.4 ± 13.4	<b>0.039</b>
Self-assessment of motivation level to participate in the study	81.9 ± 17.7	90.1 ± 8.5	73.1 ± 20.9	<b>0.011</b>
Self-assessment of satisfaction level	86.0 ± 21.0	87.1 ± 22.5	84.7 ± 20.1	0.762

<b>EXPECTED THERAPEUTICS ACTIONS</b>	<b><i>BAD PRACTICES</i></b>
<b>Resuscitation</b> Second IV line <input type="checkbox"/> Blood Test: blood count, hemostasis, fibrinogen <input type="checkbox"/> Fluid challenge: 500 ml crystalloid + 500ml colloid <input type="checkbox"/> Vasopressors: Ephedrine or Neosynephrine, any dosage, IV <input type="checkbox"/> Trendelenburg position <input type="checkbox"/> Oxygen therapy: any dosage <input type="checkbox"/> Total: <u>  </u> /6	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Total: <u>  </u> /6
<b>Prevention of coagulopathy</b> Antifibrinolytic: Tranexamic acid 1g on 20min <input type="checkbox"/> Fibrinogen: 3g IV <input type="checkbox"/> Calcium gluconate: 2g IV <input type="checkbox"/> Warm up: any way <input type="checkbox"/> Total: <u>  </u> /4	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Total: <u>  </u> /4
<b>Transfusion</b> Order blood product: red blood cell and frozen plasma <input type="checkbox"/> Transfuse <input type="checkbox"/> Total: <u>  </u> /2	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Total: <u>  </u> /2
<b>Uterotonic</b> Sulprostone: 500µg in 50ml on 1h <input type="checkbox"/> Total: <u>  </u> /1	<input type="checkbox"/> Total: <u>  </u> /1
<b>Antibiotics</b> Dalacine: 600mg IV <input type="checkbox"/> Total: <u>  </u> /1	<input type="checkbox"/> Total: <u>  </u> /1
<b>Generals measures</b> Call for PPH trolley <input type="checkbox"/> Call for help <input type="checkbox"/> Total: <u>  </u> /2	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Total: <u>  </u> /2
<b>TOTAL of EXPECTED ACTIONS: <u>  </u>/16</b>	<b><i>Including bad practices: <u>  </u>/16</i></b>

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63  
64  
65

## SAGAT

### 1. SAGAT 1 (After watching the video sequence)

Q1: What is the patient's current heart rate?

Q2: What was the patient's initial heart rate?

Q3: What is the patient's blood pressure?

Q4: What was the patient's initial blood pressure?

Q5: Has the patient's saturation changed since the beginning?

Q6: At this stage, what is the total blood loss?

Q7: What total dose of Syntocinon did the patient receive?

Q8: Has the uterine massage been continuous?

Q9: What is the reason for tachycardia?

Q10: How much time has passed between your call and your upcoming intervention? Q11: Did the patient respond well to Syntocinon?

*Q11.1: Specify:*

Q12: Is the vascular filling sufficient?

*Q12.1: Specify:*

Q13: Do you think that blood pressure can stabilize with the treatment started?

Q14: Do you think that the obstetrician must still perform a therapeutic procedure (excluding intrauterine balloon or surgery)?

Q15: At this stage, do you consider the vital prognosis of the patient involved?

Q16: In terms of resuscitation, do you think that there are still actions to be undertaken to stabilize your patient?

### 2. SAGAT 2 (After consultation of the anesthesia file and the blood test)

Q17: What is the patient's gesture and parity?

Q18: How much vaginal delivery did she get?

Q19: Does the patient have allergies?

*Q19.1: Specify:*

Q20: Is the current pregnancy normal?

*Q20.1: Specify:*

Q21: Does the clinical examination have any special features?

*Q21.1: Specify:*

Q22: What is the patient's blood type?

1 Q23: On the biological assessment, what is the patient's hemoglobinemia?  
2

3 Q24: On the biological assessment, what is the patient's platelet count?  
4

5 Q25: What are the risk factors for PPH presented by the patient?  
6

7 Q26: What information does the analysis of patient's hemostasis bring you?  
8

9 Q27: Why a blood test was prescribed at the consultation?  
10

11 Q28: Which blood product or blood derivative do you think you need to transfuse as soon as  
12 possible?

13 *Q28.1: Why?*

14 Q29: Do you consider it necessary to contact the blood deposit quickly?  
15

16 *Q29.1: Why?*

17 Q30: In case of clinical deterioration, if you decided to intubate this patient, would you  
18 consider this intubation difficult?  
19

20 *Q30.1: Why?*  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63  
64  
65

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63  
64  
65



# PRISE EN CHARGE REGIONALE DE L'HPP

**Heure du diagnostic**

**Modalité d'accouchement**

**Voie basse / Césarienne**

**Volume pertes sanguines :**

**Appel immédiat**

Obstétricien de garde : 5.4396  
Anesthésiste : 5.4397  
Interne gynéco : 5.4870  
IADE : 5.4167

**(1) Antibiothérapie**  
Augmentin® : 2g perfusette  
Dalacine® : 600mg dans 50ml en 20mn si allergie

**(2) SYNTOCINON®**  
3 à 10 UI en IVD puis 5 à 10 UI en IVL pendant 2 heures

**(3) 1<sup>er</sup> BILAN :**  
Vénifier groupe/RAI  
(NFS, plaq, TP, TCA, Fibrinogène, PDF, + 1 tube sec pour Test Coagulopathie, iono, calcémie ionisée)

**(4) EXACYL®**  
15 mg/Kg  
1g en IVL sur 20mn puis 1g/8H puis STOP

**(5) GLUCONATE DE CA**  
2 AMP en IVL sur 4 à 5 mn (robinet distal)

**(6) Suprostone NALADOR®**  
1<sup>er</sup> amp de 500µg dans 50ml : PSE 50ml/H  
2<sup>ème</sup> amp de 500µg dans 50ml : PSE 10ml/h  
3<sup>ème</sup> amp en fonction de l'évolution

**(7) 2<sup>ème</sup> BILAN**  
idem 1<sup>er</sup> bilan + Troponine

**(8) CLOTTAFAC®**  
2 à 3 flacons de 1,5g

**(9) NOVOSEVEN®**  
60 à 90µg/kg (que si hémostasie biologique contrôlée)

FAIT	HEURE

2<sup>ème</sup> VVP + Valve anti retour  
1<sup>er</sup> bilan urgent(3)  
EXACYL®(4)  
GLUCONATE DE CA(5)

FAIT	HEURE

O2(6)  
Trendelenburg  
Réchauffer  
Remplir  
(Ringer/serum salé iso)

FAIT	HEURE

Surveillance : 2 heures supplémentaires  
Expression utérine / vénifier tonicité

FAIT	HEURE

2<sup>ème</sup> bilan urgent (7)  
CLOTTAFAC®(8)  
Culots globulaires

FAIT	HEURE

Arrêt SYNTO®  
NALADOR®(6)  
Sur valve anti retour

FAIT	HEURE

Surveillance : 2 heures supplémentaires  
Expression utérine / vénifier tonicité

FAIT	HEURE

Maintien PAM  
Remplissage  
(Plasman/Volvamen)  
Alerte RX vasculaire  
Ou Alerte CHU :

FAIT	HEURE

Si pose : Heure :

FAIT	HEURE

Surveillance : 2 heures supplémentaires  
Expression utérine / vénifier tonicité

FAIT	HEURE

Remplissage  
Néosiméphrine, Ephédrine, Noradrénaline  
Pourtuite culots  
PFC  
Concentrés plaquettaire  
NOVOSEVEN(9)

FAIT	HEURE

Hystérectomie d'hémostasie

FAIT	HEURE

Si transfert : copie du recto et verso à remettre au centre receveur

Si embolisation	Si transfert
Remarque :	Accord SAMU ET centre receveur
LIAISON GO et MAR	
Heure départ Rx interventionnelle :	Heure décision : Heure départ : Centre receveur :

Remplissage  
Néosiméphrine, Ephédrine, Noradrénaline  
Pourtuite culots  
PFC  
Concentrés plaquettaire  
NOVOSEVEN(9)

Heure de départ au bloc : H
Chirurgie conservatrice
- Plicature, capitonnage <input type="checkbox"/>
- Ligatures vasculaires <input type="checkbox"/>

Si transfert : copie du recto et verso à remettre au centre receveur

Si embolisation	Si transfert
Remarque :	Accord SAMU ET centre receveur
LIAISON GO et MAR	
Heure départ Rx interventionnelle :	Heure décision : Heure départ : Centre receveur :

Si transfert : copie du recto et verso à remettre au centre receveur

**Numéros utiles :**  
Radio embolisateur : journée : 5.5858 / Nuit et jour férié : appel du radiologue par standard  
SAMU : 15 puis 3 puis 1 (cf. protocole appel SAMU)  
CTS : Tél. 54130 Fax : 0262.35.58.19  
GYNECO CHU NORD : 0262.90.55.34 (salle d'act)  
Demander le BIP du gynéco de garde  
MAR : Salle d'urgence : 0692.26.76.57

## ***Figures Legends***

### **Figure 1. Description of the experimental protocol**

First a pretest questionnaire is performed, it characterizes the physicians' professional experience and the medical knowledge on PPH. After instruction slides, a video clip is presented to the anesthetist for oculometry. The story began at 18:30, he received a phone call from the nurse for a PPH in progress. The PPH situation presented on the screen (upper banner) showed Noelle®, the nurse and the obstetrician during the first 15 minutes of management without the anesthetist. The standardized environment is equipped as a conventional delivery room. The severity of PPH and the actors' contemplative attitude associated with the inefficiency of the first treatments contributed to the clinical degradation of the patient. A SAGAT is performed at the end of the video. The questions concerned the hemodynamics profile, therapies already undertaken, and the complications envisaged for the patient. Then he had 40 seconds to consult the anesthesia file and 20 seconds to consult the blood test. Another SAGAT is then performed. The questions concern its HPP risk factors and its anesthetic management conditions (allergic risk, risk of difficult intubation, transfusion management). The anesthetist was then asked to manage the patient in the same simulated environment (lower band). Management must be intensive, but the situation was getting worse. The decision of hemostasis surgery marked the end of the scenario. A post-test self-assessment questionnaire and a NASA TLX Index conclude the session.

### **Figure 2. Screenshot presenting the video clip and the repartition of the region of interest.**

The two actors managed a simulated patient: the nurse on the left, the obstetrician on the right and the high-fidelity manikin in the center. Time, monitoring and quantification of bleeding were inserted on the right of the screen to improve the readability of the information and to better discriminate eye movements.

The 17 yellow boxes correspond to the previously defined ROI. "*iv*": corresponds to vascular filling fluids, "*anestnurse*": nurse anesthesiologist, "*anesthequip*": equipment of the anesthetist, "*patient*": Noelle® face, "*inject*": injection site in the perfusion, "*perineal*": perineal area, "*obst*": obstetrician, "*obsequip*": obstetrical material, "*time*": hour of the action. "*Ecgc*": heart rate curve, "*freq*": heart rate, "*pleth*": plethysmography

curve, “*sat*”: oxygen saturation of the blood, “*respcurve*”: respiratory rate curve, “*resp*”: respiratory rate, “*bBp*”: blood pressure, “*bloodloss*”: blood collection bag.

### **Figure 3. Flow chart**

30 anesthetists participated in this experimental study. 15 experts with more than 5 years of experience. 15 novices with less than 5 years of experience. 1 novice left the experimental protocol before oculometry.

### **Figure 4. Heat map during the uterine revision step**

Heat map calculated from anesthetists’ fixation points on video during the uterine revision step. The hotter the point (from blue to red), the greater the cumulative fixation time in the region of interest. Unlike the Novices (bottom), the Experts (above) showed a greater distribution of the gaze on the different elements of the scope. The interest in time and the blood collection bag appeared more important among the Experts. They paid a lot of attention to the perineal area whereas the Novices looked at Noelle’s face instead.

### **Figure 5. Graphical representation of the fixation number and fixation duration mean of Experts and Novices according to the ROI**

Presentation of the eye-tracking data by ROI according to the group (Experts or Novices). The graph on the left shows the fixation duration mean (FDM). Experts gazed on average more the ROI “bloodloss” 867ms compared to 717ms in Novices. The graph on the right shows the number of fixation (NBF). The post-hoc analysis revealed only difference between Novices and Experts on the ROI “perineal”. The experts will more often gaze this region than the novices (99 versus 89). The overlap of these curves makes it appear that the ROI most often viewed are not those which are viewed the longest.

### **Table 1. Characteristics of the participants.**

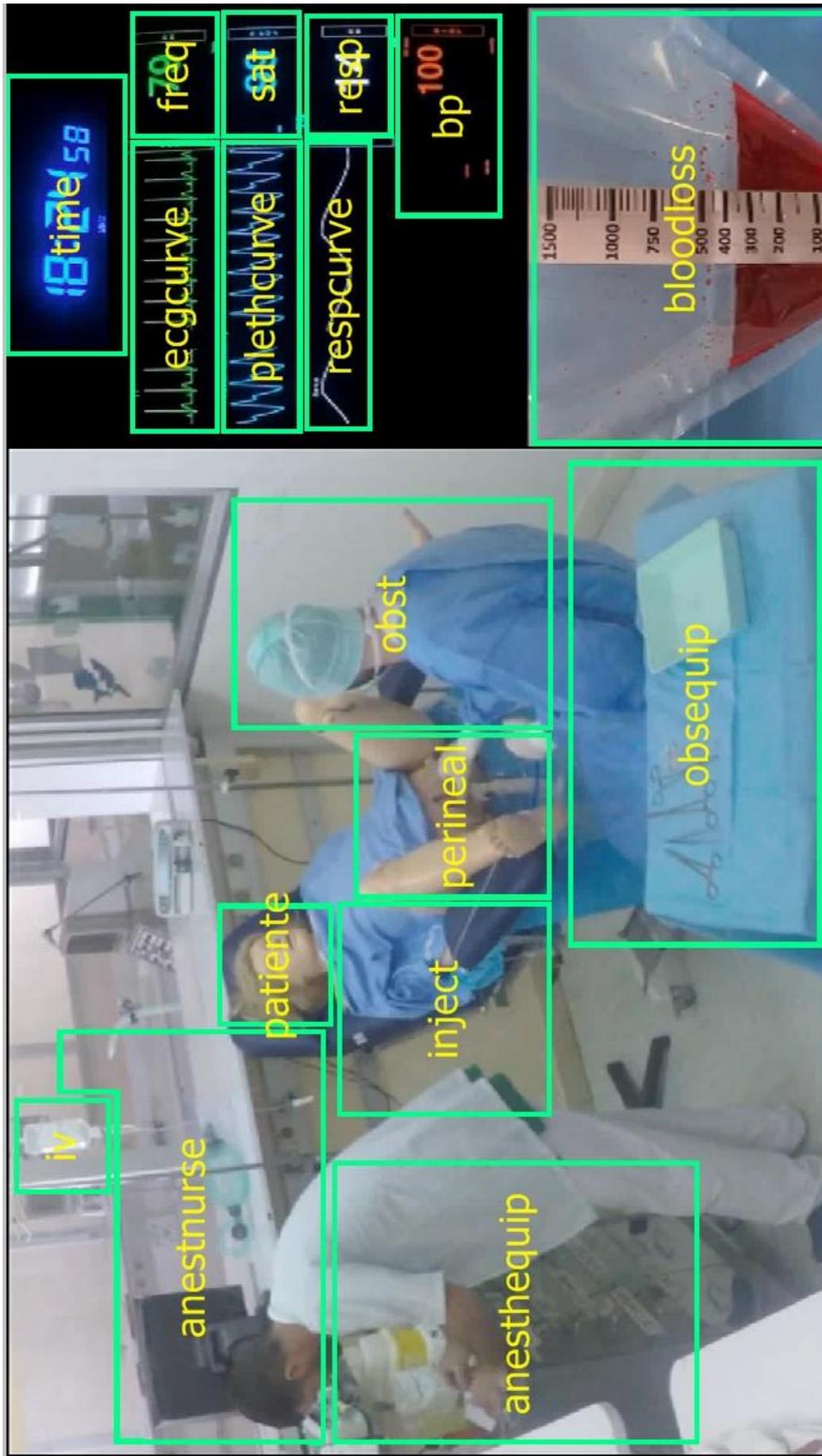
### **Table 2. PPH knowledge, PPH simulation performance and anesthetist post-test self-assessment.**

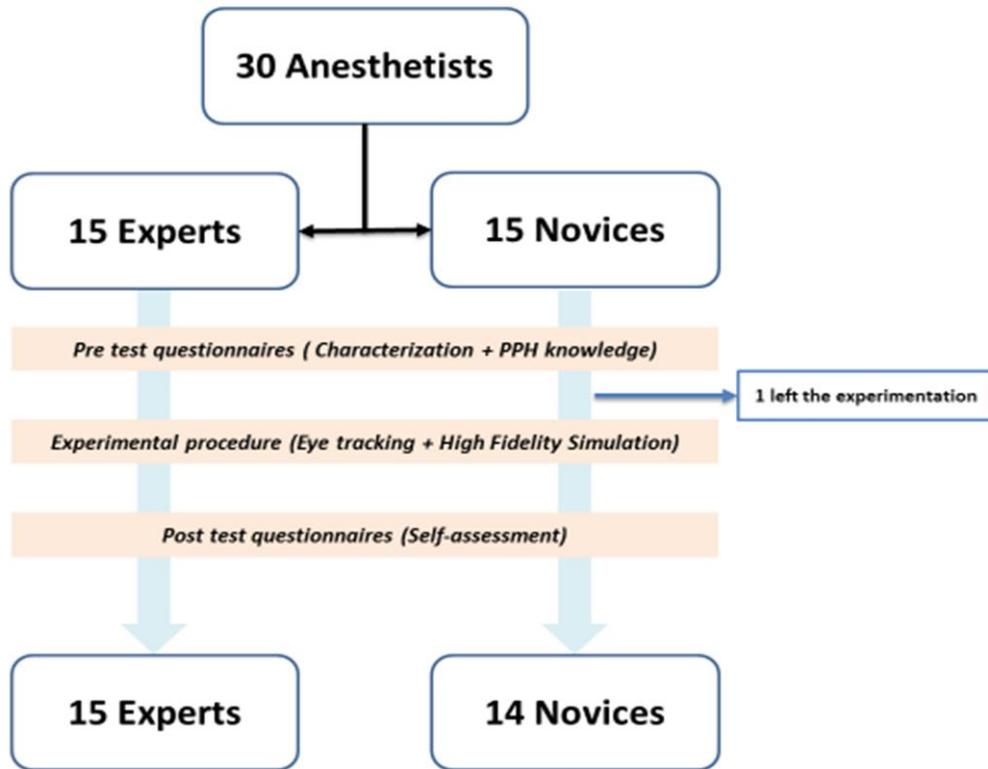
### **Appendix 1. High fidelity PPH performance management scoring items**

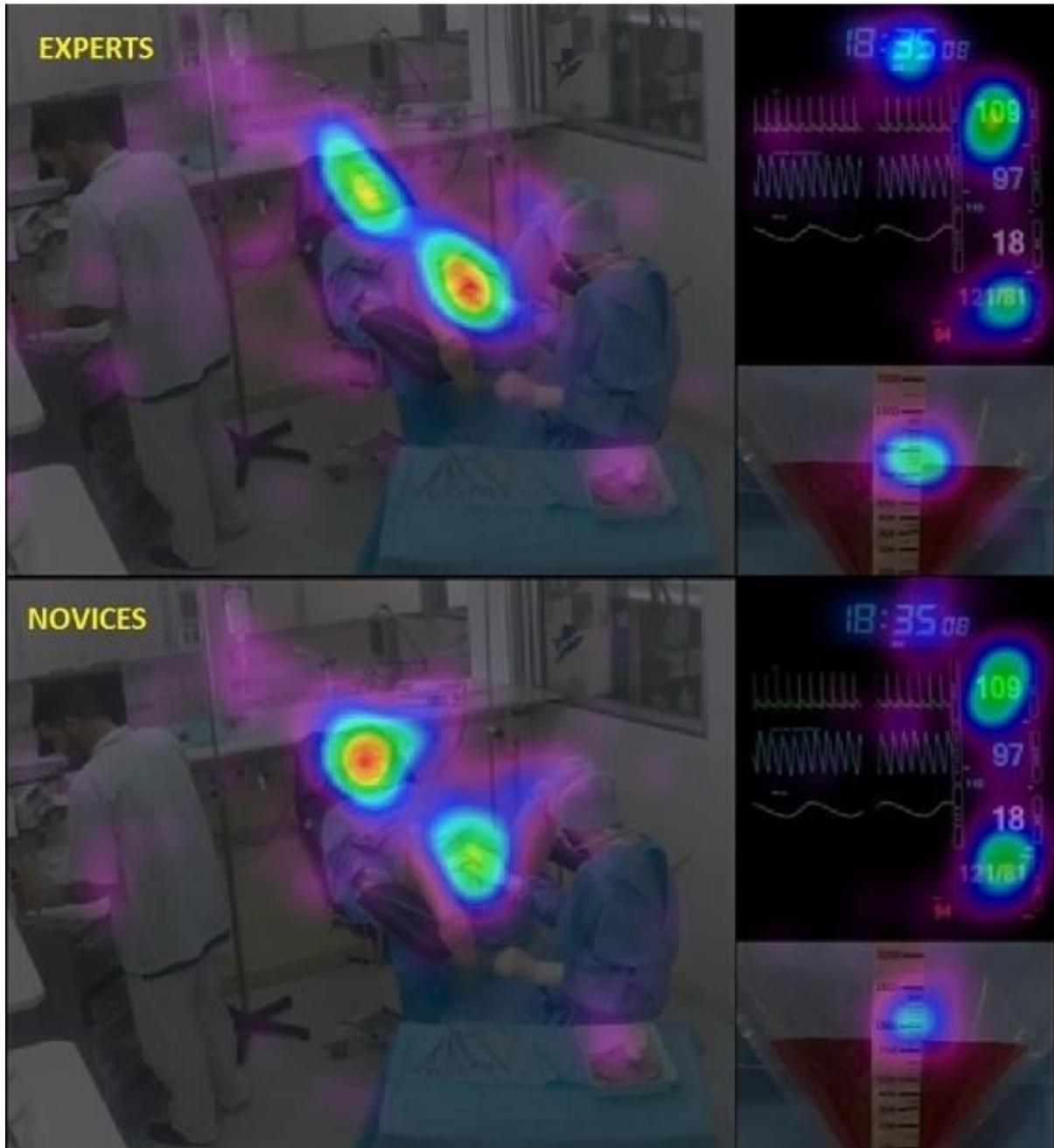
## **Appendix 2. SAGAT Questionnaire**

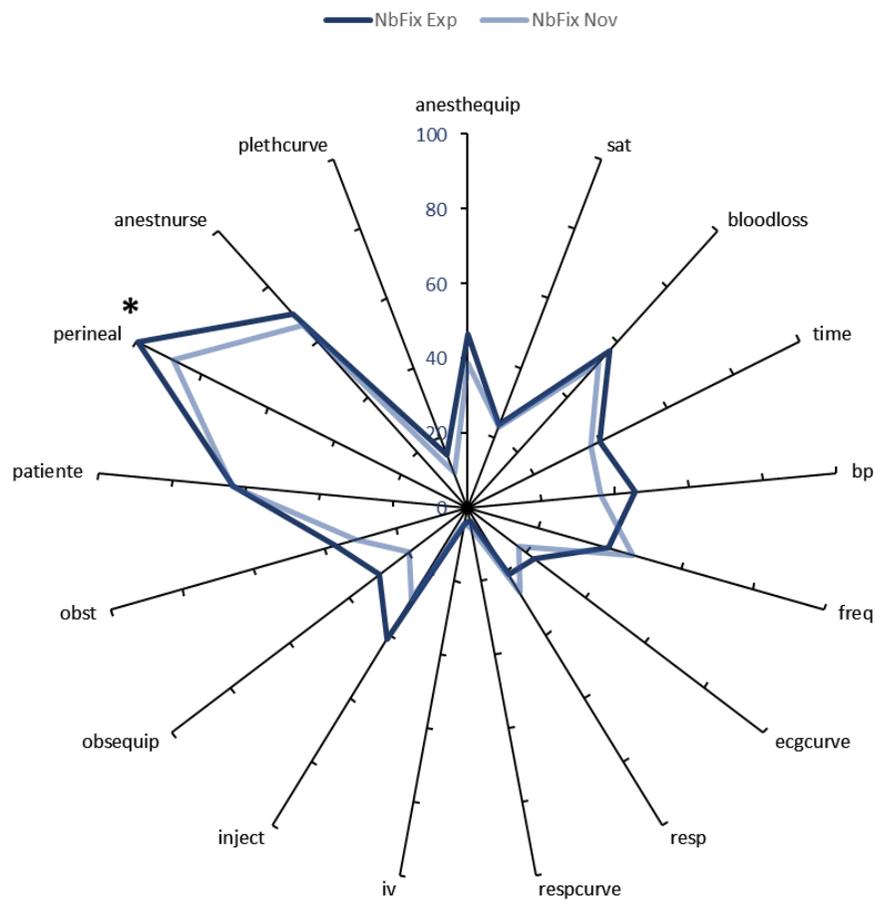
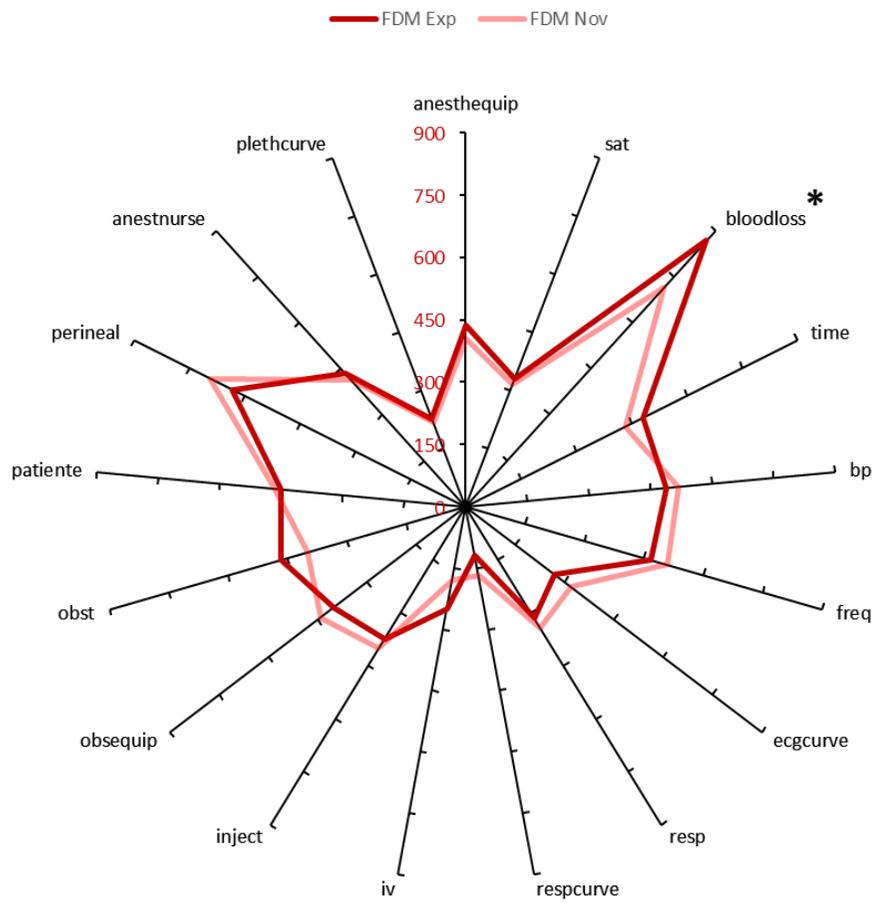
## **Appendix 3. PPH protocol applied in La Réunion**













## SERMENT D'HIPPOCRATE

Au moment d'être admis à exercer la médecine, je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité.

Mon premier souci sera de rétablir, de préserver ou de promouvoir la santé dans tous ses éléments, physiques et mentaux, individuels et sociaux.

Je respecterai toutes les personnes, leur autonomie et leur volonté, sans aucune discrimination selon leur état ou leurs convictions. J'interviendrai pour les protéger si elles sont affaiblies, vulnérables ou menacées dans leur intégrité ou leur dignité. Même sous la contrainte, je ne ferai pas usage de mes connaissances contre les lois de l'humanité.

J'informerai les patients des décisions envisagées, de leurs raisons et de leurs conséquences.

Je ne tromperai jamais leur confiance et n'exploiterai pas le pouvoir hérité des circonstances pour forcer les consciences.

Je donnerai mes soins à l'indigent et à quiconque me les demandera. Je ne me laisserai pas influencer par la soif du gain ou la recherche de la gloire.

Admis dans l'intimité des personnes, je tairai les secrets qui me seront confiés. Reçu à l'intérieur des maisons, je respecterai les secrets des foyers et ma conduite ne servira pas à corrompre les mœurs.

Je ferai tout pour soulager les souffrances. Je ne prolongerai pas abusivement les agonies. Je ne provoquerai jamais la mort délibérément.

Je préserverai l'indépendance nécessaire à l'accomplissement de ma mission. Je n'entreprendrai rien qui dépasse mes compétences. Je les entretiendrai et les perfectionnerai pour assurer au mieux les services qui me seront demandés.

J'apporterai mon aide à mes confrères ainsi qu'à leurs familles dans l'adversité.

Que les hommes et mes confrères m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses ; que je sois déshonoré(e) et méprisé(e) si j'y manque.

# Abstract

---

## Introduction

L'hémorragie du post partum (HPP) est la principale cause de mortalité maternelle dans le monde. Les facteurs humains, et plus particulièrement la conscience situationnelle, sont responsables de soins non optimaux portés aux mères. Cette étude, basée sur l'oculométrie et l'analyse comportementale en simulation haute-fidélité d'HPP, a pour objectif d'identifier les paramètres perceptifs et cognitifs relatifs à l'expertise et associés aux bonnes performances de prise en charge.

## Matériels et méthode

Deux groupes de quinze anesthésistes (Novices et Experts) ont visionné le début d'une prise en charge simulée d'HPP sévère. Au cours de cette première phase expérimentale, la conscience situationnelle était mesurée à l'aide de questionnaire SAGAT et le comportement visuel était mesuré à l'aide d'un oculomètre. Dans le prolongement de la séquence vidéo, les anesthésistes devaient intervenir dans la situation d'HPP et procurer des soins à la patiente. Les performances et la charge cognitive étaient mesurées puis auto-évaluées.

## Résultats

Nous n'avons pas observé de différences de performance de gestion de l'HPP en simulation entre les Experts et les Novices. Nous n'avons pas non plus observé de différences de niveau de conscience situationnelle, de charge cognitive ou de connaissances théoriques entre les deux groupes. Seuls les résultats des auto évaluations des performances et les données oculométriques ont montré que les Experts avaient une meilleure estime de leur performance et qu'ils portaient plus d'attention à la perte sanguine.

## Conclusions

Cette étude a démontré les limites de l'évaluation classique des performances et de celle des facteurs humains par questionnaires pour définir l'expertise lors d'un scénario d'HPP simulée. Une approche neuroscientifique, permise par des technologies comme l'oculométrie, ouvre de nouvelles perspectives de recherche et apporte un éclairage supplémentaire sur le facteur humain.

---

## Background

The postpartum hemorrhage is the leading cause of maternal mortality in the world. Human factors and especially situation awareness have primarily responsibility to explain suboptimal cares. Based on eye tracking and analysis of behavior in high fidelity simulation of postpartum hemorrhage management, the goal of this study is to identify perceptual and cognitive key parameters of the expertise associated with good performance.

## Methods

Two groups of fifteen anesthetists (Novices and Expert) watched the beginning of a severe simulated postpartum hemorrhage management. During this first experimental phase, situation awareness was assessed using SAGAT questionnaire and visual behavior was analyzed with eye tracking. In the continuity of the video sequence, they have to step in the PPH situation and to provide care to the patient. Performance was evaluated and self-assessed as well as cognitive load.

## Results

No statistical difference between the Experts and Novices groups was observed on performance of simulated PPH management, situation awareness, cognitive load or theoretical knowledge of PPH. Only results of self-assessed performance and eye tracking data revealed that Experts tended to get accurate evaluation of their performance and to monitor more the bloodloss of the patient.

## Conclusions

This study has clearly shown the limits of classical assessment of performance and also human factors based on questionnaires to identify expertise in simulated PPH care. A neuroscientific approach with new technology like eye tracking could provide new objective and more sensitive insights on human factors.

---

## Thèse de doctorat en médecine

**Spécialité :** ANESTHESIE REANIMATION

---

**Mots clés :** hémorragie du post-partum, conscience situationnelle ; simulation en santé ; facteur humain ; oculométrie ; performance ; expertise.

---

**Keywords:** Postpartum hemorrhage; situation awareness, simulation in healthcare, human factor, eye tracking; perception; performance; expertise.

---

UFR des SCIENCES MEDICALES, Université de Bordeaux

146 rue Léo Saignat, 33076 Bordeaux Cedex