

RAHMANI KOUADRI BILAL

**PRÉVENTION DE L'HYPOTENSION PEROPÉRATOIRE PAR
MACHINE LEARNING : ENJEUX D'INTÉGRATION CLINIQUE**

Sous La Direction De Mr WALLARD Alexandre Maitre De Conférence

Mémoire de Fin d'études de 2^{ème} année de Master

**Année universitaire 2024-2025, Master 2 Ingénierie de la Santé
parcours Healthcare Business & Recherche Clinique, spécialité
Healthcare Business**

Date de Soutenance : 1er juillet 2025

**Président de jury : Gorge HÉLÈNE : Maitre de Conférences et Responsable du
master Healthcare Business et Recherche Clinique**

Directeur de Mémoire : Alexandre WALLARD Maitre de Conférences

**3^{ème} membre de jury : DR Tarek SAIM Médecin anesthésiste réanimateur à
L'hôpital D'Henri Mondor**

UFR3S – Département Ingénierie et Management de la Santé - ILIS

42 rue Ambroise Paré

59120 LOOS

Remerciements

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à Monsieur Alexandre WALLARD, directeur de ce mémoire, dont la disponibilité, la rigueur méthodologique et la confiance ont guidé chacune de mes étapes de réflexion et de rédaction. Je remercie également Monsieur Malik BRAKNI, enseignant-chercheur à l'ILIS, dont les conseils pertinents ont enrichi l'analyse de ce travail.

Ma reconnaissance va aux médecins anesthésistes qui ont accepté de partager leur expérience clinique ; je remercie tout particulièrement le Dr Tarek SAÏM (Henri-Mondor), le Dr Philippe MARQUES (Saint-Joseph) et le Dr Yeckan DISLI (Henri-Mondor) pour leur accueil chaleureux et l'enrichissement qu'ils ont apporté à mon année de Field Clinical Specialist chez Edwards (nouvellement Becton Dickinson).

Je remercie aussi Alexandra Deutsch, ma responsable, pour la confiance accordée et son suivi attentif, ainsi que Liza-Mona HOCINE, Sabrina SELLAM et Philippe GUILLOU, dont le soutien sur le terrain a été précieux.

Mes remerciements s'adressent enfin à l'ensemble des enseignants, intervenants et personnels administratifs de l'ILIS : la qualité de leur encadrement a été essentielle à ma formation et à l'aboutissement de ce mémoire.

Une pensée particulière à ma mère, Mme Fatma ROUAG, dont le soutien indéfectible a porté chaque étape de ce parcours et à ma famille et à mes amis qui m'ont soutenu jusqu'à aujourd'hui.

À toutes et à tous, j'exprime ma profonde gratitude.

Sommaire et Table des matières

Remerciements	1
Sommaire et Table des matières	2
Introduction.....	1
PARTIE I REVUE DE LA LITTÉRATURE	2
CHAPITRE 1. Contexte général et enjeux du bloc opératoire	3
1. Le bloc opératoire.....	4
1.1 Le concept du bloc opératoire	4
1.1.2. Logistique au bloc opératoire : accueil patient, prise en charge, etc.....	8
1.1.3. Organisation de la prise en charge opératoire : de la pré-induction au post-opératoire.....	9
1.1.4 Le rôle de la surveillance hémodynamique : pourquoi la pression artérielle est cruciale	10
1.2. Implications médico-économiques d'une hypotension postopératoire	11
1.3. Problématique du maintien de la stabilité hémodynamique	12
1.3.1. Définition de l'hypotension peropératoire	12
1.3.2. Conséquences possibles suite à une hypotension (morbi-mortalité, complications post-opératoires)	14
CHAPITRE 2. Vulnérabilité des patients à risque et conséquences hémodynamiques	16
2.1. Incidence et prévalence des profils à risque	17
2.1.1. Statistiques en France et à l'international	17
2.1.2. Évolution démographique (vieillesse, comorbidités)	18
2.1.3. Typologie des actes chirurgicaux à risque élevé	19
2.2. Pathologies aggravantes aggravant les conséquences de l'hypotension	20
2.2.1. Exemple de l'insuffisance cardiaque.....	20
2.2.2. Autres comorbidités (diabète, insuffisance rénale, obésité)	21
2.3. Conséquences cliniques et pronostiques.....	22
2.3.1. Morbidité et mortalité associées aux épisodes hypotensifs	22
2.4 Mesures classiques de correction de l'hypotension per-opératoire	22
CHAPITRE 3. Approches innovantes pour la gestion hémodynamique : Focus sur le Machine Learning	24
3.1. Outils de monitoring avancés	25

3.1.1. Rappel des limites des méthodes traditionnelles : brassard, surveillance intermittente.....	25
3.1.2. Monitoring invasif (Swan-Ganz, PVC) et semi-invasif (FloTrac, LiDCO) et non invasif (clearsight, PVI)	26
3.1.3. Passage à l'approche prédictive et temps réel	28
3.2. Le Machine Learning en anesthésie	29
3.2.1. Principes généraux (apprentissage supervisé, non supervisé, deep learning)	29
3.2.2 Cas d'usage en anesthésie	30
3.3. Présentation de l'algorithme HPI (Hypotension Prediction Index, Edwards Lifesciences)	32
3.1.1 Bénéfices potentiels de l'Hypotension Prediction Index (HPI).....	35
3.1.2 Limites et controverses autour de l'HPI	36
PARTIE II MÉTHODOLOGIE.....	39
2.1 Approche quantitative	40
2.2 Phase qualitative	41
2.3 Limites méthodologiques.....	42
2.5 Conclusion méthodologique	43
PARTIE III RÉSULTATS	44
I. Profil des répondants.....	45
II. Pratiques actuelles face à l'hypotension.....	46
1. Causes majeures	46
2. Gestes initiaux (bolus / vasopresseur)	48
3. Choix du vasopresseur	49
4. Tests de remplissage et monitoring	50
III. Monitoring non invasif (ClearSight)	51
IV. IA prédictive (HPI).....	51
1. Taux d'adoption – perceptions.....	51
2. Difficultés et formation	52
V. Suggestions finales : ergonomie & formation	54
VI. Synthèse des résultats	55
PARTIE IV PRÉCONISATIONS.....	57
1. Intégrer HemoSphere au scope principal : un module, un capteur, un écran unique.....	58
2. Renforcer la confiance dans la fiabilité de HPI.....	65
3. Perspectives d'intégration thérapeutique et pharmacologique.....	69
CONCLUSION.....	71
BIBLIOGRAPHIE	73
Table des Figures.....	79
Table des Tableaux	79

Glossaire.....	80
Liste des abréviations	81
ANNEXES	83

Introduction

« *Dans nos hôpitaux, nous avons une obligation de moyens, non de résultat* », rappelle le Dr Yeckan DISLI, anesthésiste-réanimateur à l'hôpital Henri-Mondor : en salle d'opération, le devoir premier est donc de mobiliser tous les moyens disponibles pour assurer une perfusion d'organe suffisante. L'hypotension peropératoire demeure toutefois fréquente et délétère ; plusieurs études de cohorte montrent qu'une pression artérielle moyenne maintenue durablement sous 65 mmHg s'accompagne d'une hausse des complications cardiaques, rénales et neurologiques [15]. Ces dernières années, l'essor du *Machine Learning* a ouvert la voie à une surveillance non plus seulement descriptive mais prédictive : des algorithmes dérivés de grandes bases de signaux physiologiques dont l'*Hypotension Prediction Index* (HPI) analyse en temps réel la morphologie de l'onde de pouls pour estimer la probabilité qu'une chute tensionnelle survienne dans les minutes suivantes [59].

Des essais randomisés indiquent déjà qu'une stratégie de prise en charge guidée par un score prédictif peut réduire la durée cumulée passée en hypotension au bloc opératoire [61].

Le présent mémoire interroge donc, de manière critique, les apports et les limites de ces approches fondées sur le *Machine Learning* : dans quelle mesure les outils prédictifs peuvent-ils aider les anesthésistes-réanimateurs et les IADE à anticiper l'instabilité hémodynamique, et à améliorer la condition patient ?

PARTIE I REVUE DE LA LITTÉRATURE

CHAPITRE 1. Contexte général et enjeux du bloc opératoire

Le bloc opératoire constitue aujourd'hui l'un des environnements hospitaliers les plus techniques et les plus stratégiques : véritable carrefour des compétences chirurgicales, anesthésiques et infirmières, il concentre des exigences élevées en matière de qualité, de sécurité et d'efficacité, tout en absorbant une part substantielle des ressources humaines et budgétaires de l'établissement. Comprendre son organisation, ses acteurs clés et la logistique qui sous-tend chaque étape – de la consultation préopératoire jusqu'au réveil – est donc indispensable pour saisir les enjeux cliniques et médico-économiques qui motivent ce mémoire.

1. Le bloc opératoire

1.1 Le concept du bloc opératoire

Selon Régine BERCOT ¹ dans son rapport nommé “ Le bloc chirurgical : Diversité des pratiques et des articulations avec les autres services” de 2007, le bloc opératoire se présente comme un plateau technique à part entière, doté de son propre personnel. Il constitue un service mis à la disposition des chirurgiens et des anesthésistes pour la réalisation d'actes chirurgicaux variés. Les cadres soulignent plutôt que le bloc, avec ses ressources humaines et matérielles, a vocation à servir l'ensemble des chirurgiens de manière optimale. [1].

Le bloc opératoire présente à lui seul près de 10 à 15 % du budget des hôpitaux ce qui montre l'importance de cette structure.[8]

Il regroupe habituellement :

- Une ou plusieurs salles d'opération ;
- Une ou plusieurs salles de surveillance post-interventionnelle (SSPI) ou salles de réveil ;
- Des zones de stockage pour le matériel et les consommables ;
- Des salles réservées au personnel (salle de repos, bureaux, etc.).

¹ Régine BERCOT, sociologue française et professeure émérite à l'Université Paris 8, a mené des recherches sur l'évolution des professions médicales, notamment la féminisation de la chirurgie et les dynamiques sociales dans le secteur de la santé.

Selon les établissements, on peut y trouver également des salles d'induction (où débute l'anesthésie) et diverses salles techniques (salle de conditionnement, SAS de décartonnage...), destinées à optimiser la circulation et la préparation du matériel, [2].

Cependant nous pouvons voir qu'avec le temps les blocs opératoires deviennent de plus en plus complet afin de répondre à un plus grand nombre de spécialité à des fins de restrictions budgétaire par la constitution de blocs opératoires pluridisciplinaires de grande envergure, parfois désignés sous le nom de "plateaux médico-techniques" (PMT) [3].

Certains établissements optent pour un bloc central, où tous les patients provenant des différents services de chirurgie (digestive, orthopédique, vasculaire, etc.) convergent vers une seule et même zone opératoire. Cette configuration facilite la mise en commun des ressources (salles, équipements, personnel spécialisé) et peut améliorer la planification, puisqu'un unique bloc coordonne l'ensemble des interventions. En revanche, cette centralisation exige une logistique plus complexe pour organiser le flux de patients et optimiser l'utilisation des salles [3].

À l'opposé, on trouve le bloc pavillonnaire, dans lequel chaque spécialité (chirurgie cardiaque, orthopédie, gynécologie, etc.) dispose de son infrastructure propre. Les patients sont ainsi dirigés directement vers le pavillon correspondant à leur pathologie ou leur acte chirurgical, ce qui limite les déplacements et rend les équipes plus "spécialisées" sur un type d'intervention. Toutefois, cette approche peut entraîner une dispersion des ressources et parfois des doublons de matériel, si chaque pavillon possède des équipements similaires. En pratique, le choix entre bloc central et bloc pavillonnaire dépend du volume d'activité, de l'architecture de l'établissement et de la stratégie organisationnelle retenue. [4]

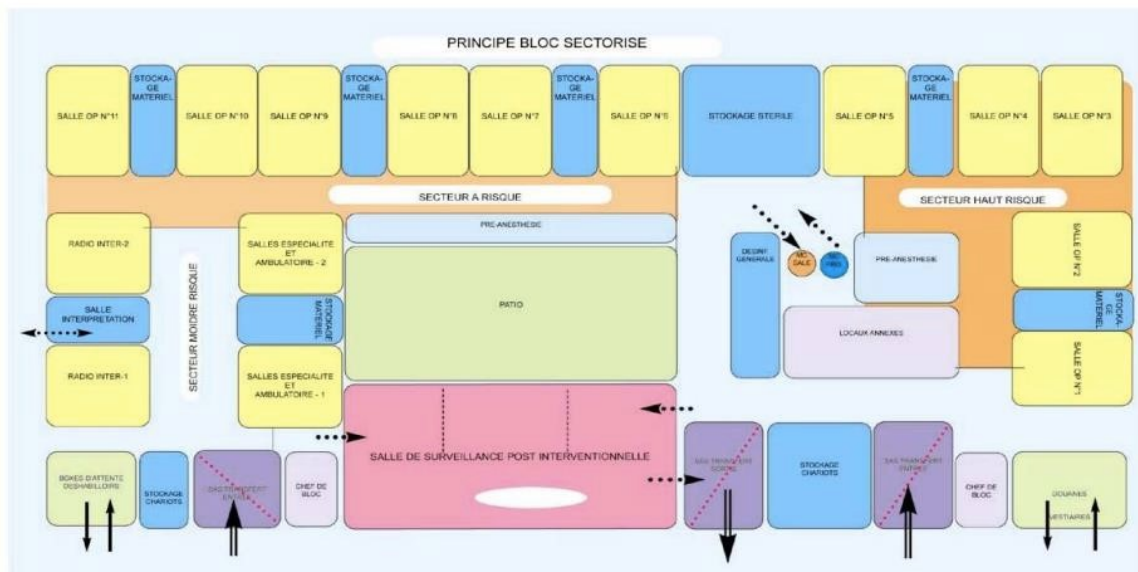


Figure 1 Plan d'un bloc opératoire centrale [1].

Le programme opératoire représente la partie la plus importante du bloc car toute l'organisation humaine, logistique, les compétences et spécialités vont s'articuler autour des différents programmes.[5]

Il est régit par L'article D.712.42 du décret n° 94 1050 du 5 décembre 1994 qui indique que « *le tableau fixant la programmation des interventions est établi conjointement par les médecins réalisant ces interventions, les médecins anesthésistes réanimateurs concernés et le responsable de l'organisation du secteur opératoire, en tenant compte notamment des impératifs d'hygiène, de sécurité et d'organisation du fonctionnement du secteur opératoire ainsi que des possibilités d'accueil en unité de surveillance post interventionnelle* ».[5]

1.1.1. Organisation et acteurs (chirurgiens, anesthésistes, infirmiers)

Au sein des blocs opératoires en France, plusieurs professionnels œuvrent ensemble pour garantir la meilleure prise en charge possible des patients. D'une part, les médecins anesthésistes, épaulés par les infirmiers anesthésistes diplômés d'État (IADE), supervisent et sécurisent la phase d'anesthésie et d'algésie lors de

l'intervention. D'autre part, le chirurgien, positionné sur le champ opératoire, est accompagné par les infirmiers de bloc opératoire diplômés d'État (IBODE).

Ces derniers assurent différentes missions :

- Le rôle de circulant, qui consiste à assurer la continuité entre la zone stérile et la zone non stérile, tout en veillant à la sécurité du patient ;
- Le rôle d'instrumentiste, en restant au plus près du chirurgien pour fournir, au moment opportun, les instruments et le matériel stérile nécessaires ;
- Le rôle d'aide opératoire, où ils soutiennent activement le praticien (hémostase, exposition du champ opératoire) ou réalisent certains gestes techniques sur demande [6],[7].

Le manager autrement appelé le cadre gère la partie de coordonner l'ensemble des ressources humaines et matérielles disponibles afin d'assurer au patient une qualité et une sécurité optimales en chirurgie et anesthésie. Son rôle consiste à déployer des actions stratégiques, adaptées à chaque situation et mises en œuvre au moment opportun, tout en utilisant de manière cohérente les moyens à sa disposition, pour instaurer un équilibre harmonieux entre la qualité des soins et la sécurité du parcours opératoire. [5]

Chaque rôle est essentiel, et une communication fluide entre les membres de l'équipe permet d'anticiper les imprévus et d'assurer une prise en charge optimale.

Le fonctionnement du bloc opératoire repose également sur une logistique de précision. Avant l'arrivée du patient, tout est planifié : les équipements sont vérifiés, les protocoles anesthésiques validés, et les règles de jeûne adaptées au patient sont respectées.

La gestion des flux de patients est également une priorité. Par exemple, l'utilisation d'outils comme des scores objectifs pour évaluer l'état du patient avant sa sortie de la salle de réveil permet une transition efficace vers la phase de récupération. Cette rigueur organisationnelle garantit que chaque intervention se déroule sans encombre, même dans des situations où les blocs opératoires sont soumis à une forte pression [3].

1.1.2. Logistique au bloc opératoire : accueil patient, prise en charge, etc.

En France, chaque patient devant être opéré doit passer par une consultation chirurgicale et une consultation anesthésique (décret n° 94-1050 du 5 décembre 1994). Une fois que le chirurgien confirme la nécessité de l'intervention et que l'anesthésiste juge le patient opérable, l'infirmière se charge de proposer une date d'hospitalisation. Cette étape implique de coordonner plusieurs contraintes logistiques :

Disponibilité du lit : Le patient étant hospitalisé la veille de l'intervention, on doit veiller à ce qu'un lit reste libre pendant toute la durée de son séjour, jusqu'à la sortie.

Créneau opératoire : L'opération doit être programmée dans un créneau horaire assez long pour couvrir la durée de l'acte chirurgical, en tenant compte de la salle d'opérations et du temps de travail disponible pour les équipes.

Fenêtre de temps : Chaque intervention est associée à une période "au plus tôt" (ex. attendre certains résultats d'analyses) et "au plus tard" (risque de dégradation si trop de retard). La date retenue doit respecter cette plage.

Disponibilité des praticiens : Chirurgiens et anesthésistes ne sont pas disponibles en continu ; ils ont des quotas d'heures ou de nombre d'interventions maximum, et des jours de repos fixés.

Contraintes du patient : Certains patients expriment des souhaits ou des contraintes (dates à éviter, préférences), qu'il est recommandé de prendre en compte pour garantir leur adhésion et préserver leur confort psychologique.

Afin de minimiser les retards ou les avances par rapport aux dates souhaitées tout en optimisant l'usage des ressources (lits, créneaux, personnel), on recourt généralement à un système d'affectation prenant en compte ces diverses restrictions.

L'objectif final demeure d'organiser la prise en charge de manière efficiente, tout en assurant la sécurité et la satisfaction du patient. [9]

1.1.3. Organisation de la prise en charge opératoire : de la pré-induction au post-opératoire

La phase de pré-induction constitue le moment où l'anxiété du patient atteint son plus haut niveau, car c'est précisément à partir de cette étape que l'acte opératoire va réellement débuter. Les études montrent d'ailleurs que le pic d'anxiété, sur l'ensemble de la période périopératoire, se situe au moment de l'induction. [10]

Lors de l'induction anesthésique, il convient d'employer des gaz anesthésiques (isoflurane, sevoflurane, desflurane, etc.) adaptés au vaporisateur utilisé et de veiller à l'évacuation adéquate des gaz résiduels, notamment par le biais d'une chambre d'induction dotée d'un système d'aspiration passif ou actif. [11]

Maintenir une pression de perfusion adéquate au moment de l'induction anesthésique est crucial pour raccourcir la durée des épisodes hypotensifs peropératoires, et cette approche contribue potentiellement à prévenir les complications périopératoire. [12]

Et débute la phase de chirurgie : les incisions peuvent être plus ou moins longues et leur tracé varie selon l'intervention. Une fois déterminée la zone à ouvrir, on dessine l'incision sur l'abdomen à l'aide d'un stylo stérile. Ensuite, l'équipe de bloc recouvre le reste du corps du patient avec des champs opératoires stériles, ne laissant à découvert que la zone où le chirurgien opère.

Si l'intervention se fait par cœlioscopie par exemple (chirurgie vidéo-assistée), de petites ouvertures sont d'abord pratiquées dans l'abdomen, afin d'y insérer des trocards (tubes qui serviront à introduire la caméra et les instruments). On insuffle ensuite du gaz carbonique pour mieux visualiser les organes internes. Là encore, l'équipe installe les champs opératoires de façon à ne laisser visible que la région à opérer. À la fin de l'intervention, le patient quitte la salle sur la même table d'opération qu'à son arrivée. Guidé par l'équipe de bloc et l'équipe anesthésique, il est conduit en salle de réveil (ou salle de soins post-interventionnels). Selon le type de chirurgie réalisée et son état clinique, il pourra être transféré directement en réanimation pour bénéficier d'une surveillance renforcée. Dans la salle de réveil, il sera d'abord suivi par un·e infirmier·e anesthésiste et un·e aide-soignante, jusqu'à ce qu'il soit suffisamment

éveillé et stable pour regagner sa chambre ou, si nécessaire, poursuivre en soins intensifs. [12]

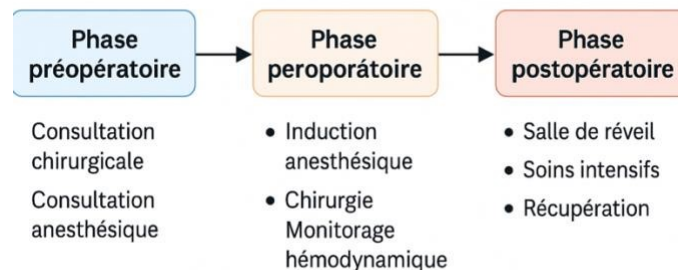


Figure 2 schéma des trois phases opératoires

1.1.4 Le rôle de la surveillance hémodynamique : pourquoi la pression artérielle est cruciale

La surveillance hémodynamique au bloc opératoire occupe un rôle majeur dans la stratégie anesthésique et chirurgicale, puisqu'elle vise à maintenir une perfusion tissulaire optimale ² et à prévenir les instabilités circulatoires susceptibles de compromettre le devenir du patient. L'hypotension peropératoire se définit comme une baisse prononcée de la pression artérielle (PA) en cours de chirurgie, au point de risquer d'entraver la perfusion tissulaire.

L'American Society of Anesthesiologists (ASA) souligne dans ses "Standards for Basic Anesthetic Monitoring" [13] que la mesure et l'évaluation de la PA à intervalles fréquents ou en continu via un cathéter artériel pour les interventions à risque constituent un préalable indispensable pour détecter rapidement tout déséquilibre. De son côté, l'European Society of Anaesthesiology and Intensive Care (ESAIC), dans un document d'opinion d'experts [14], insiste sur le fait qu'une chute marquée de la PA (ex. PAM < 60–65 mmHg) peut se répercuter directement sur la perfusion d'organes vitaux et doit faire l'objet d'une correction précoce. [14]

² Une perfusion optimale garantit que les organes et tissus reçoivent suffisamment d'oxygène et de nutriments grâce à un débit sanguin et une pression artérielle adaptés aux besoins physiologiques du patient.

Selon Sessler et al. (2019) [15], la pression artérielle est l'indicateur le plus immédiatement accessible pour juger de la perfusion, puisque même un brassard non invasif, s'il est suffisamment fréquent (idéalement < 5 minutes), alerte l'équipe soignante en cas de dérive. Lorsque la chirurgie est plus lourde ou que le patient présente des comorbidités cardiovasculaires, d'autres experts comme Fellahi et al. (2021) [14] recommandent la mesure invasive en continu, jugeant cette approche plus fiable pour la prévention des épisodes hypotensifs prolongés. Les mêmes auteurs (Fellahi et al. (2021)) rappellent que le pronostic postopératoire s'améliore notablement quand on corrige rapidement les chutes tensionnelles, réduisant ainsi le risque de complications cardiaques ou rénales. [14]

Par ailleurs, Walsh et al. (2013) [17] ont montré, à travers une large étude de cohorte, qu'une pression artérielle moyenne (PAM) maintenue < 55–60 mmHg pendant plusieurs minutes augmente sensiblement l'incidence de lésions myocardiques et d'insuffisance rénale aiguë. Ce constat, repris aussi par Kouz et al. (2020) [18], confirme que la pression artérielle n'est pas simplement "un chiffre à respecter" : elle dicte l'oxygénation tissulaire. Maintenir la PA à un seuil sûr (ex. PAM $\geq$ 65 mmHg) constitue un socle pour éviter l'hypoperfusion, mais il s'agit également d'ajuster ce seuil au patient (par exemple, un hypertendu chronique aura besoin d'une pression plus élevée que la normale).

Le consensus qui se dégage de ces publications est que la surveillance hémodynamique est un fil conducteur essentiel pour guider la pratique anesthésique. Les recommandations de l'ASA [1] et de l'ESAIC [14], reprises et détaillées par Sessler et al. [15], Fellahi et al. [14], ainsi que Walsh et al. [16] ou Kouz et al. [17], convergent vers l'idée qu'une gestion optimale de la pression artérielle est indissociable de la sécurité du patient pendant la chirurgie. Le maintien d'une tension suffisante adaptée à l'état de chacun contribue à limiter la morbi-mortalité postopératoire et confirme le rôle central de la surveillance hémodynamique en bloc opératoire.

1.2. Implications médico-économiques d'une hypotension postopératoire

Les complications peropératoires impliquent non seulement un risque accru pour la santé et la qualité de vie des patients, mais également un poids financier

considérable pour le système hospitalier. Selon une étude britannique récente de Downey, C.L de 2023, ces complications exercent un impact « significatif et durable » sur le bien-être du patient, avec une diminution mesurable de la qualité de vie jusqu'à douze mois après la chirurgie abdominale majeure ; les pertes en QALY (*Quality-Adjusted Life Years*) s'avèrent d'autant plus importantes que la gravité de l'événement augmente [18]. Sur le plan économique, une analyse menée aux États-Unis, à partir des bases de données Medicare, a montré que les patients subissant des complications restent hospitalisés près de trois fois plus longtemps (12,4 jours vs 3,95 jours) et génèrent un surcoût dépassant le double pour l'établissement (en moyenne 39 357 \$ contre 16 158 \$ pour un séjour sans complication) [19].

Ces dépenses supplémentaires ne se limitent pas aux soins intensifs ou à l'imagerie complémentaire : elles englobent également la réopération éventuelle, l'augmentation des besoins en ressources humaines spécialisées et la prise en charge d'un éventuel handicap à la sortie. Dans ce contexte, la prévention et la réduction des complications périopératoires ne relèvent pas seulement d'un impératif de sécurité et de qualité des soins : elles constituent aussi un moyen primordial de limiter la progression des coûts tout en préservant, à long terme, la qualité de vie des patients concernés.

1.3. Problématique du maintien de la stabilité hémodynamique

1.3.1. Définition de l'hypotension peropératoire

L'hypotension peropératoire se définit comme une baisse prononcée de la pression artérielle (PA) en cours de chirurgie, au point de risquer d'entraver la perfusion tissulaire.

Selon Bijker et al. (2007), il n'existe pas de consensus unanime à ce sujet : leur revue de la littérature recense plus de quarante définitions différentes de l'hypotension intraopératoire, dont certaines se fondent sur des valeurs absolues (ex. pression artérielle moyenne (PAM) < 65 mmHg, systolique < 80 mmHg), et d'autres sur une baisse relative de 20 % ou 30 % par rapport au niveau de base [20].

De plus, Weinberg et al. (2022) constatent que cette disparité se maintient dans les études récentes, compliquant la comparaison des taux d'incidence et des conclusions cliniques [21].

D'après l'analyse multicentrique de Vernooji et al. (2021), l'incidence de l'hypotension peropératoire varie largement selon le seuil adopté : dans leur cohorte, lorsque l'on retient une PAM < 65 mmHg, le taux d'hypotension atteint environ 48 %, tandis qu'avec une baisse ≥ 20 % par rapport à la ligne de base, on aboutit à des chiffres dépassant 70 % [22]. Les auteurs insistent sur le fait que la définition influe considérablement sur la « fréquence rapportée » de cet événement et, par conséquent, sur la perception même de l'ampleur du phénomène [20] [21] [22].

Sur le plan physiologique, Kouz et al. (2020) rappellent que les agents anesthésiques réduisent la pression artérielle via une vasodilatation périphérique et/ou une dépression myocardique ; ainsi, la réserve d'autorégulation des organes peut facilement être dépassée en cas de PAM trop basse ou si la chute tensionnelle se prolonge [17]. Cela dépend également du terrain du patient : Albaladejo souligne par exemple qu'un hypertendu chronique se retrouve plus vite en situation d'hypoperfusion, car sa courbe d'autorégulation est décalée vers des valeurs plus hautes [23].

En pratique, Bijker et al. (2009) proposent de considérer un seuil de PAM < 60 ou < 65 mmHg comme un repère d'intervention, puisqu'il s'agit d'un niveau couramment associé à un risque accru d'ischémie d'organe³ [24]. Dans le même esprit, Wesselink et al. (2018) et Lonjaret et al. (2014) suggèrent qu'il est pertinent de documenter la durée de l'hypotension, car même un seuil de PAM < 65 mmHg peut être toléré sur un laps de temps très court, alors qu'un maintien prolongé à ce niveau entraîne une majoration du risque de complications (cardiaques, rénales, cérébrales) [26].

Au-delà de ces chiffres, le point essentiel demeure la préservation d'une perfusion tissulaire suffisante. Albaladejo rappelle qu'il faut individualiser la prise en charge : chez un patient relativement jeune et sans comorbidités, une légère baisse en dessous de 65 mmHg peut être sans effet délétère immédiat, tandis qu'un malade coronarien ou un insuffisant rénal ne tolérera pas la même marge [23].

Les lignes directrices récentes encouragent donc une surveillance étroite et la correction précoce des chutes tensionnelles, qu'elles soient définies par un seuil

³ Manque d'irrigation sanguine vers les organes

absolu (ex. < 65 mmHg) ou relatif (baisse de 20 % par rapport à la pression de base) [21],[22].

L'hypotension peropératoire peut être décrite comme une pression artérielle trop basse pour garantir un débit sanguin adéquat vers les organes pendant la chirurgie. Les études divergent quant à la valeur-choc (absolue vs relative), mais une PAM < 65 mmHg demeure un repère de référence fréquent dans la pratique clinique. La durée de l'épisode hypotensif joue également un rôle crucial, et la tolérance varie d'un patient à l'autre. Il en ressort que la définition de l'hypotension peropératoire doit tenir compte des spécificités individuelles et que la priorité reste de prévenir l'hypoperfusion (et ses conséquences ischémiques), sans se limiter à un unique seuil valable pour tous.

1.3.2. Conséquences possibles suite à une hypotension (morbimortalité, complications post-opératoires)

Les épisodes hypotensifs peropératoires ont longtemps été considérés comme de simples variations hémodynamiques transitoires. Cependant, la littérature récente souligne qu'une baisse notable de la pression artérielle durant l'anesthésie peut avoir des répercussions directes sur la morbidité et la mortalité postopératoires. Parmi les conséquences les plus étudiées, l'atteinte rénale aiguë (Acute Kidney Injury, AKI) occupe une place importante.

Selon Abelha et al. (2009) [27], l'hypotension peropératoire se classe parmi les principaux déterminants de l'insuffisance rénale aiguë chez les patients opérés. Dans leur étude, menée sur une cohorte de patients non cardiaques, ils montrent qu'une chute prolongée de la pression artérielle augmente significativement le risque de dysfonction rénale postopératoire. Ce constat rejoint les travaux de Chertow et al. (2005) [28], qui estiment que l'AKI survient chez environ 7 % des patients hospitalisés et 7,5 % de ceux subissant une chirurgie non cardiaque. Ces auteurs rappellent également que l'épisode d'AKI entraîne une hausse marquée de la mortalité, prolonge la durée d'hospitalisation et alourdit les coûts.

La physiopathologie tient en grande partie au fait que l'hypotension diminue la perfusion des reins : en dessous d'un certain seuil de PAM, la chute peut provoquer des lésions rénales aiguës. Cette ischémie rénale, même brève, impacte fortement le pronostic : Chertow et al. (2005) [28] rapportent une augmentation de la durée de séjour et une élévation significative des dépenses hospitalières chez les patients ayant présenté une AKI. Au-delà de l'atteinte rénale, d'autres organes comme le cœur ou le cerveau subissent aussi l'insuffisance de perfusion, favorisant l'apparition d'événements ischémiques (infarctus myocardique, accident vasculaire cérébral) et corrélant à une hausse de la mortalité postopératoire.

L'hypotension peropératoire n'est pas un phénomène anodin, d'autant plus chez les patients à risque ou porteurs de comorbidités. Détecter et corriger rapidement toute chute importante de la pression artérielle se révèle crucial pour réduire les conséquences cliniques néfastes, qu'il s'agisse d'une insuffisance rénale aiguë ou d'autres complications graves pouvant prolonger la durée de séjour et augmenter la mortalité.

La compréhension de l'organisation, des contraintes logistiques et des impératifs médico-économiques du bloc opératoire éclaire la responsabilité fondamentale qui pèse sur l'équipe anesthésique : garantir, à chaque instant, une perfusion tissulaire suffisante. Dès lors, la question n'est plus seulement de savoir comment le bloc est structuré, mais quels patients y sont particulièrement vulnérables et quelles défaillances hémodynamiques entraînent les conséquences cliniques les plus graves. Le chapitre II prolonge logiquement cette réflexion : il dresse le panorama épidémiologique des profils à risque, analyse les pathologies susceptibles d'amplifier l'hypotension peropératoire et en détaille les répercussions pronostiques (morbidity, mortalité, coûts et prolongation de séjour). En passant du cadre organisationnel à l'examen des déterminants physiopathologiques et cliniques

CHAPITRE 2. Vulnérabilité des patients à risque et conséquences hémodynamiques

Dans ce chapitre, nous explorons d'abord l'incidence et la prévalence des profils de patients à haut risque de complications peropératoires. Ce contexte démographique permet de comprendre pourquoi la part de la population âgée, et souvent porteuse de multiples pathologies, s'accroît d'année en année. Après avoir détaillé les statistiques en France et à l'international, nous mettrons en avant l'évolution qui voit la hausse des comorbidités (notamment chez les seniors). Nous aborderons ensuite les actes chirurgicaux considérés à risque élevé d'instabilité hémodynamique. Enfin, nous consacrerons la seconde partie à quatre grandes pathologies l'insuffisance cardiaque, diabète, insuffisance rénale et obésité, qui amplifient la vulnérabilité à l'hypotension peropératoire. Ces comorbidités modifient la régulation cardio-vasculaire et la tolérance des patients aux agents anesthésiques, ce qui se traduit par des épisodes hypotensifs plus sévères et plus délétères.

2.1. Incidence et prévalence des profils à risque

2.1.1. Statistiques en France et à l'international

Selon l'Institut national de la statistique et des études économiques (INSEE), la population française est estimée à environ 60,4 millions d'habitants à l'horizon 2024 : cette projection repose sur les tendances démographiques publiées dans leur rapport de prospective [29]. L'INSEE explique que la natalité reste relativement stable, pendant que la mortalité recule, ce qui entraîne une croissance régulière de la population. En parallèle, l'espérance de vie a progressé ces dernières décennies : on l'estime à 85 ans pour les femmes et 79 ans pour les hommes, même si d'autres sources, comme le Centre d'observation de la société, avancent des chiffres proches (85,2 et 79,3 ans en 2022) [29].

Sur le plan mondial, l'Organisation mondiale de la Santé (OMS) anticipe qu'il y aura plus de 1,4 milliard de personnes âgées de 60 ans ou plus d'ici 2030, contre 900 millions en 2015 [31]. Cette transition démographique touche avant tout les pays à revenu élevé ou intermédiaire (États-Unis, Allemagne, Japon...), où la proportion de seniors continue d'augmenter. Lee et al. (2023) notent également que le processus de vieillissement progresse désormais plus rapidement dans certains pays émergents comme la Chine [32].

2.1.2. Évolution démographique (vieillesse, comorbidités)

Comme dans la plupart des pays développés, la France connaît un vieillissement démographique notable, dû à divers facteurs : amélioration de la qualité de vie, accès facilités aux soins, et progrès médicaux [33]. Selon Dumont (2024), l'espérance de vie des personnes âgées a augmenté au fil des années, améliorant leur taux de survie et leur nombre [33]. Cette hausse se traduit par une proportion plus importante de seniors, dont beaucoup présentent des comorbidités multiples (hypertension, diabète, cardiopathies, etc.). En effet, à mesure que la population vieillit, les maladies chroniques deviennent plus fréquentes [24].

Concrètement, Dumont (2024) souligne que la démographie française est marquée par une progression constante de l'espérance de vie, bien que la hausse puisse montrer quelques variations annuelles [33]. Dans ce contexte, l'incidence des pathologies associées au grand âge (cardiopathies, insuffisance rénale chronique, diabète, etc.) s'accroît, faisant émerger un profil à haut risque chirurgical. Fellahi et al. (2021) insistent sur le fait que la coexistence de plusieurs affections renforce la fragilité hémodynamique, en particulier face aux stress anesthésiques [14].

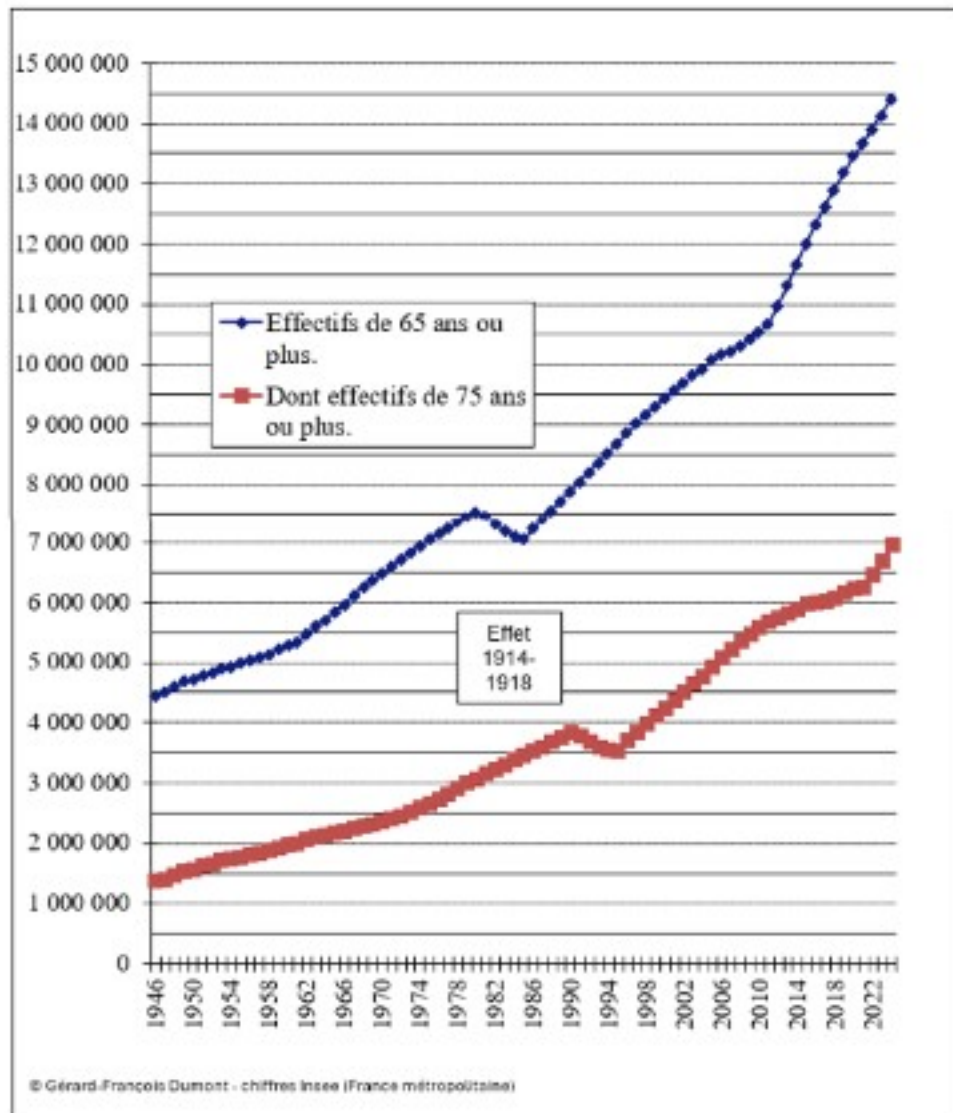


Figure 3 Les effectifs de 65 ans ou plus en France : une « gérontocroissance » accentuée depuis les années 2010, source Dumont, 2023 (Le vieillissement de la population : une notion plurielle) [33]

2.1.3. Typologie des actes chirurgicaux à risque élevé

Dans la littérature, Bijker et al. (2009) [24] et Sessler et al. (2019) [15] proposent une classification des interventions chirurgicales où le risque de déséquilibre hémodynamique est particulièrement élevé. Citons notamment :

- Chirurgies vasculaires majeures (aortique, carotidienne).
- Chirurgies thoraciques (lobectomie pulmonaire, pneumonectomie).
- Chirurgies abdominales lourdes (résections hépatiques, pancréatiques).

- Orthopédie lourde (fracture de hanche chez le sujet âgé, arthroplastie complexe).

Walsh et al. (2014) [16] indiquent qu'en plus du type d'acte, la durée opératoire, la perte sanguine estimée et le profil ASA ⁴ du patient constituent des facteurs majeurs de risque de décompensation hémodynamique⁵. Ainsi, plus le geste est complexe et le patient fragile, plus l'incidence des épisodes hypotensifs sera élevée.

2.2. Pathologies aggravantes aggravant les conséquences de l'hypotension

Les patients présentant certaines pathologies préexistantes subissent souvent des conséquences plus graves lorsqu'ils font face à une hypotension peropératoire. Les travaux de Fellahi et al. [14] montrent que l'insuffisance cardiaque, le diabète, l'insuffisance rénale et l'obésité figurent parmi les comorbidités associées à une morbidité plus élevée dès lors que la tension artérielle chute en peropératoire comme le diabète, l'insuffisance rénale ou l'obésité.

2.2.1. Exemple de l'insuffisance cardiaque

L'insuffisance cardiaque, c'est-à-dire l'incapacité du cœur à pomper suffisamment de sang pour répondre aux besoins de l'organisme, rend les patients particulièrement sensibles aux baisses de pression artérielle pendant l'anesthésie. Par exemple, Bijker et al. (2009) [24] montrent que les patients souffrant d'insuffisance cardiaque présentent un risque presque doublé d'hypotension sévère pendant la chirurgie par rapport à ceux qui n'en souffrent pas. Chez ces patients, la capacité du cœur à compenser les effets vasodilatateurs des anesthésiques est réduite, ce qui signifie qu'une chute de la pression artérielle peut rapidement entraîner une mauvaise perfusion des organes vitaux. Les travaux de Smit-Fun et Buhre (2016) [34] précisent que même une courte période de baisse de la pression peut déclencher une décompensation aiguë, comme un œdème pulmonaire, chez des patients dont le

⁴ Le score ASA (American Society of Anesthesiologists) classe les patients selon leur état de santé avant une chirurgie pour évaluer les risques anesthésiques, allant de I (bonne santé) à VI (état très grave).

⁵ La décompensation hémodynamique correspond à une dégradation brutale de l'équilibre circulatoire pouvant inclure une chute de la pression artérielle (hypotension), mais également d'autres troubles comme une baisse du débit cardiaque ou des anomalies du rythme cardiaque, entraînant une mauvaise perfusion des organes.

muscle cardiaque est déjà affaibli. En résumé, l'insuffisance cardiaque diminue la marge de sécurité hémodynamique et augmente la probabilité de complications graves en cas d'hypotension peropératoire.

2.2.2. Autres comorbidités (diabète, insuffisance rénale, obésité)

D'autres affections jouent également un rôle important dans la vulnérabilité du patient face à l'hypotension pendant la chirurgie, le diabète, en particulier lorsqu'il est associé à une neuropathie autonome, perturbe les mécanismes naturels de régulation de la pression artérielle. Comme l'indique Lee et al. (2023) [32], chez les patients diabétiques, les réflexes qui permettent normalement de stabiliser la pression en cas de chute sont souvent altérés. Cela signifie que ces patients ont tendance à présenter des variations plus marquées de la pression, ce qui peut conduire à des épisodes d'hypotension prolongés ou plus sévères.

En ce qui concerne l'insuffisance rénale chronique (IRC), cette condition se traduit par une réduction progressive de la capacité des reins à filtrer le sang. Meersch et al. (2016) [35] ont montré que, chez les patients atteints d'IRC, une hypotension même brève peut entraîner une baisse significative de la perfusion rénale, augmentant le risque de lésions rénales aiguës. La capacité des reins à compenser les variations de la pression est ainsi fortement compromise.

L'obésité ajoute également une dimension supplémentaire à la gestion peropératoire. D'après Haren et al. (2021) [36], les patients obèses, en raison de leur volume sanguin élevé et de leur dysfonction vasculaire, présentent un risque accru d'hypotension pendant l'intervention. La mesure de la pression artérielle chez ces patients peut être plus difficile en raison d'un brassard de taille inadaptée, et la réponse aux fluides ou aux vasopresseurs peut être imprévisible. Ainsi, l'obésité, souvent associée à d'autres comorbidités comme l'hypertension et le syndrome d'apnées du sommeil, complique la gestion de la pression artérielle et peut entraîner une plus grande instabilité hémodynamique.

Ces comorbidités augmentent non seulement la probabilité de survenue d'hypotension peropératoire, mais aussi la gravité des conséquences associées, notamment le risque d'ischémie myocardique, rénale et cérébrale. Les recommandations cliniques

insistent sur l'importance d'identifier ces facteurs de risque en préopératoire et d'adapter la stratégie de surveillance hémodynamique en conséquence – par exemple, en recourant à un monitoring continu et en visant des cibles tensionnelles personnalisées pour chaque patient [16], [33], [40], [41],

2.3. Conséquences cliniques et pronostiques

2.3.1. Morbidité et mortalité associées aux épisodes hypotensifs

La chute de pression artérielle, lorsqu'elle s'avère profonde ou prolongée, se corrèle à une augmentation significative des complications postopératoires. Walsh et al. (2014) [16] montrent que de brefs passages (1–5 minutes) en dessous de 65 mmHg de PAM suffisent à augmenter le risque de lésion myocardique et de défaillance rénale aiguë. Dans une analyse multicentrique, Bijker et al. [24] observent que la mortalité à 1 an est plus élevée chez les patients ayant présenté des hypotensions sévères pendant la chirurgie non cardiaque, y compris après ajustement sur l'âge et l'état physique préopératoire. Sur le plan cérébral, Vlisides & Mashour décrivent des liens entre des épisodes hypotensifs pérennes et l'accroissement du risque d'AVC ou de troubles cognitifs postopératoires [37].

Ces données s'appliquent tout particulièrement aux patients souffrant de comorbidités mentionnées plus haut. Futier et al. [30] soulignent que quand on parvient à maintenir une PA individualisée (réglée en fonction de la valeur de base du patient IC ou hypertendu), on réduit la fréquence des défaillances multiviscérales. Le fait de stabiliser activement la tension par vasopresseurs précoces, fluides ciblés et ajustement des anesthésiques diminue les infarctus, les insuffisances rénales, les complications neurologiques et la mortalité post-opératoire.

2.4 Mesures classiques de correction de l'hypotension per-opératoire

Dans la pratique quotidienne, la prise en charge d'une chute tensionnelle repose sur trois leviers complémentaires : restaurer la volémie, rétablir le tonus vasculaire et optimiser le retour veineux. La revue détaillée de Guarracino & Bertini (2022) rappelle qu'un bolus de cristalloïdes isotoniques (4 à 6 ml kg⁻¹) constitue le premier geste lorsqu'un déficit de remplissage est suspecté [56]. Si la pression artérielle moyenne demeure inférieure à 65 mmHg après ce remplissage ou si la

clinique évoque d'emblée une vasoplégie anesthésique, les recommandations consensuelles de l'Anesthesia Patient Safety Foundation (2024) préconisent l'administration précoce d'un vasopresseur à action rapide ; l'éphédrine ou la phényléphrine en bolus fractionné restent les agents de première intention, tandis qu'une perfusion de noradrénaline peut être initiée sur voie périphérique courte lorsqu'une hypotension profonde persiste [57]. Enfin, des interventions physiques simples majorent l'efficacité pharmacologique : mise en Trendelenburg modéré, compression séquentielle des membres inférieurs. Le consensus international de Kinsella et al. (2018) montre que l'association d'un remplissage adéquat, d'un positionnement adapté et d'un vasopresseur continu divise par deux l'incidence des épisodes hypotensifs sévères [58]. Ces mesures constituent la boîte à outils indispensable du clinicien ; les technologies de monitoring avancé et les algorithmes prédictifs présentés au chapitre 3 n'ont de valeur que s'ils déclenchent l'application rapide et raisonnée de ce socle thérapeutique.

En résumé, le vieillissement de la population s'accompagne d'un accroissement du nombre de patients polypathologiques, chez qui la tolérance à l'hypotension peropératoire est particulièrement réduite. Les données épidémiologiques montrent une population française et mondiale de plus en plus âgée, avec des chirurgies parfois très invasives. Or, l'insuffisance cardiaque, le diabète (souvent compliqué par une neuropathie autonome), l'insuffisance rénale et l'obésité figurent parmi les affections rendant la gestion anesthésique plus complexe.

Cette réalité démographique et clinique souligne la nécessité d'une surveillance hémodynamique adaptée et d'approches individualisées. Dans le chapitre suivant, nous approfondirons la question de la détection précoce et de la correction de l'hypotension, en présentant notamment les outils de monitoring avancés et leurs implications pour la sécurité du patient.

CHAPITRE 3. Approches innovantes pour la gestion hémodynamique : Focus sur le *Machine Learning*

Après avoir rappelé les bases physiopathologiques de l'hypotension peropératoire et son retentissement clinique, ce troisième chapitre s'intéresse aux innovations qui bouleversent la surveillance hémodynamique en anesthésie. Nous commençons par le constat des limites des outils classiques, brassard oscillométrique intermittent, PVC ou cathéter de Swan-Ganz dont la ponctualité des mesures ou l'invasivité peut retarder la détection d'instabilité chez le patient anesthésié. Nous examinons ensuite les dispositifs semi-invasifs de dernière génération (FloTrac, LiDCO, PiCCO) capables, via l'analyse d'onde de pouls, d'offrir un débit cardiaque continu sans recourir au monitoring invasif ou encore l'alternative non invasive. Sur cette trajectoire d'amélioration, l'irruption du *Machine Learning* marque un tournant : l'algorithme Hypotension Prediction Index (HPI) d'Edwards Lifesciences illustre la bascule d'un monitoring descriptif vers une approche prédictive et proactive spécifiquement destinée au bloc opératoire et à la salle de réveil. À travers l'analyse de ses performances, de ses avantages mais aussi de ses limites, le chapitre met en lumière le potentiel et les précautions d'usage de l'intelligence artificielle appliquée à l'anesthésie.

3.1. Outils de monitoring avancés

3.1.1. Rappel des limites des méthodes traditionnelles : brassard, surveillance intermittente

La surveillance hémodynamique peropératoire repose classiquement sur la mesure intermittente de la PA par brassard. Or, cette méthode peut manquer des épisodes hypotensifs transitoires et ne pas les détecter assez tôt. Par exemple, l'étude de Winberge Et Al. ont montré que le monitoring non invasif intermittent omet environ 27% des hypotensions et retarde la reconnaissance des autres d'environ 1 à 2 minute en moyenne par rapport à une mesure continue [39].

De plus, entre deux mesures espacées de plusieurs minutes, le patient peut présenter des chutes tensionnelles prolongées non détectées, ce qui pose problème étant donné l'association entre l'hypotension peropératoire et les complications d'organe (insuffisance rénale aiguë, infarctus du myocarde, etc.) selon Valbuena-Bueno Et Al [65].

À l'inverse, un monitoring continu de la pression artérielle permet de mieux suivre les tendances et dépiste plus de deux fois plus d'épisodes hypotensifs qu'une mesure

intermittente oscillométrique autrement dit le brassard à tension selon les travaux de Bergholz, A., Greiwe, G., Kouz, K., & Saugel, B. (2023 [65].

Cette supériorité du suivi continu s'explique par la fréquence élevée des mesures et par le fait que les appareils oscillométriques (brassard à tension) ont tendance à surestimer la pression lorsque celle-ci est basse, masquant ainsi certaines hypotensions, le brassard automatique, bien que non invasif et simple, ne fournit qu'une vision ponctuelle de l'hémodynamique et peut manquer de réactivité face aux fluctuations rapides. [65]

3.1.2. Monitoring invasif (Swan-Ganz, PVC) et semi-invasif (FloTrac, LiDCO) et non invasif (clearsight, PVI)

Pour pallier à ces limites, on a historiquement eu recours à des dispositifs invasifs tels que le cathéter artériel pulmonaire de Swan-Ganz ou la mesure de la pression veineuse centrale (PVC). Le Swan-Ganz permet de mesurer directement le débit cardiaque par thermodilution (c'est-à-dire dans le cœur directement), les pressions de remplissage et la saturation veineuse mixte, offrant une image complète de l'état hémodynamique. Cependant, sa mise en place est très invasive et peut entraîner des complications (arythmies, infections, etc.), pour un bénéfice clinique qui n'a pas été clairement démontré en utilisation routinière) [49]. En effet, l'étude de Outtara, A & Biais (2014) n'ont pas montré d'amélioration de la mortalité ou des résultats postopératoires avec la Swan-Ganz en routine, hormis dans des contextes très spécifiques (chirurgie cardiaque, hypertension pulmonaire sévère) [62].

De même, la PVC, obtenue via un cathéter veineux central, renseigne sur la pression de remplissage de l'oreillette droite mais s'est révélée peu corrélée au volume réel et incapable de prédire de façon fiable la réponse à une expansion volémique. Une méta-analyse faite par Marik, P. E., Baram, M., & Vahid, B. (2008). ont ainsi trouvé une corrélation quasi nulle entre la PVC et la variation du débit cardiaque après un bolus de fluide, avec une aire sous la courbe ROC de seulement 0,56 pour la PVC soit guère mieux que le hasard [50]. Par conséquent, l'utilisation de la PVC seule est déconseillée selon Marik, P. E., Baram, M., & Vahid, B. (2008). [63]

Les techniques de monitoring hémodynamique semi-invasif se sont imposées comme une alternative plus sûre que le cathéter artériel pulmonaire (Swan-Ganz), dont

l'utilisation peut s'accompagner de risques infectieux ou vasculaires [40]. Grâce à un simple cathéter artériel périphérique, elles permettent d'estimer de façon continue le débit cardiaque (DC) et de suivre des indices dynamiques prédictifs (SVV, PPV). Parmi elles, FloTrac (Edwards Lifesciences) repose sur l'analyse de l'onde de pouls non calibrée : il calcule le volume d'éjection systolique toutes les 20 secondes via un algorithme interne, sans nécessiter de bolus indicateur. Malgré cette mise en œuvre rapide et peu invasive, certaines études ont observé des écarts notables par rapport à la thermodilution, en particulier chez des patients très vasoplégiques ou présentant des arythmies [41]. Ainsi, le FloTrac se révèle fiable pour détecter des tendances de variation de débit, même si l'interprétation absolue doit parfois être confirmée par un autre moyen.

Le LiDCO (LiDCO Ltd) propose quant à lui un mode calibré via injection de lithium, et un mode non calibré (LiDCOrapid). La calibration lithium améliore la précision en se basant sur un mesurage réel du débit par la méthode de Stewart-Hamilton, mais implique une injection régulière (toutes les 8 heures environ) et présente des contre-indications (patients déjà sous lithium) [42]. En pratique, le LiDCO offre des informations avancées (débit, index cardiaque, indices dynamiques de précharge) et peut couvrir une large gamme de situations cliniques, tant que des recalibrations périodiques sont effectuées et que le rythme cardiaque demeure relativement stable.

Le PiCCO (Pulsion Medical Systems) utilise, quant à lui, une thermodilution transpulmonaire intermittente (bolus de sérum salé froid via un cathéter veineux central) associée à l'analyse calibrée du pouls. Il fournit en continu le débit cardiaque, tout en mesurant l'eau pulmonaire extravasculaire ou le volume télédiastolique global : ces paramètres sont particulièrement utiles chez des patients en choc septique ou présentant un risque d'œdème pulmonaire. Le PiCCO reste toutefois plus invasif (cathéter artériel fémoral ou axillaire + voie veineuse centrale) et requiert des recalibrations fréquentes pour maintenir sa fiabilité [40] [41]. Au final, ces systèmes semi-invasifs réduisent la morbidité liée au cathéter de Swan-Ganz tout en offrant un monitoring continu du DC ; leur sélection dépendra du contexte (bloc opératoire, réanimation) et du profil du patient (stabilité hémodynamique, comorbidités, etc.) [41]. Le monitoring hémodynamique non invasif quant à lui constitue une alternative séduisante aux approches invasives, en évitant les complications liées à la

cathétérisation artérielle. Le ClearSight (anciennement Edwards Lifesciences) brassard digital mesurant en continu la pression artérielle et le débit cardiaque, apparaît comme un substitut potentiel aux dispositifs sur cathéter artériel tels que le FloTrac ; chez des patients cirrhotiques, Crihan M., Alexa A. L., Valean D. & Ionescu D. (2025) montrent qu'il fournit des tendances fiables pour guider la thérapie liquidienne, malgré une exactitude absolue légèrement moindre par rapport à la mesure invasive [59]. Grâce à l'analyse de la variation du volume d'éjection systolique (SVV), cet outil trouve toute sa place lorsque la ponction artérielle est jugée disproportionnée.

Parallèlement, les capteurs Masimo exploitent l'oxymétrie avancée pour dériver le Pleth Variability Index (PVI), paramètre dynamique entièrement non invasif. Wang Y., Zhang Y., Zheng J., Dong X., Wu C., Guo Z. & Wu X. (2023) démontrent, dans un essai randomisé en chirurgie digestive chez le sujet âgé, que le PVI prédit la réactivité aux fluides avec une performance comparable aux indices invasifs classiques (PPV, SVV) [60].

Ainsi, ClearSight pour le suivi continu de la pression et du débit, et le PVI de Masimo pour le dépistage rapide des besoins en fluides, permettent une surveillance rapprochée sans recours systématique à l'invasif, renforçant la sécurité et l'optimisation de la prise en charge des patients opérés à risque modéré.

3.1.3. Passage à l'approche prédictive et temps réel

La gestion hémodynamique peropératoire traditionnelle est en grande partie réactive, c'est-à-dire que le clinicien intervient après avoir constaté une hypotension, par exemple en administrant des vasopresseurs une fois la pression artérielle déjà basse. Cette approche présente un inconvénient majeur : le délai de réaction peut laisser s'écouler des périodes d'hypotension pendant lesquelles la perfusion des organes est insuffisante. Or, on sait que la durée cumulée passée avec une pression artérielle moyenne (PAM) inférieure à 65 mmHg est directement associée à une augmentation de la morbidité et de la mortalité post-opératoires selon Myatra, S. N., Jagiasi, B. G., Singh, N. P., & Divatia, J. V [43].

Minimiser la sévérité et la durée des hypotensions pourrait donc améliorer le pronostic des patients. C'est dans ce contexte qu'émerge une approche prédictive et temps réel de la gestion hémodynamique, rendue possible par les avancées de l'intelligence artificielle (IA). L'idée est d'anticiper les déséquilibres circulatoires avant qu'ils ne se manifestent pleinement, afin d'intervenir proactivement plutôt que d'attendre l'hypotension [43].

Concrètement, les nouveaux dispositifs « intelligents » analysent en continu les signaux physiologiques du patient pour détecter des tendances annonciatrices d'instabilité. Par exemple, la société Edwards Lifesciences a développé un algorithme de monitoring prédictif baptisé *Hypotension Prediction Index (HPI)*, qui fournit en temps réel la probabilité qu'une hypotension survienne dans les minutes suivantes [44].

Ce système, intégré au moniteur hémodynamique Hemosphere et à la technologie Acumen, s'appuie sur l'analyse avancée du tracé de pression artérielle afin de détecter les signes précoces d'une chute tensionnelle imminente. De tels outils transforment la prise en charge hémodynamique en permettant au clinicien d'avoir une longueur d'avance sur l'événement indésirable. Plutôt que de subir l'hypotension, l'anesthésiste peut être alerté préalablement et agir pour la prévenir. Cette évolution s'accompagne également du développement de systèmes de contrôle automatiques en boucle fermée : ainsi, des algorithmes peuvent ajuster en continu le débit de vasopresseurs ou de fluides pour maintenir les paramètres dans une plage cible, sans intervention humaine directe. L'ensemble de ces innovations illustre le passage d'une surveillance passive à une gestion dynamique et anticipative de l'hémodynamique peropératoire, où l'IA assiste le clinicien pour améliorer la sécurité du patient [54].

3.2. Le *Machine Learning* en anesthésie

3.2.1. Principes généraux (apprentissage supervisé, non supervisé, deep learning)

Le *machine learning* (ML) regroupe un ensemble de méthodes d'IA capables d'apprendre à partir des données. On distingue classiquement l'apprentissage supervisé, l'apprentissage non supervisé et le *deep learning*. En apprentissage

supervisé, le modèle est entraîné à partir de données historiques pour lesquelles le « bon résultat » est connu à l'avance nous décrivent Singh, M., & Nath, G [45].

On fournit ainsi à l'algorithme des exemples étiquetés (par exemple des patients chez qui une hypotension est survenue ou non), afin qu'il apprenne à associer les caractéristiques d'entrée avec la sortie attendue. Kendale *et al.* (2018) ont par exemple entraîné un modèle supervisé à prédire l'hypotension à l'induction anesthésique en alimentant la machine avec plus de 13 000 cas d'anesthésies complétés d'un indicateur mentionnant la survenue d'une hypotension ou son absence [46].

À l'inverse, en apprentissage non supervisé, l'algorithme n'a pas de réponse prédéfinie à apprendre : il explore les données brutes afin d'y découvrir par lui-même des regroupements, des schémas cachés ou des régularités. Ce type d'apprentissage permet par exemple de mettre en évidence des motifs sous-jacents dans les variables physiologiques sans indiquer a priori quelle sortie prévoir. Ainsi, Wang *et al.* ont appliqué un algorithme non supervisé de type *manifold learning* sur des tracés de pression artérielle afin d'en révéler la dynamique interne et des composantes latentes invisibles à l'œil nu [45].

L'apprentissage profond, quant à lui, est une branche du *Machine Learning* qui s'appuie sur des réseaux de neurones artificiels multicouches. Grâce à des architectures neuronales complexes, le ML est particulièrement performant pour analyser de grandes quantités de données riches (images, signaux, bases de données massives) et en extraire des patterns complexes. En anesthésie, on voit émerger des applications du ML pour des tâches comme la reconnaissance de l'état d'inconscience sur l'EEG ou la prédiction d'issues cliniques. Par exemple, Lee *et al.* ont développé un réseau de neurones profond entraîné sur les dossiers de près de 60 000 patients, intégrant 82 variables par patient, afin de prédire la mortalité postopératoire avec une performance supérieure aux méthodes traditionnelles c'est-à-dire à l'humain. [45]. Ces principes généraux (supervisé, non supervisé, apprentissage profond) constituent les bases théoriques sur lesquelles s'appuient les applications du ML en anesthésie.

3.2.2 Cas d'usage en anesthésie

De nombreux travaux récents illustrent le potentiel du Machine Learning pour améliorer la prise en charge anesthésique, de la phase préopératoire au réveil. L'anticipation de l'hypotension artérielle en fournit un exemple emblématique. Kendale *et al.* ont ainsi entraîné plusieurs algorithmes supervisés (forêts d'arbres décisionnels, machines à vecteurs de support, réseaux neuronaux, etc.) sur les données de plus de 13 000 anesthésies afin de prédire les hypotensions d'induction. Le meilleur modèle obtenu (un algorithme de *gradient boosting*) affiche une aire sous la courbe ROC d'environ 0,76 pour la détection d'une PAM < 55 mmHg [46].

Cette performance modérée souligne que la prédiction de l'hypotension est un défi complexe, mais l'étude est l'une des premières du genre qui démontre la faisabilité de l'approche et ouvre la voie à des améliorations ultérieures (optimisation des algorithmes, davantage de données d'entraînement, etc.). En pratique clinique, des solutions commerciales incorporent désormais ce type de prédiction en temps réel : par exemple l'indice HPI d'Edwards (voir section 3.3.1) analyse en continu l'onde de pouls pour alerter l'anesthésiste avant même qu'une hypotension ne survienne, permettant d'initier un traitement préventif.

Le *Machine Learning* est également mis à profit pour affiner la titration des agents anesthésiques et analgésiques pendant l'intervention. Des algorithmes de décision assistée par IA peuvent recommander des ajustements de dose en temps réel en se basant sur l'état du patient, avec une précision parfois comparable à celle d'un expert humain [47]. Par exemple, des systèmes en boucle fermée pilotés par algorithme ont été testés pour administrer le propofol de manière automatique afin de maintenir l'index BIS dans une plage cible, ou pour adapter en continu la dose d'opioïdes en fonction des signes vitaux du patient. Les travaux de Vanhonacker et al. (2022) soulignent d'ailleurs que le développement de systèmes d'anesthésie automatisée en boucle fermée figure parmi les perspectives les plus prometteuses de l'IA en anesthésie [48].

En matière d'analgésie⁶ certaines équipes explorent des modèles prédictifs de la douleur postopératoire ou des systèmes adaptatifs d'analgésie contrôlée par le patient,

⁶ L'analgésie désigne l'absence ou la suppression de douleur obtenue par des moyens médicamenteux ou non médicamenteux, sans entraîner de perte de conscience

afin d'optimiser le soulagement tout en minimisant les effets indésirables. Enfin, le *Machine Learning* a été appliqué à la prédiction des complications et issues post-opératoires : des modèles entraînés sur des bases de données périopératoires volumineuses parviennent à estimer le risque individuel d'événements indésirables (hémorragie, infection, mortalité, etc.), aidant ainsi à la stratification des patients en préopératoire [45].

On le voit, les cas d'usage de l'IA en anesthésie sont variés et couvrent aussi bien la prévention des événements aigus peropératoires que l'aide au pilotage des traitements ou la prédiction du devenir des patients. Notamment, certaines applications d'IA atteignent déjà des performances comparables, voire supérieures, à celles des cliniciens pour des tâches bien définies [48].

Néanmoins, il reste crucial de valider cliniquement ces outils et de les intégrer de manière sécurisée avant qu'ils ne deviennent courants dans le bloc opératoire.

Nous allons garder l'exemple de la technologie HPI développé par Edwards.

3.3. Présentation de l'algorithme HPI (Hypotension Prediction Index, Edwards Lifesciences)

L'*Hypotension Prediction Index* (HPI) est un algorithme prédictif développé par *Edwards Lifesciences* ⁷ pour anticiper les épisodes d'hypotension artérielle durant l'anesthésie. Ses origines remontent aux travaux de Hatib *et al.* qui ont conçu ce modèle à partir d'une analyse de données à grande échelle [49].

Plus précisément, l'algorithme a été entraîné en exploitant les enregistrements de tensiométrie invasive de dizaines de milliers de patients opérés : près de 59 000 épisodes hypotensifs et 144 000 périodes non hypotensives ont été extraits de bases de données, représentant plus de 2,6 millions de caractéristiques candidates initialement par des méthodes de sélection séquentielle des caractéristiques, ce large jeu de données a été réduit à 23 variables clés issues de la forme d'onde de pression artérielle, les plus prédictives de la survenue imminente d'une hypotension [43].

⁷ Depuis le 1^{er} décembre 2024, la division Critical Care d'Edwards Lifesciences (HemoSphere, ClearSight, FloTrac, HPI, etc.) est devenue BD Advanced Patient Monitoring en France à la suite de son acquisition par Becton Dickinson (BD) [BD 2024, communiqué de presse]. Les blocs opératoires utilisant encore la dénomination « Edwards », ce mémoire conserve ce nom afin de rester cohérent avec la pratique clinique et la majorité des publications citées.

Ces variables comprennent des paramètres dynamiques calculés à partir du tracé artériel (par ex. des indices de variabilité de pression, de contractilité, etc.). L'algorithme HPI, sous la forme d'un modèle mathématique entraîné sur ces données, a ensuite été intégré au moniteur hémodynamique Hemosphere et par la technologie Acumen d'Edwards Lifesciences pour une utilisation au bloc opératoire.

Comment fonctionne HPI ?

- Cette dernière analyse en continu l'onde de pression artérielle invasive du patient. Toutes les 20 secondes, le système actualise le calcul et fournit une nouvelle valeur d'indice sur une échelle de 0 à 100



Figure 4 Interface du logiciel Acumen Hypotension Prediction Index Source : Edwards Lifesciences, Acumen HPI Clinical Evidence 2023

Cette valeur correspond à la probabilité estimée qu'une hypotension survienne dans un futur proche (généralement défini à l'horizon 5 à 15 minutes). Plus le score HPI est élevé, plus le risque d'hypotension est jugé important. Lorsque l'indice dépasse un

certain seuil critique – par exemple $HPI > 85$ de manière persistante, ou atteint 100 – le moniteur génère une alerte visuelle pour attirer l'attention du clinicien [44].

L'écran secondaire dédié affiche alors des indications complémentaires, notamment les composantes hémodynamiques contributives, afin d'aider le praticien à identifier la cause possible de l'hypotension à venir (par exemple, une baisse du débit cardiaque vs une vasodilatation). HPI fournit au clinicien un signal d'alarme anticipé : il ne remplace pas la décision médicale, mais offre une fenêtre temporelle pour agir préventivement (augmentation du remplissage vasculaire, ajustement des anesthésiques, administration de vasopresseurs, etc.) avant que la pression artérielle ne chute en dessous du seuil critique.

L'HPI représente une avancée notable vers une anesthésie proactive. Validé chez des patients chirurgicaux adultes, il a démontré une bonne capacité prédictive des hypotensions à court terme, avec une sensibilité et spécificité élevées pour prévoir une $PAM < 65$ mmHg survenant à 5, 10 ou 15 minutes d'intervalle [44].

L'HPI est fréquemment cité comme l'une des premières applications concrètes de l'IA en monitoring hémodynamique : Michard et al. (2025) le présentent par exemple comme « le premier modèle d'IA disponible commercialement pour prédire l'hypotension ». L'ensemble de ces publications scientifiques (Hatib, Maheshwari, etc.) s'accordent à reconnaître l'HPI comme une technologie issue du *Machine Learning* supervisé, intégrée au monitoring anesthésique [70].

Hatib et al. (2018) rapportaient ainsi que l'algorithme pouvait anticiper une hypotension avec une alerte ~5 minutes avant sa survenue effective dans la plupart des cas. L'utilisation clinique de l'HPI a montré des bénéfices en termes de prévention des instabilités : intégrée dans une stratégie de fluides et de vasopresseurs guidée par objectifs (Goal-Directed Therapy), elle permet de réduire l'incidence et la durée cumulée des hypotensions peropératoires par rapport à une prise en charge conventionnelle sans HPI [49]. En réduisant l'exposition des patients à des pressions artérielles dangereusement basses, l'HPI vise in fine à améliorer la sécurité hémodynamique. D'après Ripollés-Melchor et al. (2023), l'adoption de ce type d'algorithme a effectivement montré qu'elle diminuait la durée des hypotensions intraopératoires [50].

3.1.1 Bénéfices potentiels de l'Hypotension Prediction Index (HPI)

Plusieurs études récentes suggèrent que l'utilisation de l'HPI pourrait effectivement réduire l'incidence et la gravité des hypotensions peropératoires. Un premier essai pilote randomisé contrôlé, mené chez 60 patients de chirurgie non cardiaque, a comparé une prise en charge hémodynamique standard à une prise en charge guidée par l'HPI. Les résultats ont montré une diminution très marquée (de l'ordre de 77%) de la durée et de la profondeur des épisodes d'hypotension intraopératoire dans le groupe HPI par rapport au groupe contrôle [55]. Autrement dit, en anticipant les chutes tensionnelles, on parvient à en atténuer significativement la sévérité. Cette réduction des hypotensions peropératoires grâce à l'HPI s'est confirmée dans des études ultérieures sur des populations plus larges. Par exemple, une étude multicentrique prospective de 2024 incluant plus de 400 patients opérés a rapporté que les patients monitorés avec l'algorithme HPI présentaient beaucoup moins de temps cumulé en hypotension au bloc opératoire : en moyenne 9 ± 13 minutes avec une PAM < 65 mmHg, contre 25 ± 41 minutes chez des patients comparables gérés sans HPI, soit une réduction d'environ 65% du temps passé en hypotension [52]. De même, dans cette cohorte, la proportion de patients souffrant d'hypotensions sévères prolongées a été nettement moindre avec l'assistance de l'index prédictif [52].

Les bénéfices potentiels de l'HPI ont également été explorés dans des contextes chirurgicaux spécifiques. Une étude randomisée menée en chirurgie oncologique gynécologique majeure a par exemple mis en évidence que l'utilisation intraopératoire de l'HPI, couplée à un algorithme de traitement hémodynamique, permettait de réduire significativement le nombre d'épisodes hypotensifs par patient ainsi que leur durée totale, comparativement à la prise en charge conventionnelle guidée par les seuls paramètres habituels [63]. Dans ce travail, le nombre médian d'événements hypotensifs au cours de l'intervention n'était que de 2 (par patient) dans le groupe HPI, contre 7 dans le groupe contrôle sans HPI [63]. Par ailleurs, l'index a permis une correction plus précoce des instabilités : le délai moyen entre l'alarme prédictive et l'initiation d'un traitement a été plus court que le délai d'intervention une fois l'hypotension avérée dans le groupe contrôle, témoignant d'une réactivité accrue du clinicien lorsque l'alerte est anticipée.

Sur le plan clinique, prévenir l'hypotension peropératoire est un enjeu important car de nombreuses études observationnelles ont associé l'hypotension prolongée au bloc à une augmentation des complications post-opératoires : lésions rénales aiguës, infarctus du myocarde, AVC, infections sévères, etc. [51]. En théorie, en maintenant une pression de perfusion adéquate tout au long de l'intervention (grâce à l'alerte HPI et aux mesures proactives correspondantes), on pourrait espérer une meilleure protection d'organes et une réduction des événements indésirables post-opératoires. Les premières données tendent à montrer effectivement une amélioration de certains paramètres indirects de perfusion tissulaire avec l'utilisation de l'HPI. Par exemple, un suivi dans l'étude HYPE a suggéré une réduction de la fréquence et de la durée des hypotensions même en salle de réveil chez les patients dont l'hémodynamique avait été gérée de façon prédictive, ce qui pourrait signifier moins de "dette" de perfusion accumulée pendant l'anesthésie [51]. Si l'impact sur les issues cliniques du patient (morbimortalité) reste encore à documenter à plus large échelle, la capacité de l'HPI à éviter des chutes tensionnelles prolongées est en soi un atout prometteur pour la sécurité peropératoire. En pratique, l'index prédictif s'intègre aisément dans les plateformes de monitoring hémodynamique existantes (par ex. écran Edwards Lifesciences HemoSphere), et affiche en temps réel des variables explicatives (telles que la contractilité cardiaque dP/dt_{max} , la précharge dynamique via SVV, l'élasticité artérielle dynamique, etc.) pour guider le clinicien sur la cause probable de l'hypotension à venir (hypovolémie, vasodilatation, diminution de la contractilité) [63]. Ceci facilite une réponse thérapeutique ciblée (expansion volémique, vasopresseur, inotrope...) avant même que la pression ne s'effondre, optimisant potentiellement la stabilité hémodynamique du patient tout au long de l'opération.

3.1.2 Limites et controverses autour de l'HPI

Des essais récents nuancent l'utilité clinique du HPI. Par exemple, dans un essai randomisé en chirurgie thoracique, Šribar et al. (2023) ont observé que l'algorithme HPI réduisait la durée et l'ampleur de l'hypotension peropératoire, sans pour autant diminuer significativement l'incidence des complications postopératoires ni améliorer les paramètres cliniques tels que la durée de ventilation, le séjour en soins intensifs ou la mortalité. [67].

De même, l'essai multicentrique PREDICT-H conduit par Lorente et al. (2023) a montré qu'une prise en charge guidée par HPI abaissait le temps passé en hypotension pendant la chirurgie, sans différence sur l'oxygénation tissulaire ni le risque d'AKI post-opératoire ; les taux de complications, la durée d'hospitalisation et la mortalité à 30 jours sont restés similaires entre le groupe HPI et le groupe témoin. [68]. Ces constats appuient l'analyse de Michard et Futier (2023), qui soulignent qu'aucune étude d'intervention n'a encore démontré qu'atténuer l'hypotension intraopératoire améliorerait les issues postopératoires (insuffisance rénale, événements cardiaques, etc.) c'est-à-dire pas directement énormément d'études (Bikjer Et All (2007 etc) montrent que l'hypotension est néfaste pour un patient et que HPI à baisse le temps d'hypotension mais pas encore une étude montrant les deux. Plusieurs auteurs alertent sur le risque de « sur risque » thérapeutique induit par le HPI. Michard et Futier mettent en garde contre des interventions préventives inappropriées : administrer des fluides ou des vasopresseurs à un patient non encore hypotendu (et qui ne le deviendra peut-être jamais) sur la seule base d'une alerte HPI est un procédé contestable [20] [69].

L'HPI représente une avancée technologique prometteuse dans la prévention de l'hypotension peropératoire, avec des études pilotes montrant une réelle réduction des épisodes hypotensifs grâce à son utilisation. Néanmoins, il convient d'être mesuré quant à son déploiement systématique. Ses bénéfices doivent encore être confirmés à plus grande échelle (notamment en termes d'amélioration du devenir des patients), et il faut garder à l'esprit ses limitations : un algorithme performant mais pas infallible, potentiellement moins efficace hors des scénarios pour lesquels il a été conçu, et la nécessité pour le clinicien de ne pas se départir de son jugement pour éviter des interventions inappropriées. Des travaux supplémentaires sont en cours et apporteront sans doute un éclairage sur les situations où l'HPI apporte une vraie plus-value, et sur celles où une surveillance conventionnelle reste tout aussi efficace. En attendant, son utilisation doit s'accompagner d'une analyse critique et d'une évaluation au cas par cas, en considérant l'HPI comme une aide à la décision parmi d'autres dans l'arsenal du monitoring hémodynamique moderne, et non comme un pilote automatique absolu de la perfusion.

Ce chapitre a montré que le virage vers un monitoring hémodynamique proactif s'appuie désormais sur deux piliers complémentaires : d'une part, l'évolution des dispositifs semi-invasifs, capables de fournir en continu des indicateurs dynamiques plus fiables que les mesures traditionnelles ; d'autre part, l'essor du ML, illustré par l'HPI qui transforme la surveillance en outil prédictif et ouvre la voie à une anesthésie véritablement anticipative. Si les premières données suggèrent une réduction significative de la durée et de la profondeur des épisodes hypotensifs, les bénéfices cliniques à grande échelle restent encore discutés et l'acceptabilité par les praticiens dépend de la confiance accordée à ces algorithmes. Ces constats justifient l'étude mixte présentée dans le chapitre suivant : elle visera à objectiver, au sein de la pratique quotidienne des anesthésistes et des infirmiers anesthésistes, la place réelle des approches prédictives et les conditions nécessaires à leur intégration efficace dans la prise en charge peropératoire.

PARTIE II MÉTHODOLOGIE

Afin de répondre à notre problématique, nous avons retenu une démarche mixte articulant successivement une enquête quantitative et une exploration qualitative. Cette combinaison nous est apparue la plus pertinente : la partie statistique devait d'abord dresser un panorama chiffré des pratiques de prise en charge de l'hypotension au bloc et du degré de familiarité avec l'intelligence artificielle ; la partie interprétative devait ensuite donner la parole aux praticiens pour comprendre, au-delà des pourcentages, les raisons qui sous-tendent leurs choix thérapeutiques et leur regard sur le Hypotension Prediction Index (HPI).

2.1 Approche quantitative

Un questionnaire a été diffusé à l'aide de l'outil Google Forms, une plateforme permettant la création de questionnaire en ligne accessible à tous. Sa première section recueille les informations sociodémographiques : fonction (MAR, IADE, interne), ancienneté, type d'établissement. La seconde interroge la gestion habituelle de l'hypotension : facteurs identifiés, premier geste réflexe, seuils d'intervention. La dernière porte sur l'IA : connaissance du HPI, fréquence d'utilisation, opinion sur sa pertinence. La majorité des questions sont à choix unique ou multiple ; quelques réponses libres et deux échelles de Likert complètent l'ensemble. Deux IADE ont relu le formulaire avant diffusion ; leurs remarques ont conduit à insérer des sous-questions conditionnelles pour dynamiser la navigation.

Le lien a été rendu accessible du 26 février au 1^{er} juin 2025 par l'intermédiaire des cadres des blocs de l'hôpital d'Henri-Mondor faisant parti de L'assistance public des hôpitaux de Paris (APHP) à Créteil, Saint-Joseph et Saint-Antoine APHP (Paris) et via le réseau LinkedIn. Toute personne exerçant l'anesthésie et recevant le lien pouvait répondre. Trente participations avaient déjà été enregistrées début mai ; nous avons visé une cinquantaine avant fermeture du formulaire. Les données sont exportées sous Excel, puis décrites par effectifs, pourcentages, médianes et intervalles.

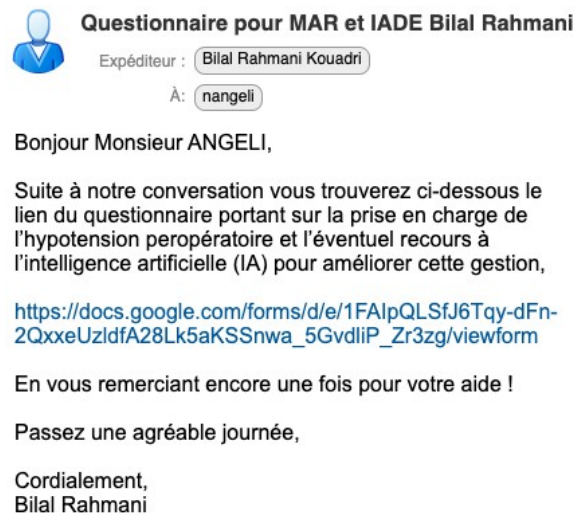


Figure 5 Mail envoyé à Mr ANGELI cadre IADE à l'hôpital Saint Joseph

2.2 Phase qualitative

Dans un second temps, **quatre médecins anesthésistes-réanimateurs** ont accepté un entretien semi-directif. Ce nombre a été jugé suffisant lors d'une discussion avec le directeur de mémoire. Les participants proviennent des mêmes hôpitaux que la phase quantitative ; leur recrutement a été facilité par notre position de Field Clinical Specialist chez Edwards Lifesciences (nouvellement Becton Dickinson), qui nous place quotidiennement au contact des équipes. Trois entretiens ont eu lieu en présentiel au bloc, le quatrième par visioconférence plus précisément sur le logiciel zoom qui permet de faire des réunions virtuelles ; ils se sont déroulés entre le 5 avril et le 2 mai, pour une durée moyenne de vingt-cinq minutes. L'enregistrement audio a été intégralement retranscrit sous Word quelques heures après chaque rencontre, chacun de ces MAR ont signé une attestation permettant d'utiliser leurs noms, fonctions ainsi que leurs établissements afin de donner plus de poids et de sérieux pour ce mémoire (voir annexe II)

Le guide d'entretien (voir annexe III) suit trois axes : (1) parcours professionnel et organisation du bloc ; (2) expériences et stratégies lors d'une hypotension peropératoire ; (3) perception et usages du HPI ou d'autres dispositifs d'IA.

Participant	Profil et établissement	Date/Lieu/Heure
Anesthésiste A	Dr Philippe Marques – Médecin anesthésiste-réanimateur, Hôpital Saint-Joseph (Paris)	01 / 04 / 2024 – 14 h 00 • Présentiel • 30 min
Anesthésiste B	Dr Yeckan Disli – Médecin anesthésiste-réanimateur, Hôpital Henri-Mondor (Créteil)	04 / 04 / 2025 – 16 h 00 • Visioconférence (Zoom) • 30 min
Anesthésiste C	Dr Tarek Saim – Médecin anesthésiste-réanimateur, Hôpital Henri-Mondor (Créteil)	14 / 04 / 2025 – 16 h 15 • Présentiel • 25 min
Anesthésiste D	Dr Sarra Laribi – Médecin anesthésiste-réanimateur, Hôpital Saint-Antoine (AP-HP, Paris)	16 / 04 / 2025 – 14 h 20 • Présentiel • 25 min

Tableau 1 Liste des entretiens effectués avec les différents anesthésistes

2.3 Limites méthodologiques

Cette étude comporte plusieurs limites qu'il convient de garder à l'esprit lors de l'interprétation des résultats. Premièrement, l'échantillon présente un biais géographique notable : l'ensemble des questionnaires et des entretiens ont été recueillis dans quatre blocs opératoires franciliens de l'AP-HP. Les pratiques observées à Paris ne reflètent pas nécessairement celles d'établissements de taille plus modeste ou situés hors Île-de-France.

Deuxièmement, la composition des répondants est déséquilibrée : plus de la moitié des 33 questionnaires ont été remplis par des infirmiers anesthésistes (IADE), alors que les médecins anesthésistes-réanimateurs (MAR) sont sous-représentés. Pour atténuer ce déséquilibre, seuls des MAR ont été choisis pour les entretiens semi-directifs, afin de recueillir leur point de vue expert. Néanmoins, cette démarche qualitative ne compense pas entièrement la disparité quantitative initiale.

Troisièmement, la participation reposait sur le volontariat. Les professionnels déjà sensibilisés au monitoring hémodynamique ou intéressés par les technologies prédictives sont probablement ceux qui ont le plus répondu, ce qui peut surestimer l'acceptabilité perçue du HPI.

Enfin, la diffusion du questionnaire sur LinkedIn, censée élargir la base de répondants, a eu un impact marginal : très peu de retours ont été obtenus via ce réseau social et la quasi-totalité des données provient finalement des listes internes des hôpitaux partenaires. Cette faible remontée renforce le caractère local de l'échantillon et accentue les biais précédemment évoqués.

Ces limites justifient la prudence dans la généralisation des conclusions et soulignent l'intérêt de poursuivre les recherches sur un échantillon plus large et plus diversifié, incluant d'autres régions et un équilibre mieux maîtrisé entre IADE et MAR.

2.5 Conclusion méthodologique

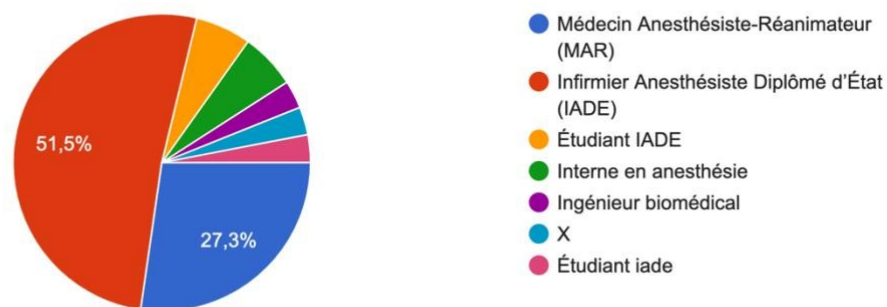
En associant un volet quantitatif descriptif à un volet qualitatif exploratoire, notre étude mixte cherche à conjuguer largeur de champ et profondeur d'analyse. Les résultats attendus devraient offrir une vision d'ensemble des pratiques de gestion de l'hypotension et, dans le même temps, éclairer les motivations et les réserves des cliniciens face à l'introduction d'outils prédictifs comme le HPI. Cette double lecture fournira le socle interprétatif des discussions présentées dans le chapitre III.

PARTIE III RÉSULTATS

I. Profil des répondants

Sur les 33 réponses obtenus la majorité sont des IADE : 17 (51,5 %), suivis des MAR : 9 (27,3 %), des internes/étudiants : 5 (15,1 %) ce qui suggère que les **IADES sont plus accessible que les MAR**, c'est également la raison pour laquelle nous avons interrogé exclusivement les médecins lors de nos entretiens semi directif.

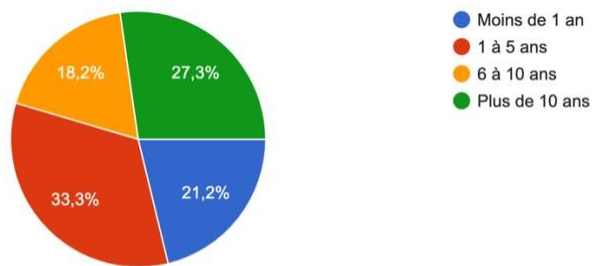
Votre profession
33 réponses



Concernant la question sur l'ancienneté, nous retrouvons une belle hétérogénéité dans les réponses. En effet, 7 personnes ont une ancienneté de moins d'un an, 11 personnes exercent depuis 1 à 5 ans, 6 ont entre 6 et 10 ans d'expérience, et enfin 9 personnes ont plus de 10 ans d'ancienneté.

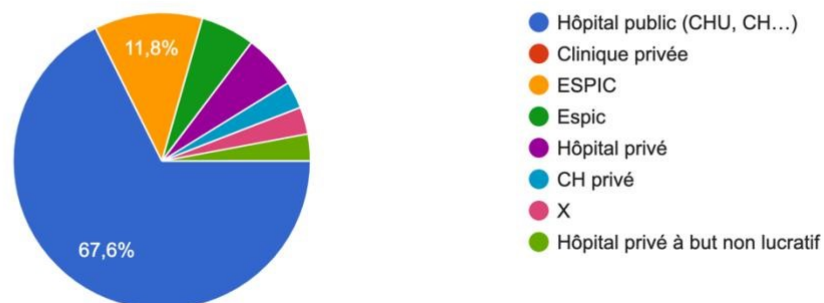
Cette diversité montre que les professionnels interrogés sont issus de parcours variés, ce qui permet d'enrichir les résultats par des points de vue issus de différentes phases de la carrière professionnelle. On y retrouve ainsi aussi bien des professionnels récemment diplômés que des soignants expérimentés, chacun apportant une vision propre de la pratique.

Depuis combien de temps exercez-vous en anesthésie ?
33 réponses



Quant à la question sur le type d'établissement travaillé, la grande majorité provient d'un hôpital public 23 répondants (67,6%) tandis que 9 répondants (27,3 %) exercent dans un établissement de santé privé d'intérêt collectif (ESPIC). Ces résultats sont logiques avec car 3 des 4 établissements interrogés faisait partie du groupe public de l'APHP.

Dans quel type d'établissement travaillez-vous principalement ?
34 réponses

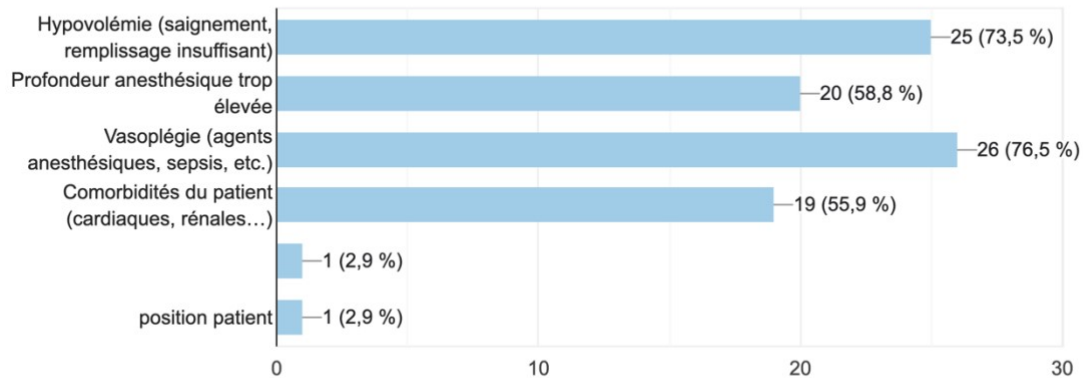


II. Pratiques actuelles face à l'hypotension

1. Causes majeures

Dans votre pratique, quels sont les facteurs les plus fréquents à l'origine d'une hypotension peropératoire ? (sélection multiple possible)

34 réponses



Concernant l'origine de l'hypotension périopératoire, les résultats obtenus auprès des répondants montrent clairement deux principales causes se démarquant nettement des autres : l'hypovolémie (25 citations, soit **76 %**) et la vasoplégie induite par l'anesthésie (26 citations, soit **79 %**).

Ces observations sont confirmées par les témoignages des médecins anesthésistes-réanimateurs interrogés. Le Dr Philippe MARQUES souligne notamment que **l'hypovolémie constitue une cause fréquente** : « Alors je dirais que le plus souvent tout du moins une fois sur deux à peu près c'est l'hypovolémie avec par ailleurs des patients qui peuvent être à jeun qui n'ont Pas pris n'ont Pas eu d'apport Depuis plusieurs heures ». De son côté, le Dr Yeckan DISLI insiste davantage **sur l'impact de la vasoplégie induite** : « alors le truc classique qui arrive le plus souvent c'est à l'induction Surtout de la vasoplégie post induction aux vues des hypnotiques et des gaz halogénés qu'on Utilise ça arrive Souvent ».

Nous observons que également que les comorbidités sont l'une des causes les plus fréquentes d'une hypotension avec 19 répondants ce dernier est confirmé par le Dr Tarek SAIM «ça Dépend du terrain du terrain anesthésique du patient il y a des patients qui sont d'emblée à risque de comorbidité très élevé dès Le départ où ça nécessite beaucoup de présence du médecin durant toute l'intervention » ce qui montre que le patient peut être mené à faire des hypotensions bien plus facilement qu'un patient lambda.

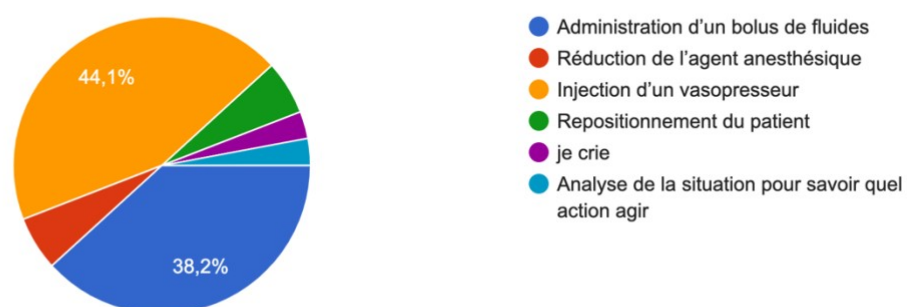
La profondeur anesthésique joue également un rôle important « *alors on va plutôt Dire qu'on adapte notre thérapeutique au cas par cas et aux patients à qui on est en train de s'occuper Et après parfois si on a décidé de mettre du monitoring ou non peut être qu'on Peut s'en Aider mais en tout cas le plus souvent les manœuvres les plus fréquentes qu'on Va faire pour un patient lambda qui présente une hypotension sous anesthésie générale ça Va être De s'assurer De la profondeur d'anesthésie* » nous dit le Dr MARQUES quand la question de la gestion thérapeutique est posée, cela montre que la profondeur hypnotique reste un déterminant clinique majeur : un agent anesthésiant trop dosé peut suffire à expliquer la chute tensionnelle, cela rejoint les 20 réponses que nous donne le questionnaire.

Les témoignages directs des anesthésistes mettent en lumière une réalité clinique vécue régulièrement en salle d'opération, offrant ainsi un éclairage précieux sur les aspects pratiques et concrets de la gestion de l'hypotension périopératoire.

2. Gestes initiaux (bolus / vasopresseur)

Si l'on met de côté les cas d'urgence vitale (ex. hémorragie massive), quelle est, dans la majorité de vos cas, la toute première étape que vous enclenchez lorsqu'une hypotension peropératoire survient ?

34 réponses



Dans la continuité de la question précédente portant sur les facteurs perçus comme les plus courants dans l'apparition d'une hypotension périopératoire, les répondants indiquent clairement leurs choix prioritaires en matière de prise en charge initiale. Ainsi, **44,1 %** des répondants (soit 15 personnes) **privilégient l'administration d'un vasopresseur**, en cohérence avec l'identification de la

vasoplégie comme cause fréquente, mentionnée par le Dr SAIM « *On a une hypotension post induction on appelle ça très Souvent on a une hypotension qui répond bien au 1^{er} au vasopresseur et par la suite au remplissage* »

Ce choix rejoint les recommandations de l'Anesthesia Patient Safety Foundation (2024) [57].

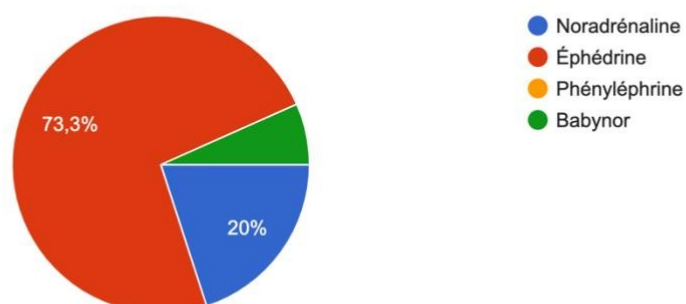
Par ailleurs, l'administration d'un bolus de fluide est choisie par **38,2 %** des répondants (13 personnes), **reflétant l'importance de l'hypovolémie** comme indiqué précédemment par le Dr MARQUES. Ce choix s'inscrit également dans les recommandations formulées par Guarracino & Bertini (2022) [56].

Ces résultats soulignent que les professionnels interrogés privilégient simultanément ces deux approches thérapeutiques, témoignant ainsi d'une gestion équilibrée et complémentaire des principales causes d'hypotension périopératoire.

3. Choix du vasopresseur

Dans le choix spécifique des vasopresseurs, une nette préférence pour l'éphédrine (**73,3 %**) ressort des résultats. Seulement **20 %** choisissent la noradrénaline, conformément aux réserves exprimées par le Dr LARIBI : « La noradrénaline peut compliquer les anastomoses ; je l'utilise après un remplissage, pas en premier ». Ce choix est conforté par la littérature. Dans une étude randomisée récente sur une chirurgie abdominale lourde, Abd Allah et al. (2024) ont comparé l'éphédrine et la noradrénaline pour prévenir l'hypotension : les deux médicaments se sont révélés aussi efficaces l'un que l'autre pour stabiliser la tension, sans effets secondaires supplémentaires. Autrement dit, l'éphédrine n'est pas moins performante que la noradrénaline, ce qui va dans le même sens que nos répondants, dont près **des trois-quarts déclarent l'utiliser en première intention**.

Quel vasopresseur utilisez-vous le plus fréquemment en première intention ?
15 réponses

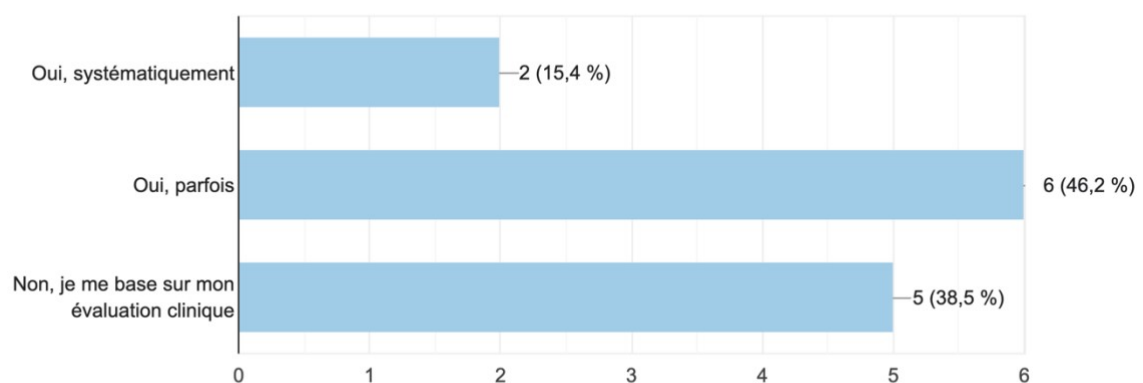


4. Tests de remplissage et monitoring

Interrogés sur l'usage d'un test de remplissage (fluid-challenge) pour évaluer la réactivité volémique, seulement 2 répondants déclarent le pratiquer « systématiquement », 6 « parfois » et 5 « jamais ». Cette faible diffusion contraste avec les recommandations ESAIC/ESA (2018) et Kinsella et al. (2018) qui préconisent un test dynamique appuyé sur un monitoring de type SVV ou PPV. Ces réponses indiquent qu'une majorité relative de professionnels ne pratique pas systématiquement ce test, ce qui suggère une utilisation limitée des paramètres dynamiques SVV/PPV, limitation probablement liée au déficit de monitoring avancé souligné lors des entretiens. « *On pose rarement un monitoring hémodynamique en ortho ; les interventions sont courtes* » nous confie le Dr Sarra LARIBI ce qui peut montrer que le monitoring hémodynamique est utilisé dans un certain type de chirurgie comme le Dr SAID qui nous confirme ceci « *c'est Vraiment là où On aura vraiment le plus besoin de votre (Edwards, BD) présence dans ce genre de chirurgie où Le changement hémodynamique peut être Plus lourd que dans certaines opérations surtout dans la chirurgie hépatite dans les chirurgies en colectomie dans la DPC⁸ ou il y'a beaucoup de variation* »

Avez-vous recours à un test de remplissage (fluid challenge) pour confirmer la réactivité volémique ?

13 réponses



⁸ La Duodénopancréatectomie céphalique est une intervention chirurgicale majeure consistant à retirer la tête du pancréas, le duodénum, la voie biliaire distale et parfois une partie de l'estomac.

III. Monitoring non invasif (ClearSight)

Le terme **ClearSight** revient à plusieurs reprises dans les entretiens, preuve que ce dispositif s'est imposé dans le vocabulaire quotidien des blocs. Le Dr DISLI souligne : « *Si on avait le ClearSight dans chaque salle et que c'était dans les protocoles, on l'utiliserait* ». Le Dr MARQUES insiste sur l'intérêt pratique : « C'est quand même une bonne aide, surtout facile à mettre en place ; comme c'est non invasif, il n'y a pas de geste supplémentaire pour le patient ». Enfin, le Dr SAIM résume l'obstacle principal : « Tout le monde l'utiliserait ; le problème, c'est le matériel ».

Ces témoignages rejoignent la littérature : la revue de Crihan et al. (2025) conclut que les mesures de pression et de débit fournies **par le ClearSight sont fiables pour guider la thérapie**, tout en évitant le risque d'une ponction artérielle [59]. Ce consensus clinique et bibliographique place donc le *ClearSight* comme une alternative non invasive crédible au cathéter artériel lorsque l'on souhaite un suivi hémodynamique continu sans geste invasif, ce qui montre que c'est une alternative intéressante.

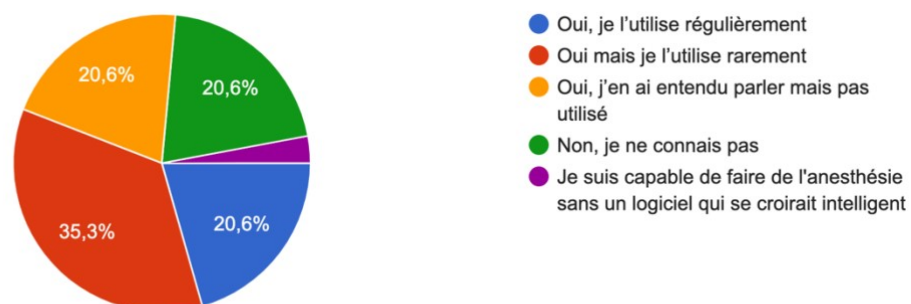
IV. IA prédictive (HPI)

1. Taux d'adoption – perceptions

Connaissance et usage de l'IA prédictive

Avez-vous déjà entendu parler ou utilisé une solution d'IA dans la gestion de l'hémodynamique (ex. Hypotension Prediction Index de l'hemosphere) ? (choix unique)

34 réponses



Parmi les 33 répondants, l'adhésion au ML et plus précisément HPI demeure partagée : 7 (21 %) ne la connaissent pas, 7 (21 %) en ont simplement entendu parler, 12 (36 %) l'utilisent de façon ponctuelle et 7 (21 %) l'emploient régulièrement. Autrement dit, un cinquième du panel a déjà intégré l'HPI dans sa routine, tandis qu'une majorité relative reste au stade de l'essai occasionnel ou de la découverte.

Du côté des partisans convaincus, plusieurs médecins soulignent la valeur ajoutée de l'algorithme. « *Même si la donnée n'est pas parfaite, avoir une tendance et des suggestions aide vraiment à anticiper* » analyse le Dr MARQUES, mettant en avant le rôle d'assistant cognitif. Le Dr SAIM renchérit : « *L'IA prédictive, c'est l'avenir ; ça anticipe des choses qu'on ne voit pas à l'œil nu* », tandis que le Dr DISLI insiste sur le gain de vigilance : « *Quand l'alerte HPI s'allume, ça me force à vérifier le patient avant que la pression ne s'effondre* ». Pour ces praticiens, l'HPI **agit comme un copilote** qui fournit un temps d'avance, sans remplacer le jugement clinique.

À l'inverse, des voix plus réservées subsistent. « *Je n'ai jamais testé l'HPI ; j'en ai seulement entendu parler... mais je serais ouverte à essayer* » admet la Dr LARIBI, illustrant la curiosité mêlée de prudence de ceux qui manquent de formation. Un MAR de l'hôpital Saint-Joseph exprime même un **scepticisme de ces technologies** : « *Les élèves feraient mieux d'apprendre à faire de l'anesthésie plutôt que de jouer avec un ordinateur* ». Ces réserves rappellent que l'acceptation de l'IA dépend avant tout de la formation et de la démonstration clinique de son utilité.

La technologie HPI suscite un enthousiasme mesuré : appréciée par les équipes formées, elle demeure en marge chez celles qui n'ont pas encore acquis le réflexe numérique.

2. Difficultés et formation

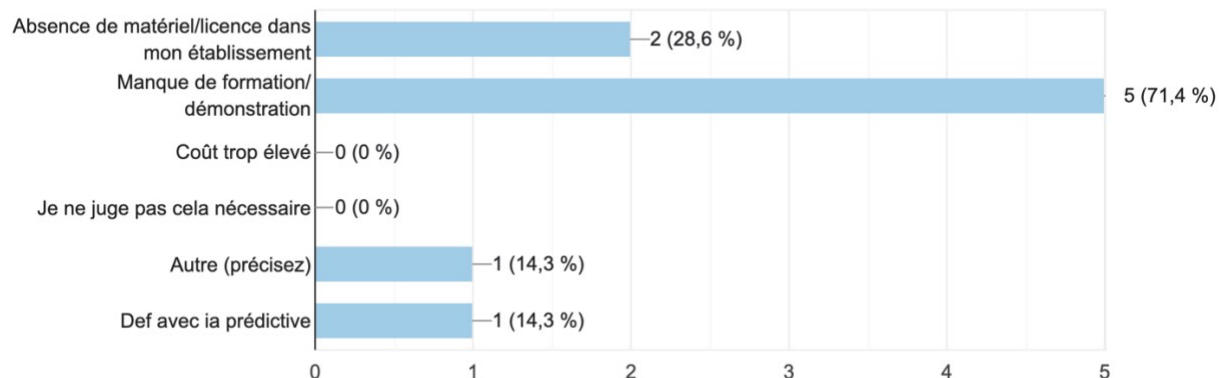
Pour ceux qui ont sélectionné sur la question précédente pour la non connaissance de l'IA dans la gestion hémodynamique on a pu avoir les raisons de

cette méconnaissance et le résultat est plutôt surprenant, 5 sur les 7 ont sélectionné **le manque de formation** et de démonstration malgré que la technologie soit disponible dans leurs blocs opératoires. Cependant le manque de formation ressort plus souvent que on le pense :

Chez les quatorze répondants ayant déjà manipulé l'HPI, les retours sont partagés. 5 (36 %) déclarent n'avoir rencontré aucune difficulté, tandis que 9 (64 %) évoquent des problèmes d'interface, d'alertes tardives ou de surcharge d'informations montrant encore une fois un manque de pédagogie. Les commentaires « Je ne suis pas capable d'interpréter les chiffres » et « Pas assez formé ; utilisation trop ponctuelle » résument bien cette gêne. Les entretiens confirment ce diagnostic : « Le vrai obstacle, c'est le manque de formation ; sinon, le moniteur dort », rappelle le Dr MARQUES ; « *Le manque de formation clairement j'ai déjà eu des gens qui ne savaient pas régler les paramètres De de la machine qui n'est Pas très compliqué en plus il faut savoir aussi interpréter les choses que ce soit moi ou mes collègues infirmier anesthésiste faut savoir interpréter les choses* », ajoute le Dr DISLI.

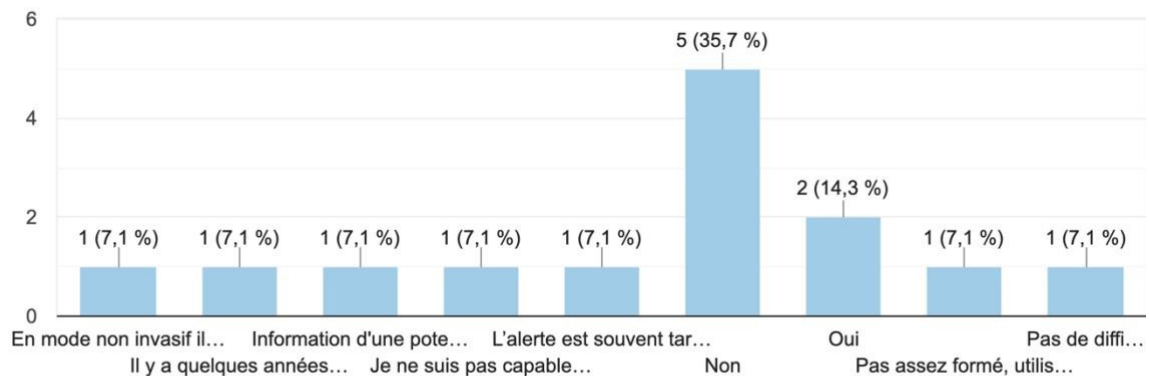
Si vous n'avez jamais utilisé d'outil prédictif, quelle en est la principale raison ? (choix unique)

7 réponses



Avez-vous rencontré des difficultés (alertes erronées, surcharge d'informations...)?

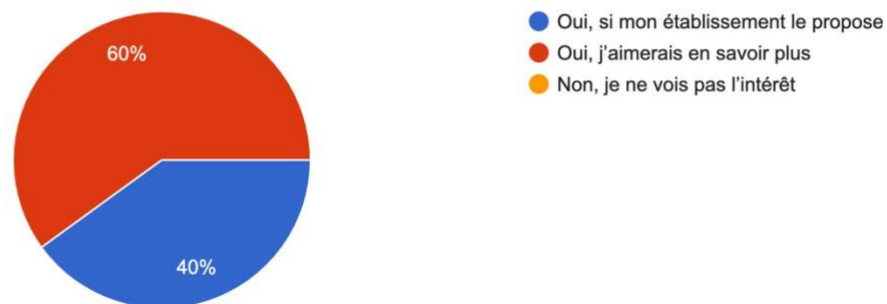
14 réponses



Invités à se projeter, les non-utilisateurs se disent majoritairement ouverts : trois sur cinq (**60 %**) souhaiteraient suivre une formation pour intégrer l'HPI, tandis que les deux autres (**40 %**) testeraient volontiers la technologie si leur établissement la proposait. Aucun refus catégorique n'a été exprimé, signe que la curiosité demeure vive lorsqu'un cadre d'apprentissage est prévu.

Êtes-vous intéressé(e) par l'idée de recourir à l'IA pour prédire l'hypotension peropératoire ?

5 réponses



V. Suggestions finales : ergonomie & formation

Pour conclure cette partie de résultat nous avons pu avoir laissé si ces derniers avait un commentaire ou une suggestion. Parmi les 22 commentaires libres recueillis, une attente émerge nettement : six répondants réclament **un matériel « plus discret »** et directement greffé sur le scope déjà présent, afin d'éviter l'encombrement d'un

boîtier et d'un écran supplémentaire. L'un résume avec simplicité : « *Je voudrais un monitoring intégré au scope plutôt qu'un boîtier en plus ; la machine est encombrante.* » Dans le même esprit, la question **de la formation** revient tout aussi vivement : plusieurs cliniciens soulignent qu'ils ne disposent que d'une « *micro-formation de cinq minutes en pleine intervention* » ou du « *d'une formation d'un collègue* » pour apprivoiser l'outil, ce qui nourrit un sentiment d'inconfort face aux chiffres délivrés. « *Aucune aide cognitive pour savoir utiliser les informations* », regrette ainsi un répondant.

Ces deux revendications, l'intégration ergonomique et l'accompagnement pédagogique structuré forment le véritable fil rouge des suggestions finales ; elles éclairent la discussion à venir sur la faisabilité technique et le modèle économique d'une adoption large de la technologie IA au bloc opératoire.

VI. Synthèse des résultats

Les données recueillies font ressortir un scénario parfaitement cohérent. Lorsqu'une hypotension survient au bloc, les praticiens l'attribuent avant tout à deux mécanismes bien reconnus : d'une part, le manque de liquide chez un patient à jeun ou déjà saigné ; d'autre part, la vasodilatation brusque provoquée par l'induction anesthésique. Ces deux causes dominant nettement les réponses chiffrées et les témoignages des médecins.

La conduite à tenir suit la même logique. Dans la plupart des salles, on commence par administrer un petit bolus d'éphédrine, souvent accompagné d'une charge de cristalloïdes. Ce choix, jugé « réflexe » par les équipes, trouve un écho dans la littérature récente : une étude menée en chirurgie abdominale lourde a montré que l'éphédrine stabilise la pression aussi efficacement que la noradrénaline, sans effet secondaire supplémentaire. L'usage majoritaire de l'éphédrine se voit donc confirmé.

Pourtant, deux obstacles freinent la diffusion des outils les plus récents. Sur le plan matériel, le ClearSight ou l'alerte HPI imposent un écran et des câbles de plus : six répondants demandent expressément qu'on intègre ces fonctions au scope existant pour alléger la table d'anesthésie. Sur le plan humain, la formation reste lacunaire ;

plusieurs professionnels racontent qu'ils n'ont bénéficié que d'une brève démonstration « sur le pouce », ce qui laisse planer des doutes sur l'interprétation des chiffres. Tant que ces deux freins – ergonomie et pédagogie – ne seront pas levés, l'adoption pleine et entière du monitoring non invasif et de l'IA prédictive restera limitée.

En résumé, les équipes savent reconnaître et traiter l'hypotension ; leur préférence pour l'éphédrine est cliniquement défendable. Mais pour que les nouvelles technologies trouvent leur place, il faudra les rendre plus discrètes et mieux accompagnées. L'avenir se jouera donc sur un double chantier : intégrer la technologie au matériel déjà en place et proposer une véritable formation continue, accessible à tous les acteurs du bloc opératoire, c'est dans la partie discussion que nous pourrions mettre en place ces suggestions.

PARTIE IV PRÉCONISATIONS

Dans le prolongement des résultats, cette dernière partie rassemble des pistes concrètes pour faciliter la gestion de l'hypotension au bloc opératoire grâce aux outils de *Machine Learning*, en particulier l'*Hypotension Prediction Index* (HPI). L'objectif est double : d'une part, alléger le poste de travail en intégrant ce monitoring prédictif directement au scope déjà présent ; d'autre part, proposer un parcours de formation simple et régulier pour que chaque membre de l'équipe sache interpréter les nouvelles données en toute confiance. Les recommandations qui suivent décrivent, étape par étape, les ajustements matériels et pédagogiques capables de transformer une innovation encore jugée encombrante ou abstraite en un outil fluide, intuitif et réellement utile au quotidien.

1. Intégrer HemoSphere au scope principal : un module, un capteur, un écran unique

« Si on avait le ClearSight dans chaque salle et que c'était dans les protocoles, on l'utiliserait. » Dr DISLI

Aujourd'hui, la console HemoSphere concentre toutes les briques Edwards :

Module ClearSight / Acumen Cuff (HPI)	Technologies non invasive
Module FloTrac / Acumen Sensor (HPI)	Technologie via KTA
Technologie AFM	Technologie via débitmètre plus logiciel
Module Swan Ganz	Technologie Invasive
Module FORESIGHT	Technologie NIRS ⁹

Tableau 2 Noms des différents modules HemoSphere et technologies associées

⁹ *Near-Infrared Spectroscopy*, méthode non invasive de mesure de l'oxygénation tissulaire par lumière infrarouge.

Placée sur un pied roulé, cette console ajoute un écran, des câbles et un bloc d'alimentation ; dans une salle où l'anesthésiste surveille déjà le scope multiparamétrique, le ventilateur, les seringues et le dossier, elle finit souvent sous-utilisée. Cependant une solution peut être trouvée concernant cet « encombrement »

Un slot unique, plusieurs modules

La proposition consiste à insérer dans le moniteur principal (Philips aujourd'hui, GE ou Dräger demain) **un slot HemoSphere capable d'accueillir un module par technologie**. Chaque module garde son consommable dédié ; Edwards préserve ainsi son modèle « un capteur = un revenu », tandis que le bloc élimine le boîtier **et libère de la place**. L'écran principal ouvre simplement un onglet Hémodynamique ; les courbes et l'alerte HPI s'y affichent en code couleur vert / orange / rouge, sans qu'il soit nécessaire d'allumer un moniteur supplémentaire.

Un précédent concret : le module FloTrac–Philips

Philips a déjà franchi le pas : un de ses moniteurs peut accueillir une carte FloTrac développée avec Edwards. Le débit cardiaque et la SVV issus de la tête de pression s'affichent nativement dans l'onglet « Hémodynamique » du scope, sans boîtier supplémentaire. Cette collaboration prouve qu'un format un « module par technologie » est techniquement et réglementairement faisable ; il suffit d'élargir l'idée aux autres modules de l'HemoSphere.



Figure 6 Cartouche FloTrac® insérée dans un moniteur Philips IntelliVue module d'analyse d'onde de pouls (débit cardiaque et SVV).

Un modèle économique transparent

L'hemosphere disparaît ; il est remplacé par **une licence logicielle annuelle par module**. Pour l'hôpital, la dépense bascule du matériel vers l'abonnement ; pour Edwards, la marge se reporte sur le volume de capteurs (Cuff, Sensor, Swan-Ganz, NIRS) déjà achetés via la centrale d'achat. Le gain n'est pas seulement financier : moins d'électronique à entretenir, moins de plastiques donc plus environnementaux et moins d'encombrement.



Figure 7 Exemple d'affichage intégré des données hémodynamiques via un slot HemoSphere sur moniteur Philips

Indicateurs de succès

Afin de mesurer l'intérêt clinique d'un affichage intégré, nous retiendrons trois indicateurs simples, relevés avant puis six mois après l'installation :

- Temps moyen d'installation du module : ≤ 2 minutes, soit -30% vs. baseline (ex. 2 min 50 s $\rightarrow \leq 2$ min).

Plus le branchement est rapide, moins l'équipe perd de temps au démarrage.

- Taux d'activation effective de l'onglet hémodynamique : +25 points absolus (ex. 55 % $\rightarrow \geq 80\%$).

Un taux en hausse prouve que le module est réellement ouvert et consulté pendant l'intervention.

- Score global de satisfaction (question : « Le module intégré améliore ma pratique » 1-10) : médiane $\geq 8/10$.

Un score élevé traduit à la fois la lisibilité des courbes et la facilité d'usage perçue par MAR & IADE.

Ces critères permettent de mesurer concrètement l'impact d'avoir de modules à la place d'un écran supplémentaire.

Feuille de route

Pour garantir une intégration fluide et mesurable de la technologie des modules HemoSphere sur les moniteurs existants, une stratégie en quatre étapes a été retenue, combinant installation ciblée, évaluation sur données locales, accompagnement pédagogique et consolidation à moyen terme.

Dans un premier temps, deux salles pilotes seront sélectionnées : l'une équipée d'un scope Philips à l'hôpital Saint-Antoine avec le module Acumen Cuff, et l'autre équipée d'un scope Mindray à l'hôpital Mondor avec le module Acumen Sensor. L'installation du slot HemoSphere devra être rapide, idéalement moins de cinq minutes, sans perturber l'organisation existante au bloc. Durant cette phase initiale, un suivi continu sera réalisé pendant plusieurs semaines à travers l'organisation d'un « HPI Day continu », permettant de collecter des données objectives : temps moyen d'installation

du capteur (objectif : ≤ 2 minutes, soit -30 % par rapport à la baseline), taux d'activation réelle de l'onglet hémodynamique durant les interventions (objectif : ≥ 80 %) et satisfaction globale des utilisateurs concernant la facilité d'accès au module (objectif : médiane $\geq 8/10$).

Si ces indicateurs ergonomiques sont atteints, confirmant une réelle simplicité d'utilisation du dispositif, la phase suivante consistera à étendre progressivement l'outil à d'autres salles équipées de scopes Philips, Mindray ou GE au sein de l'AP-HP. Chaque nouvelle activation de module sera accompagnée d'un « mini-HPI Day » de 24 heures afin de s'assurer que les indicateurs d'ergonomie et d'adoption restent au vert. Si ce n'est pas le cas, des actions correctives rapides seront mises en place, telles que des formations flash complémentaires ou des ajustements du câblage.

Dans un troisième temps, les modules experts (AFM, Swan-Ganz et NIRS) seront introduits dans les salles à haute technicité. Des formations complémentaires seront alors proposées : un module e-learning interactif d'environ 20 minutes, ainsi que des sessions de simulation haute-fidélité organisées en partenariat avec le centre PRESAGE, déjà partenaire d'Edwards (nouvellement Becton Dickinson), à raison de quatre sessions par an. Ces sessions permettront aux équipes de s'approprier pleinement les nouvelles fonctionnalités du monitoring avancé dans des conditions réalistes

Enfin, à partir de 18 mois, un suivi semestriel sera mis en place via l'organisation régulière de HPI Days dans les établissements concernés. Ces audits mesureront le temps moyen d'installation des modules, le taux réel d'utilisation de l'onglet hémodynamique et le niveau de satisfaction des utilisateurs. Ces données seront exploitées dans les réunions qualité-sécurité, les protocoles d'ajustement des procédures internes et les réflexions stratégiques concernant la reconduction des licences logicielles. Ce suivi continu vise à pérenniser l'usage du HemoSphere intégré, sécuriser son ancrage dans les pratiques quotidiennes et démontrer concrètement sa valeur ajoutée.

Tout au long de ce processus, un Spécialiste Clinique BD-Edwards sera systématiquement présent pour former et accompagner les équipes en bloc

opérateur, facilitant ainsi l'intégration pratique des modules et l'adoption durable de ces nouvelles technologies dans la prise en charge anesthésique.

Phase	Calendrier & salles	Actions clés	Indicateurs de succès	Responsables
1. Pilote	M-0 → M-3 • 1 salle Saint-Antoine (Philips + Cuff) • 1 salle Mondor (Mindray + Sensor)	• Slot HemoSphere installé (< 5 min) • HPI Day continu 3 mois	Temps mise ≤ 2 min Activation + 25 pts Satisfaction ≥ 8/10	Référent MAR IADE Biomédical
2. Extension	M-4 → M-9 • Toutes salles Philips SA • 2 salles Mindray Mondor • 1 salle GE Cochin	• Activation licences Cuff/Sensor • Mini-HPI Day 24 h après ouverture	Indicateurs Phase 1 maintenus dans chaque nouvelle salle	Chef de service Cadre IADE
3. Modules experts	M-10 → M-18	• Ajout AFM → Swan-Ganz → NIRS • Formation : e-learning 20 min + simulation Presage (4 sessions/an)	≥ 60 % du personnel formé Satisfaction maintenue ≥ 8/10	Professeur référent Achats
4. Audit continu	> 18 mois	• HPI Days semestriels • Réunion trimestrielle	Adoption ≥ 80 % ≤ 15 % d'alertes sans action	Commission qualité BD

Tableau 3 Plan d'action par phases pour l'intégration des modules HemoSphere

Limites de la recommandation « intégrer HemoSphere au scope principal »

Malgré les bénéfices ergonomiques et organisationnels attendus, l'intégration directe des modules HemoSphere dans les moniteurs principaux des blocs opératoires présente plusieurs limites qu'il convient d'identifier en amont :

Dépendance vis-à-vis des fabricants de moniteurs

Le succès de l'intégration directe dépend d'une collaboration étroite et continue avec les fabricants comme Philips, GE ou Mindray. Toute mise à jour majeure ou changement technologique des moniteurs pourrait rapidement rendre les modules incompatibles, générant une dépendance exclusive à des fournisseurs spécifiques et limitant la flexibilité future.

Contraintes réglementaires complexes

Chaque module (Acumen Cuff, Acumen Sensor, AFM, Swan-Ganz, NIRS) nécessite une certification individuelle en tant qu'accessoire compatible avec chaque modèle de moniteur cible. Cette obligation accroît considérablement la charge administrative et technique pour l'obtention des **marquages réglementaires** (CE, FDA), avec un risque important de délais prolongés dans la mise en service clinique.

Limitations liées à l'interopérabilité informatique

Certains établissements hospitaliers, notamment à l'AP-HP, ne disposent pas systématiquement d'interfaces automatisées pour exporter les données des scopes vers leur dossier patient informatisé (type Orbis). En l'absence de middleware ou de solutions HL7, les données collectées via les journées HPI Day pourraient rester cloisonnées au bloc opératoire, limitant leur utilisation dans une stratégie plus large d'assurance qualité ou de recherche clinique.

Incertitude budgétaire à moyen terme

Bien que l'intégration élimine le coût d'acquisition initial du boîtier HemoSphere, l'approche par abonnement logiciel annuel induit de nouvelles dépenses récurrentes, accompagnées de coûts de maintenance des slots intégrés aux moniteurs existants. Si l'utilisation des capteurs consommables (Cuff, Sensor, Swan-Ganz, NIRS) n'atteint pas les objectifs fixés, l'équilibre économique global pourrait s'avérer moins avantageux que prévu initialement.

Formation continue et maintien des compétences

Même en assurant la présence régulière d'un Spécialiste Clinique BD-Edwards, la dynamique d'adoption durable reste un défi, notamment en raison du fort renouvellement des équipes d'anesthésistes et d'IADE. Sans une stratégie soutenue et systématique d'accompagnement et de formation continue, l'intégration matérielle pourrait ne pas suffire à garantir l'utilisation optimale et régulière de ces modules intégrés.

Indicateurs limités à l'ergonomie d'utilisation

Les indicateurs retenus (temps d'installation, taux d'activation, satisfaction utilisateur) permettent certes d'évaluer l'ergonomie et la facilité d'utilisation du dispositif, mais ils ne mesurent pas directement l'impact clinique sur les complications per- ou postopératoires telles que les insuffisances rénales ou les incidents cardiovasculaires. Ce manque de données cliniques plus étendues pourrait affaiblir l'argumentation en faveur de l'intégration de ces modules auprès des instances décisionnaires hospitalières.

2. Renforcer la confiance dans la fiabilité de HPI

Le scepticisme reste palpable chez certains praticiens, comme observé durant les échanges réguliers avec les anesthésistes interrogés au cours de la construction de ce mémoire. Plusieurs témoignages illustrent une réticence vis-à-vis des outils prédictifs comme l'HPI, jugés opaques et intrusifs, au point de compromettre leur adoption par les équipes médicales.

Pour lever ces résistances et renforcer durablement la confiance en HPI, deux approches complémentaires sont proposées : une démonstration locale rigoureuse de sa pertinence clinique et un réentraînement régulier et transparent de l'algorithme prédictif.

Fournir des données locales de performance pour une prise de conscience terrain

Dans un premier temps, pour contrer le scepticisme exprimé par les utilisateurs potentiels, une démarche simple mais efficace sera mise en place : l'organisation régulière de sessions d'observation appelées « HPI Days passifs ». Lors de ces journées, HPI restera actif mais sans influencer directement les décisions thérapeutiques prises par les anesthésistes. Chaque alerte sera enregistrée, puis comparée a posteriori aux événements hémodynamiques réellement observés pendant la chirurgie. Ces données concrètes, issues directement des établissements

concernés, permettront aux praticiens d'observer objectivement la précision de l'outil sur leur propre terrain clinique. Par ailleurs, ces résultats seront restitués lors de réunions d'équipe dédiées, au cours desquelles seront discutés ouvertement les succès et les limites observés, renforçant ainsi la transparence et la confiance dans la technologie.

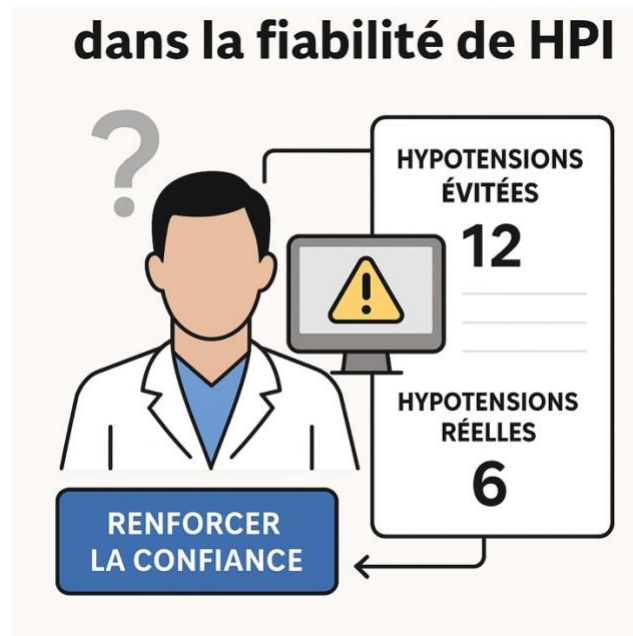


Figure 8 Parcours de consolidation de la confiance dans l'algorithme HPI

Concrètement, à l'issue de chaque session trimestrielle, une réunion de restitution sera organisée en présence des MAR, IADE, internes, mais aussi d'un représentant de BD. Ces réunions présenteront de manière transparente et argumentée :

- Le taux de concordance entre les alertes HPI et les épisodes réels d'hypotension,
- Le délai moyen constaté entre l'alerte et l'événement clinique réel,
- L'impact clinique en termes de réduction du temps cumulé sous une PAM de 65 mmHg par patient.

Ces résultats locaux et objectifs permettront aux équipes de dépasser les perceptions abstraites et d'évaluer directement la pertinence clinique de l'outil prédictif.

Indicateurs clés suivis durant ces séquences :

- Concordance alerte/événement réel cible $\geq 85 \%$
- Délai moyen entre alerte et chute réelle < 2 minutes
- Réduction du temps cumulé sous seuil PAM de 65 mmHg : objectif de -40% sur 12 mois

Ces données seront ensuite affichées sur un tableau de bord accessible à tous dans les espaces communs du bloc opératoire, facilitant ainsi une prise de conscience continue et collective.

Mise en place d'événements cliniques et pédagogiques réguliers

En complément de ces observations locales, des événements périodiques plus larges seront instaurés pour étendre la sensibilisation et la formation continue des équipes. Tous les six mois, des Rencontres Cliniques Prédicatives seront organisées dans différents centres hospitaliers régionaux réputés, tels que l'APHP (Paris), le CHU de Lyon ou encore l'APHM¹⁰ (Marseille).

Ces rencontres permettront de réunir des anesthésistes, des infirmiers spécialisés (IADE), ainsi que des internes et des étudiants. Le programme inclura des sessions pratiques sur simulateurs haute-fidélité permettant aux participants de tester l'HPI en conditions réalistes. Des retours d'expérience seront présentés par des équipes déjà expérimentées et convaincues par l'usage de HPI, favorisant ainsi un partage transversal de bonnes pratiques.

Parallèlement, des webinaires techniques et scientifiques de 60 minutes seront organisés chaque semestre. Animés par des experts médicaux reconnus, des représentants de BD et des enseignants universitaires, ils fourniront un cadre structuré

¹⁰ Assistance publique des hôpitaux de Marseille

pour la diffusion d'informations actualisées sur les performances cliniques et les avancées technologiques de l'HPI. Ces sessions interactives seront enregistrées et disponibles en replay, permettant à chaque établissement hospitalier d'y accéder librement.

Un réentraînement triennal collaboratif et international de l'algorithme

Afin d'assurer que l'algorithme HPI conserve son efficacité prédictive optimale dans un contexte chirurgical en perpétuelle évolution, une stratégie de réentraînement régulière est nécessaire tous les trois ans.

Ce réentraînement s'appuiera sur des établissements qui ont **une maîtrise avancée de la technologie HPI ou spécialisés dans certains types précis de chirurgie** (par exemple abdominale lourde, chirurgie cardiovasculaire, urologique, etc.). Le choix de ces établissements experts permettrait de bénéficier de données particulièrement fiables et représentatives des meilleures pratiques.

- Cardio-thoracique : Cleveland Clinic, États-Unis
- Chirurgie hépatobiliaire : King's College Hospital, Royaume-Uni
- Urologie robotique : National University Hospital, Singapour
- Chirurgie digestive complexe : Hôpital Beaujon (AP-HP), France

Les signaux physiologiques collectés (anonymisés via une passerelle sécurisée HL7) seront traités par l'équipe dédiée du Data-Lab BD. Chaque mise à jour sera soumise à une validation réglementaire simplifiée afin d'assurer une intégration fluide des améliorations.

Chaque actualisation de l'algorithme sera accompagnée d'un bulletin clinique détaillé, incluant les modifications techniques, l'impact clinique attendu, ainsi que les limites

identifiées. Ce bulletin sera diffusé aux établissements utilisateurs, complété par un webinaire explicatif pour assurer une prise en main efficace par les praticiens.

Limites et points d'attention de cette démarche :

Toutefois, cette proposition présente des limites importantes. Premièrement, l'HPI étant fondé sur l'analyse d'ondes de pouls, il se peut que la marge d'amélioration via des données supplémentaires soit faible si les caractéristiques fondamentales d'analyse sont déjà bien établies et peu sensibles aux évolutions des pratiques courantes. Deuxièmement, un réentraînement fréquent pourrait être perçu négativement par certains praticiens, induisant une sensation d'instabilité ou d'inconstance dans les performances de l'outil.

Enfin, sur le plan réglementaire, chaque modification significative du modèle pourrait nécessiter une validation supplémentaire, au minimum via des procédures simplifiées de type FDA ou une revue par les organismes européens de certification CE. Ce cadre réglementaire, bien que flexible, nécessiterait une gestion rigoureuse et anticipée pour éviter tout retard dans le déploiement clinique.

Cette stratégie équilibrée, combinant preuves concrètes sur site et amélioration continue, permettrait une intégration plus fluide, progressive et surtout mieux acceptée du HPI par les équipes médicales.

3. Perspectives d'intégration thérapeutique et pharmacologique

Enfin, une piste prometteuse, à approfondir dans le cadre de la soutenance orale, consiste à intégrer progressivement à l'HPI une dimension pharmacologique et interventionnelle plus poussée. En effet, l'algorithme pourrait être enrichi de fonctionnalités capables d'intégrer directement les données issues des systèmes de perfusion médicamenteuse ainsi que les informations chirurgicales (type d'intervention, clampage aortique, etc.). Cette intégration offrirait un système

d'assistance prédictif encore plus personnalisé, capable d'ajuster ses alertes et ses recommandations en temps réel selon les interventions thérapeutiques en cours et les caractéristiques pharmacodynamiques propres aux drogues utilisées.

Cette proposition, qui nécessiterait un travail d'intégration technique et clinique approfondi, représenterait une avancée majeure vers un monitoring véritablement dynamique et contextualisé, offrant ainsi une réponse complète à la problématique posée : optimiser la stabilité hémodynamique périopératoire en combinant précision algorithmique, pertinence clinique et adaptabilité thérapeutique.

Ainsi, ces pistes convergent vers un même cap : faire du monitoring prédictif un réflexe aussi naturel que la vérification d'un brassard, en réunissant sur l'écran principal les modules HemoSphere, en accompagnant chaque déploiement d'un rituel pédagogique court mais régulier, puis en prouvant, chiffres locaux à l'appui, que l'algorithme HPI alerte juste et à temps ; demain, l'ouverture aux données de perfusion et aux gestes chirurgicaux prolongera cette dynamique en offrant un modèle capable de s'adapter non seulement au patient, mais aussi à la thérapeutique en cours, condition indispensable pour passer d'un outil innovant à un véritable standard de soins.

CONCLUSION

L'hypotension peropératoire reste aujourd'hui un enjeu majeur en anesthésie. Elle survient encore fréquemment au bloc opératoire, allonge la durée de récupération des patients et augmente le risque de complications. Pourtant, les blocs sont de plus en plus équipés en dispositifs de monitoring avancés. Ce paradoxe montre que le problème ne vient pas seulement d'un manque de technologie, mais plutôt de la manière dont ces outils sont intégrés dans l'environnement de travail et utilisés par les équipes. Ce travail, fondé sur une revue de la littérature, une enquête terrain et des retours de professionnels de santé, montre que la technologie, seule, ne suffit pas : elle est réellement efficace quand elle s'inscrit dans une organisation structurée, partagée, et accompagnée par une formation adaptée.

L'un des freins identifiés est la fragmentation des écrans. Quand plusieurs moniteurs sont utilisés simultanément, l'attention de l'anesthésiste est divisée, ce qui complique la prise de décision. Intégrer directement les modules hémodynamiques au moniteur principal permet de rassembler les données essentielles sur un seul support, et ainsi d'améliorer la lisibilité et la réactivité. Un autre point important est l'absence de protocoles clairs sur l'interprétation des alertes générées par l'algorithme. Sans règles communes, chaque professionnel peut comprendre et réagir différemment, ce qui limite l'efficacité du système. Enfin, la confiance reste une condition indispensable : un signal n'a d'effet que s'il est perçu comme fiable et utile. C'est pourquoi un accompagnement par la formation, basé sur des situations concrètes, est nécessaire pour favoriser l'appropriation de ces outils par les équipes.

À partir de ces constats, deux solutions principales sont proposées. La première est l'intégration logicielle du module de prédiction dans le moniteur hémodynamique principal, pour simplifier l'accès aux informations et réduire le nombre d'écrans à surveiller. La seconde est la mise en place de journées « HPI passives », pendant lesquelles l'algorithme fonctionne en arrière-plan sans afficher d'alerte en temps réel. Ces données sont ensuite analysées pour évaluer leur pertinence. Cette méthode permet aux équipes de se familiariser progressivement avec le système et de juger de sa fiabilité sans contrainte immédiate.

Ces approches favorisent l'adoption progressive de l'outil. Lorsqu'un professionnel constate que les alertes auraient permis d'anticiper une hypotension, il est plus enclin à faire confiance à l'algorithme. Cela transforme peu à peu l'outil en une aide pratique intégrée dans la routine clinique. Le but n'est pas d'ajouter une couche de complexité, mais de proposer une aide à la décision claire, directement intégrée au flux de travail. Si l'hypotension continue d'être sous-estimée, ce n'est donc pas parce que les technologies sont insuffisantes, mais parce qu'elles ne sont pas toujours utilisées dans des conditions favorables : affichage peu lisible, absence de règles, ou manque de formation.

Ce travail ouvre plusieurs perspectives. Il sera nécessaire d'évaluer, dans de futures études, l'impact réel de ces outils sur la réduction des complications postopératoires graves. D'autres paramètres vitaux, comme la saturation en oxygène ou le rythme cardiaque, pourraient également faire l'objet d'alertes prédictives grâce au développement de nouveaux algorithmes. À plus long terme, l'analyse croisée des données issues de l'anesthésie, de la chirurgie et de la réanimation permettra de concevoir des systèmes intelligents capables d'anticiper de manière plus globale les déséquilibres hémodynamiques tout au long de la prise en charge du patient.

Au final, ce n'est pas seulement la performance des algorithmes qui compte, mais la manière dont ils s'intègrent au travail des soignants. Le *Machine Learning* n'a pas vocation à remplacer les professionnels, mais à renforcer leur capacité d'anticipation, à améliorer leur vigilance et à soutenir leur prise de décision. Pour cela, la collaboration entre l'humain et la technologie doit rester au centre du processus.

Dans ce contexte d'évolution rapide, une question reste posée : jusqu'où le développement du *Machine Learning* nous permettra-t-il, dans les années à venir, de réduire de manière significative les épisodes d'hypotension peropératoire, tout en maintenant la confiance, la compréhension et la maîtrise des équipes soignantes ?

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Bercot, R. (2007). Le bloc chirurgical : Diversité des pratiques et des articulations avec les autres services (Rapport final). DREES.
- [2] Gourgand, M., & Rodier, S. (2011). Un outil d'aide au dimensionnement, à la planification et à la visualisation d'un programme opératoire. *Logistique & Management*, 19(2), 15-28.
- [3] Trilling, L., Guinet, A., & Le Magny, D. (2007). Planification des infirmiers anesthésistes : analyse comparative des performances de différents solveurs. *Logistique & Management*, 15(1), 5-16.
- [4] Jebali, A., & Bouchriha, H. (2007). Évaluation de deux stratégies de planification des interventions dans un bloc opératoire central. *Logistique & Management*, 15(1), 27-36.
- [5] Levresse-Toussaint, S. (2020). Bloc opératoire : leadership au service de la performance. *Projectics/Proyética/Projectique*, (HS), 85-113.
- [6] Cohen-Selmon, A. S. (2024). Prendre soin au bloc opératoire : Ibode et caring – étude descriptive. *Revue Francophone Internationale de Recherche Infirmière*, 10(4), 100346.
- [7] Theissen, A., & Cohen, P. (2017). La relation chirurgien–anesthésiste à l'heure de la réhabilitation. *Journal de Chirurgie Viscérale*, 154(4), 314-315.
- [8] Kharraja, S., Albert, P., & Chaabane, S. (2007). Impact de la mise en place d'une salle d'induction mutualisée dans un bloc opératoire. *Logistique & Management*, 15(1), 85-93.
- [9] Chaabane, S., & Guinet, A. (2004). Une approche hiérarchique d'aide à la décision pour la gestion des blocs opératoires. *Logistique & Management*, 12(Suppl. 1), 79-92.
- [10] Berghmans, J. M., Poley, M. J., van der Ende, J., Weber, F., Van de Velde, M., Adriaenssens, P., ... & Utens, E. (2017). A visual analog scale to assess anxiety in children during anesthesia induction (VAS-I). *Pediatric Anesthesia*, 27(9), 955-961.
- [11] Myrberg, T., Lindelöf, L., & Hultin, M. (2019). Effect of pre-operative fluid therapy on haemodynamic stability during anesthesia induction. *Acta Anaesthesiologica Scandinavica*, 63(9), 1129-1136.
- [12] Centre Hépatobiliaire. (n.d.). Déroulement d'une intervention. <https://www.centre-hepato-biliaire.org/soin-traitement/interventions/deroulement.html>
- [13] Liu, L. L., & Larson, M. D. (2022). Patient safety during anesthesia : 100 years of progress documented in Anesthesia & Analgesia. *Anesthesia & Analgesia*, 135(2 Suppl.), S37-S47.

- [14] Fellahi, J.-L., Futier, E., Vaisse, C., Collange, O., Huet, O., Loriau, J., ... & Longrois, D. (2021). Perioperative haemodynamic optimisation : from guidelines to implementation. *Annals of Intensive Care*, 11, 58.
- [15] Sessler, D. I., Bloomstone, J. A., Aronson, S., Berry, C., Gan, T. J., Kellum, J. A., & Shaw, A. D. (2019). PQI consensus on intra-operative blood pressure, risk and outcomes. *British Journal of Anaesthesia*, 122(5), 563-574.
- [16] Walsh, M., Devereaux, P. J., Garg, A. X., Kurz, A., Turan, A., Rodseth, R. N., ... & Sessler, D. I. (2014). Relationship between intraoperative MAP and outcomes after non-cardiac surgery. *Survey of Anesthesiology*, 58(4), 184-185.
- [17] Kouz, K., Hoppe, P., Briesenick, L., & Saugel, B. (2020). Intra-operative hypotension : Pathophysiology, relevance, and therapy. *Indian Journal of Anaesthesia*, 64(2), 90-96.
- [18] Downey, C. L., Bainbridge, J., Jayne, D. G., & Meads, D. M. (2023). Impact of in-hospital post-operative complications on quality of life. *British Journal of Surgery*, 110(9), 1206-1212.
- [19] Haidar, S., Vazquez, R., & Medic, G. (2023). Impact of surgical complications on hospital costs and revenues. *Journal of Comparative Effectiveness Research*, 12(7), e230080.
- [20] Bijker, J. B., Persoon, S., Peelen, L. M., et al. (2007). Incidence of intra-operative hypotension as a function of the chosen definition. *Anesthesiology*, 107(2), 213-220.
- [21] Weinberg, L., Li, S. Y., Louis, M., Karp, J., Poci, N., Carp, B. S., ... & Lee, D.-K. (2022). Reported definitions of intra-operative hypotension in adults. *BMC Anesthesiology*, 22, 69.
- [22] Vernooji, R., et al. (2021). Incidence and variability of intra-operative hypotension : A multicentric analysis. *Journal of Clinical Anesthesia*, 35, 16-22.
- [23] Albaladejo, P. (2013). La pression artérielle: encore et toujours un monitoring important en péri-opératoire!. *Mapar*, 113-118.
- [24] Bijker, J. B., van Klei, W. A., Vergouwe, Y., Eleveld, D. J., Moons, K. G. M., & Kalkman, C. J. (2009). Intra-operative hypotension and 1-year mortality after non-cardiac surgery. *Anesthesiology*, 111(6), 1217-1226.
- [25] Wesselink, E. M., Kappen, T. H., Torn, H. M., Slooter, A. J. C., & van Klei, W. A. (2018). Intra-operative hypotension and the risk of adverse outcomes : A systematic review. *British Journal of Anaesthesia*, 121(4), 706-721.
- [26] Lonjaret, L., Lairez, O., Minville, V., & Geeraerts, T. (2014). Optimal peri-operative management of arterial blood pressure. *Integrated Blood Pressure Control*, 7, 49-59.

- [27] Abelha, F. J., Botelho, M., Fernandes, V., & Barros, H. (2009). Determinants of post-operative acute kidney injury. *Critical Care*, 13, R79.
- [28] Chertow, G. M., Burdick, E., Honour, M., Bonventre, J. V., & Bates, D. W. (2005). AKI, mortality, length of stay and costs in hospitalised patients. *Journal of the American Society of Nephrology*, 16(11), 3365-3370.
- [29] INSEE. (2024). Projections démographiques France 2024. INSEE.
- [30] Futier, E., Lefrant, J.-Y., Guinot, P.-G., Godet, T., Lorne, E., Cuvillon, P., ... & Pereira, B. (2017). Individualised vs standard BP management and organ dysfunction. *JAMA*, 318(14), 1346-1357.
- [31] OMS. (2015). World report on ageing and health. Organisation Mondiale de la Santé.
- [32] Lee, N., Kim, K., & Kim, H. (2023). Severe bradycardia and hypotension induced by autonomic neuropathy in a diabetic patient. *Saudi Journal of Anaesthesia*, 17(1), 80-82.
- [33] Dumont, G. F. (2024). Le vieillissement de la population : une notion plurielle. CDC-Recherche.
- [34] Smit-Fun, V., & Buhre, W. F. (2016). The patient with chronic heart failure undergoing surgery. *Current Opinion in Anesthesiology*, 29(3), 391-396.
- [35] Meersch, M., Schmidt, C., & Zarbock, A. (2016). The patient with chronic renal failure undergoing surgery. *Current Opinion in Anesthesiology*, 29(3), 413-420.
- [36] Haren, A. P., Nair, S., & Brock, K. (2021). Intra-operative monitoring of the obese patient: A narrative review. *Advances in Therapy*, 38(7), 3622-3651.
- [37] Vlisides, P. E., & Mashour, G. A. (2017). Neurocognitive outcomes after cardiac surgery : Targets for study. *Anesthesiology*, 127(5), 838-851.
- [38] Velly, L., Pellegrini, C., & Pastene, B. (2021). Multivisceral failure in ICU : How to prevent it ? *Critical Care Clinics*, 37(2), 161-175.
- [39] Wijnberge, M., van der Ster, B., Vlaar, A. P., Hollmann, M. W., Geerts, B. F., & Veelo, D. P. (2022). Effect of intermittent vs continuous NIBP monitoring on detection of intra-operative hypotension. *Journal of Clinical Medicine*, 11(14), 4083.
- [40] Pour-Ghaz, I., Manolukas, T., Foray, N., Raja, J., Rawal, A., Ibebuogu, U. N., & Khouzam, R. N. (2019). Accuracy of non-invasive and minimally invasive haemodynamic monitoring : Where do we stand ? *Annals of Translational Medicine*, 7(17), 421.
- [41] Hadian, M., Kim, H. K., Severyn, D. A., & Pinsky, M. R. (2010). Cross-comparison of cardiac output trending accuracy of LiDCO, PiCCO, FloTrac and PAC. *Critical Care*, 14, R212.

- [42] Sangkum, L., Liu, G. L., Yu, L., Yan, H., Kaye, A. D., & Liu, H. (2016). Minimally invasive or non-invasive cardiac output measurement : An update. *Journal of Anesthesia*, 30, 461-480.
- [43] Myatra, S. N., Jagiasi, B. G., Singh, N. P., & Divatia, J. V. (2024). Role of artificial intelligence in haemodynamic monitoring. *Indian Journal of Anaesthesia*, 68(1), 93-99.
- [44] Frassanito, L., Di Bidino, R., Vassalli, F., Michnacs, K., Giuri, P. P., Zanfini, B. A., ... & Draisci, G. (2023). Personalized predictive haemodynamic management for gynaecologic oncologic surgery. *Journal of Personalized Medicine*, 14(1), 58.
- [45] Singh, M., & Nath, G. (2022). Artificial intelligence and anesthesia : A narrative review. *Saudi Journal of Anaesthesia*, 16(1), 86-93.
- [46] Kendale, S., Kulkarni, P., Rosenberg, A. D., & Wang, J. (2018). ML predictive analytics for post-induction hypotension. *Anesthesiology*, 129(4), 675-688.
- [47] Kambale, M., & Jadhav, S. (2024). Applications of AI in anesthesia : A systematic review. *Saudi Journal of Anaesthesia*, 18(2), 249-256.
- [48] Vanhonacker, D., Verdonck, M., & Nogueira Carvalho, H. (2022). Closed-loop technology, ML, and AI : Impact on patient safety and future of anesthesia. *Current Anesthesiology Reports*, 12(4), 451-460.
- [49] Hatib, F., Jian, Z., Buddi, S., Lee, C., Settels, J., Sibert, K., ... & Cannesson, M. (2018). Machine-learning algorithm to predict hypotension from high-fidelity arterial pressure waveform. *Anesthesiology*, 129(4), 663-674.
- [50] Ripollés-Melchor, J., Ruiz-Escobar, A., Fernández-Valdes-Bango, P., Lorente, J. V., Jiménez-López, I., Abad-Gurumeta, A., ... & Monge-García, M. I. (2023). Hypotension Prediction Index : From reactive to predictive management. *Frontiers in Anesthesiology*, 2, 1138175.
- [51] Wijnberge, M., et al. (2020). Early-warning ML system for intra-operative hypotension (the HYPE trial). *JAMA*, 323(11), 1052-1060.
- [52] Bao, X., et al. (2024). Acumen HPI guidance for prevention and treatment of hypotension in non-cardiac surgery. *Perioperative Medicine*, 13, 13.
- [53] Bignami, E., et al. (2023). HPI-guided goal-directed therapy during major gynaecologic oncologic surgery. *Journal of Clinical Monitoring and Computing*. Advance online publication.
- [54] Saugel, B., & Michard, F. (2023). Predicting intra-operative hypotension : From hope to hype and back. *British Journal of Anaesthesia*, 131(1), 1-4.
- [55] Dewhurst, E., et al. (2022). The Hypotension Prediction Index and clinical outcomes : Time to change our focus. *Anesthesiology*, 137(4), 268-270.

- [56] Guarracino F., & Bertini P. (2022). Perioperative hypotension: causes and remedies. *Journal of Anesthesia, Analgesia and Critical Care*, 2(1), 17.
- [57] Scott M. J., Turan A., Angus S., et al. (2024). Perioperative Patients With Hemodynamic Instability: Consensus Recommendations of the APSF. *Anesthesia & Analgesia*, 138(4), 713-724.
- [58] Kinsella S. M., Carvalho B., Dyer R. A., et al. (2018). International consensus statement on the management of hypotension with vasopressors during caesarean section under spinal anaesthesia. *Anaesthesia*, 73(1), 71-92.
- [59] Crihan, M., Alexa, A. L., Valean, D., & Ionescu, D. (2025). Continuous Non-Invasive Hemodynamic Monitoring in Cirrhotic Patients—Friend or Foe?. *Medicina*, 61(3), 536.
- [60] Wang, Y., Zhang, Y., Zheng, J., Dong, X., Wu, C., Guo, Z., & Wu, X. (2023). Intraoperative pleth variability index-based fluid management therapy and gastrointestinal surgical outcomes in elderly patients: a randomised controlled trial. *Perioperative Medicine*, 12(1), 16.
- [61] Yousef Abd Allah, M. Y., Youssef Abd-Allah, M. Y., Elshehawi, M. E., & Awad, K. A. (2023). Ephedrine versus norepinephrine infusion for prevention of haemodynamic instability after declamping of the aorta in abdominal aortic aneurysm repair. *Mansoura Medical Journal*, 53(2), 1.
- [62] Ouattara, A., & Biais, M. (2014). Quel monitoring hémodynamique au bloc opératoire?
- [63] Marik, P. E., Baram, M., & Vahid, B. (2008). Does central venous pressure predict fluid responsiveness?*: A systematic review of the literature and the tale of seven mares. *Chest*, 134(1), 172-178.
- [64] Ripollés-Melchor, J., Ruiz-Escobar, A., Fernández-Valdes-Bango, P., Lorente, J. V., Jiménez-López, I., Abad-Gurumeta, A., ... & Monge-García, M. I. (2023). Hypotension prediction index: From reactive to predictive hemodynamic management, the key to maintaining hemodynamic stability. *Frontiers in Anesthesiology*, 2, 1138175.
- [65] Bergholz, A., Greiwe, G., Kouz, K., & Saugel, B. (2023). Continuous blood pressure monitoring in patients having surgery: a narrative review. *Medicina*, 59(7), 1299.
- [66] Monge García, M. I., García-López, D., Gayat, É., Sander, M., Bramlage, P., Cerutti, E., ... & Saugel, B. (2022). Hypotension prediction index software to prevent intraoperative hypotension during major non-cardiac surgery: protocol for a European Multicenter Prospective Observational Registry (EU-HYPROTECT). *Journal of Clinical Medicine*, 11(19), 5585.

- [67] Šribar, A., Jurinjak, I. S., Almahariq, H., Bandić, I., Matošević, J., Pejić, J., & Peršec, J. (2023). Hypotension prediction index guided versus conventional goal directed therapy to reduce intraoperative hypotension during thoracic surgery: a randomized trial. *BMC anesthesiology*, 23(1), 101.
- [68] Lorente, J. V., Ripollés-Melchor, J., Jiménez, I., Becerra, A. I., Mojarro, I., Fernández-Valdes-Bango, P., ... & Monge-García, M. I. (2023). Intraoperative hemodynamic optimization using the hypotension prediction index vs. goal-directed hemodynamic therapy during elective major abdominal surgery: the Predict-H multicenter randomized controlled trial. *Frontiers in Anesthesiology*, 2, 1193886.
- [69] Michard, F., & Futier, E. (2023). Predicting intraoperative hypotension: from hope to hype and back to reality. *British Journal of Anaesthesia*, 131(2), 199-201.
- [70] Michard, F., Mulder, M. P., Gonzalez, F., & Sanfilippo, F. (2025). AI for the hemodynamic assessment of critically ill and surgical patients: focus on clinical applications. *Annals of Intensive Care*, 15(1), 26.

Table des Figures

Figure 1 Plan d'un bloc opératoire centrale [1].....	6
Figure 2 schéma des trois phases opératoires	10
Figure 3 Les effectifs de 65 ans ou plus en France : une « gérontocroissance » accentuée depuis les années 2010, source Dumont, 2023 (Le vieillissement de la population : une notion plurielle) [33].....	19
Figure 4 Interface du logiciel Acumen Hypotension Prediction Index Source : Edwards Lifesciences, Acumen HPI Clinical Evidence 2023.....	33
Figure 5 Mail envoyé à Mr ANGELI cadre IADE à l'hôpital Saint Joseph	41
Figure 6 Cartouche FloTrac® insérée dans un moniteur Philips IntelliVue module d'analyse d'onde de pouls (débit cardiaque et SVV).....	59
Figure 7 Exemple d'affichage intégré des données hémodynamiques via un slot HemoSphere sur moniteur Philips	60
Figure 8 Parcours de consolidation de la confiance dans l'algorithme HPI.....	66

Table des Tableaux

Tableau 1 Liste des entretiens effectués avec les différents anesthésistes.....	42
Tableau 2 Noms des différents modules Hemosphere et technologies associées	58
Tableau 3 Plan d'action par phases pour l'intégration des modules Hemosphere	63

Glossaire

Acute Kidney Injury (AKI) : Insuffisance rénale aiguë caractérisée par une chute brutale du débit de filtration glomérulaire et/ou une élévation de la créatininémie.

Autorégulation : Capacité d'un organe (cerveau, cœur, reins) à maintenir un flux sanguin constant malgré les variations de pression artérielle jusqu'à un certain seuil

Baisse relative : Définition de l'hypotension fondée sur une diminution $\geq 20-30\%$ de la PA par rapport à la valeur de base

Défaillance multiviscérale : Dysfonction aiguë et simultanée d'au moins deux organes vitaux qui menace le pronostic vital (ex. cœur–rein–poumons).

Durée de l'épisode : Temps pendant lequel la PA reste sous le seuil défini ; un allongement accroît le risque d'évènements indésirables

Goal-Directed Therapy (GDT) : Stratégie de prise en charge hémodynamique qui ajuste de façon proactive les fluides et/ou les vasopresseurs pour atteindre des cibles prédéfinies de perfusion tissulaire.

Hémostase : Ensemble des techniques (compression, coagulation, produits hémostatiques) utilisées pour arrêter un saignement

Hypotension per-opératoire : Baisse marquée de la PA pendant la chirurgie, susceptible de compromettre la perfusion des organes

Hypertendu chronique : Patient dont la PA habituelle est durablement élevée et dont la tolérance à l'hypotension est réduite

Ischémie : Insuffisance d'apport sanguin (et donc d'oxygène) entraînant une souffrance tissulaire

Machine Learning (ML) : Ensemble de méthodes d'IA capables d'apprendre automatiquement des modèles à partir de données - ici utilisées pour la prédiction hémodynamique.

Perfusion tissulaire : Apport sanguin aux tissus, dépendant essentiellement de la PA et du débit cardiaque

Périopératoire : Période englobant les phases pré-, per- et post-opératoires

Pression artérielle (PA) : Force exercée par le sang sur la paroi des artères ; se mesure en valeurs systolique et diastolique.

Pression artérielle moyenne (PAM) : Valeur « moyenne » reflétant la perfusion globale des organes ; seuil critique souvent situé à 65 mmHg

Pulse-Pressure Variation (PPV) : Variation cyclique de la pression pulsée au cours du cycle respiratoire, utilisée pour prédire la réponse à un remplissage vasculaire.

Seuil absolu : Définition de l'hypotension basée sur une valeur fixe (ex. $PAM < 65 \text{ mmHg}$) quelle que soit la PA de base

Stroke-Volume Variation (SVV) : Variation du volume d'éjection systolique durant le cycle respiratoire, indicateur dynamique de précharge.

Thermodilution : Technique de mesure du débit cardiaque par injection d'un bolus froid et analyse de la variation de température.

Liste des abréviations

AKI : Acute Kidney Injury

ASA : American Society of Anesthesiologists

AFM : Assisted Fluid Management

BIS : Bispectral Index

DC : Débit cardiaque

dP/dt : Pente maximale de la montée de pression ventriculaire gauche

GDT: *Goal-Directed Therapy*

HPI: *Hypotension Prediction Index*

IA : Intelligence artificielle

IADE : Infirmier Anesthésiste Diplômé d'État

IBODE : Infirmier de Bloc Opératoire Diplômé d'État

IC : Insuffisance cardiaque

INSEE : Institut national de la statistique et des études économiques

IRC : Insuffisance rénale chronique

MAR : Médecin Anesthésiste-Réanimateur

ML : *Machine Learning*

PA : Pression artérielle

PAM : Pression artérielle moyenne

PiCCO : *Pulse-Contour Cardiac Output*

PMT : Plateau Médico-Technique

PPV : *Pulse-Pressure Variation*

PVC : Pression veineuse centrale

QALY: *Quality-Adjusted Life Year*

SVV: *Stroke-Volume Variation*

ANNEXES

Annexe I : Questionnaire en ligne

Caractéristiques professionnelles :

Quelle est votre profession ?

.....

Depuis combien de temps exercez-vous en anesthésie ?

- Moins de 1 an
- 1 à 5 ans
- 5 à 10 ans
- Plus de 10 ans

Dans quel type d'établissement travaillez-vous principalement ?

- Hôpital public (CHU, CH...)
- Clinique privée
- Autre (précisez) :

Pratiques et gestion de l'hypotension peropératoire :

Facteurs d'hypotension : **Dans votre pratique, quels sont les facteurs les plus fréquents à l'origine d'une hypotension peropératoire ? (Sélection multiple possible)**

- Hypovolémie (saignement, remplissage insuffisant)
- Profondeur anesthésique trop élevée
- Vasoplégie (agents anesthésiques)
- Comorbidités du patient (cardiaques, rénales...)
- Autres :

Première intervention : **Quelle est la toute première étape que vous déclenchez lorsqu'une hypotension peropératoire survient (hors urgence vitale) ?**

.....

Gestion par fluides : **Quel type de fluide privilégiez-vous en premier lieu ?**

- Cristalloïdes (NaCl 0,9 %, Ringer lactate, etc.)
- Colloïdes
- Autres (précisez) :

Avez-vous recours à un test de remplissage (fluid challenge) pour confirmer la réactivité volémique ?

- Oui
- Non, je me base sur mon évaluation clinique

Gestion anesthésique : **Quel paramètre ajustez-vous prioritairement pour diminuer la profondeur anesthésique ?**

.....

Quels signes ou mesures (BIS, pression artérielle, FC, etc.) vous poussent à modifier l'agent anesthésique plutôt qu'à recourir aux fluides ou aux vasopresseurs ?

Sur une échelle de 1 (rarement) à 5 (très souvent), à quelle fréquence utilisez-vous une évaluation de la profondeur anesthésique (BIS ou autre) pour guider la correction de l'hypotension ?

.....

Gestion par vasopresseurs : **Quel vasopresseur utilisez-vous le plus fréquemment en première intention ?**

- Noradrénaline
- Ephédrine
- Phényléphrine

Quelles situations ou caractéristiques du patient vous amènent à choisir un vasopresseur d'emblée plutôt que des fluides ou un ajustement anesthésique ?

Estimez-vous que la vasopression représente souvent une solution transitoire ("bridge") avant de corriger la cause sous-jacente, ou une solution définitive ?

- Plutôt transitoire
- Peut devenir définitive selon la cause ou autre

Manœuvres prioritaires : **Quelle manœuvre appliquez-vous en priorité pour corriger une hypotension ?**

Dans quelles situations jugez-vous cette approche particulièrement efficace ?

.....

Pourriez-vous décrire brièvement la stratégie initiale que vous mettez en place en cas d'hypotension peropératoire ?

.....

Si vous adoptez une démarche "autre", quelle logique guide votre choix ?

.....

Intelligence artificielle et gestion prédictive :

Expérience avec l'IA : **Avez-vous déjà entendu parler ou utilisé une solution d'IA dans la gestion hémodynamique (ex. Hypotension Prediction Index de l'Hemosphere) ?**

- Oui

- Non

Si oui, depuis quand l'utilisez-vous et dans quel cadre ?
.....

Quels bénéfices avez-vous constatés ? (Sélection multiple possible)

- Alerte précoce
- Réduction des épisodes hypotensifs
- Meilleure gestion globale
- Autres :

Avez-vous rencontré des difficultés avec cet outil (fausses alertes, surcharge d'informations...) ?

À votre avis, dans quelle mesure (de 1 à 5) cela pourrait-il améliorer votre gestion de l'hypotension ?

Si vous n'avez jamais utilisé d'outil prédictif, quelle en est la principale raison ?

- Manque de formation/démonstration
- Coût trop élevé
- Scepticisme quant à l'efficacité
- Autre (précisez) :

Intérêt et perspectives : Êtes-vous intéressé(e) par l'idée de recourir à l'IA pour prédire l'hypotension peropératoire ?

- Oui
- Non
- Peut-être

Sur une échelle de 1 (peu d'intérêt) à 5 (intérêt majeur), comment évaluez-vous l'idée d'adopter une approche prédictive de l'hypotension dans votre bloc opératoire ?

Quelles améliorations ou évolutions souhaiteriez-vous voir en matière de monitoring hémodynamique (IA ou autres) ?
.....

Commentaires supplémentaires :
.....

Annexe II : Autorisation d'utilisation du nom Pour les entretiens Semi directif

AUTORISATION D'UTILISATION DU NOM DANS LE CADRE D'UN MEMOIRE

Je soussigne(e), Dr DISLI Yekcan, autorise M. Bilal Rahmani, etudiant a l'ILIS - Universite de Lille,
a mentionner mon nom et prenom dans le cadre de son memoire intitule :

'Comment le machine learning permet d'ameliorer la condition patient au bloc operatoire'

Cette autorisation est donnee uniquement a des fins academiques, dans le cadre de la redaction,
de l'evaluation et de la soutenance de ce memoire, et ne saurait etre utilisee a d'autres fins sans
mon accord prealable.

Fait pour servir et valoir ce que de droit.

Fait a : CRETEIL _____

Le : 04 / 04 / 2025

Signature :  _____

Annexe III Guide D'entretien semi directif

Guide d'entretien semi-directif pour Anesthésistes-Réanimateurs (MAR) et Infirmiers Anesthésistes (IADE)

Mémoire de Master 2

February 23, 2025

Introduction et objectifs

Bonjour,

Je m'appelle **Bilal Rahmani**, étudiant en Master 2. Dans le cadre de mon mémoire, je mène une étude sur la **gestion de l'hypotension peropératoire** et la possibilité d'améliorer la **prise en charge du patient au bloc opératoire** grâce à l'**intelligence artificielle (IA)**.

Cet entretien semi-directif vise à recueillir votre **expérience professionnelle** et votre **vision** des pratiques actuelles. Les informations partagées seront intégrées à mon travail de recherche, avec mention de votre participation si vous le souhaitez.

Guide d'entretien

1. Parcours professionnel et organisation du bloc

1. **Pourriez-vous vous présenter brièvement ?**
(Votre statut, nombre d'années d'expérience, type d'établissement, spécialités chirurgicales avec lesquelles vous travaillez le plus souvent, etc.)
2. **Comment décririez-vous l'organisation générale du bloc opératoire dans lequel vous travaillez ?**
(Nombre d'interventions par jour, répartition des salles, gestion des flux de patients, composition de l'équipe, etc.)

2. Gestion de l'hypotension peropératoire

3. **Quelles sont, selon vous, les causes les plus courantes d'hypotension peropératoire dans votre pratique ?**
(Ex. hypovolémie, vasoplégie, profondeur anesthésique, comorbidités du patient, etc.)
4. **Lorsque vous observez une chute tensionnelle en cours d'intervention, quelle est votre stratégie initiale pour la corriger ?**
(Administration de fluides, vasopresseurs, ajustement anesthésique, etc.)
5. **Pourriez-vous me décrire un exemple concret où vous avez dû gérer une hypotension persistante ?**
(Quels gestes, enchaînement d'actions, concertation avec le chirurgien, etc.)

3. Évaluation des protocoles et approches existantes

6. **Pratiquez-vous des protocoles de "Goal-Directed Therapy" ou utilisez-vous un monitoring hémodynamique avancé ?**
(Analyse de l'onde de pouls, thermodilution, etc. Dans quelles situations, pour quels patients ?)
7. **Comment jugez-vous l'efficacité de ces protocoles et techniques pour réduire la durée des épisodes hypotensifs ?**
(Suffisamment précis ? Facile à interpréter ? Quelle influence sur la morbi-mortalité ?)
8. **Quels obstacles, selon vous, ralentissent ou empêchent l'adoption de méthodes plus standardisées pour gérer l'hypotension ?**
(Contrainte matérielle, manque de formation, habitudes, etc.)

4. Connaissance et usage de l'Intelligence Artificielle

9. **Avez-vous déjà entendu parler de dispositifs d'IA prédictifs, par exemple le "Hypotension Prediction Index" (HPI) ?**
(En avez-vous discuté en congrès, au bloc, via des collègues, etc. ?)
10. **Si oui, avez-vous déjà expérimenté ou vu utiliser ce type de solution dans votre pratique ?**
(Quels retours d'expérience ? Quels résultats ?)
11. **Si non, seriez-vous ouvert(e) à l'essayer ?**
(Quelles conditions ou garanties souhaiteriez-vous avoir pour vous lancer ?)

5. Impact sur la condition du patient

12. **Pensez-vous que l'usage d'un algorithme prédictif (ex. HPI) puisse améliorer la condition générale du patient ?**
(Moins d'épisodes hypotensifs prolongés, réduction des complications, etc.)
13. **Quelles seraient, selon vous, les meilleures voies d'intégration de l'IA dans la routine anesthésique au bloc ?**
(Formation, validation scientifique, accompagnement par la direction, etc.)
14. **Si vous aviez à recommander ou non l'IA pour gérer l'hypotension, sur quels arguments vous baseriez-vous ?**
(Argumentation sur la sécurité, la qualité, le coût, la fiabilité...)

6. Conclusion

15. **Avez-vous des suggestions ou remarques finales quant à la gestion de l'hypotension peropératoire, ou à l'implémentation d'IA en anesthésie ?**
(Tout point important non évoqué précédemment ?)

Remerciements

Merci beaucoup d'avoir accepté de participer à cet entretien. Vos **témoignages** et votre **expertise** sont d'une grande valeur pour mon mémoire de Master 2, et permettront d'éclairer la façon dont l'hypotension peropératoire est gérée, ainsi que le potentiel apport de l'intelligence artificielle dans la prise en charge du patient au bloc opératoire.

Annexe IV : Entretien Semi directif avec Le Dr MARQUES

Bilal Rahmani : Bonjour à vous **M. Marques**, merci à vous de m'accueillir aujourd'hui pour cet entretien concernant votre **expertise sur la gestion au bloc de l'hypotension**, ainsi que sur les **nouvelles technologies** en termes **d'intelligence artificielle**. Commençons.

Du coup, je me présente : je m'appelle Bilal Rahmani, je suis actuellement étudiant en Master 2 Ingénierie de la Santé à l'ILIS, et je voudrais recueillir votre expertise. Alors pour commencer, pourriez-vous vous présenter brièvement ? Depuis combien d'années vous travaillez en tant que médecin anesthésiste ? Le type d'établissement dans lequel vous travaillez ? Est-ce qu'il y a des spécialités sur lesquelles vous intervenez plus souvent **au** bloc opératoire, etc. ?

Philippe Marques : Donc moi je suis Docteur Marques Philippe, et je suis anesthésiste-réanimateur depuis deux ans à l'hôpital Paris Saint-Joseph, principalement dans les secteurs **d'orthopédie** et de **chirurgie vasculaire**.

Bilal Rahmani : D'accord, très bien. Vous pouvez me décrire comment se déroule l'organisation générale au bloc opératoire ? Vous recevez le planning une semaine avant ou c'est du jour au lendemain ?

Philippe Marques : En fait, on a un logiciel sur lequel il y a la planification du bloc opératoire d'une semaine à l'autre, avec des ajustements qui sont faits selon les urgences et les modifications. Et donc sur ce programme, on y a accès, et on peut le consulter pour les jours à venir. Ensuite, tout est informatisé, donc les consultations d'anesthésie, les résultats d'exams et autres sont disponibles sur les logiciels de l'hôpital. Et puis, au bloc opératoire, on a généralement les assises de salle à s'occuper, avec des chirurgies diverses qui peuvent être des anesthésies générales, des chirurgies longues, des chirurgies hémorragiques, mais aussi des gestes plus courts, de l'anesthésie loco-régionale. Donc c'est assez diversifié, et ça varie de jour en jour.

Bilal Rahmani : D'accord. Et si vous avez une préférence, par exemple sur un type d'intervention, est-ce que vous pouvez le demander, ou vous êtes obligé de suivre le planning ?

Philippe Marques : En général, on **se tient au planning**. Et puis après, on peut s'arranger, en en parlant avec nos responsables, pour voir si on a un **pôle qui nous attire plus que d'autres**, et auquel cas y être un peu plus souvent. Mais le but, c'est quand même **de rester polyvalent** sur le maximum de spécialités.

Bilal Rahmani : D'accord, très bien. Alors, concernant la gestion de l'hypotension per-opératoire, quelles sont selon vous **les causes les plus courantes** de l'hypotension dans votre pratique ? Parce que c'est souvent **l'hypovolémie**, ou les **médicaments**, ou les **vasopresseurs** ?

Philippe Marques : Alors je dirais que le plus souvent, tout du moins **une fois sur deux à peu près**, c'est **l'hypovolémie**. Avec, par ailleurs, des patients qui peuvent être à jeun, qui n'ont pas pris, n'ont pas eu d'apport depuis plusieurs heures. Après, il peut aussi y avoir de **l'analgésie**, c'est-à-dire que notre induction, et les **drogues d'induction**, elles sont **hypotensives**. Et donc, parfois, peut-être que **le patient a réagi beaucoup**, ou que **la posologie était un petit peu supérieure** à ce qu'on aurait pu faire. Et puis je dirais que c'est surtout ça : **l'hypovolémie** et les **médicaments d'anesthésie**.

Bilal Rahmani : D'accord.

Philippe Marques : Et puis après, bien sûr, l'état d'un patient. Si on le prend en urgence pour un choc hémorragique ou un choc septique, là, forcément, on part déjà **avec une hypotension dès le départ**.

Bilal Rahmani : D'accord. Et du coup, c'est selon cette cause que vous allez adapter votre **thérapeutique** pour contrer l'hypotension ? Ou est-ce qu'il y a un **protocole standardisé** ?

Philippe Marques : Alors on va plutôt dire qu'on **adapte notre thérapeutique au cas par cas**, selon le patient qu'on prend en charge. Et puis parfois, si on a décidé de mettre du **monitorage**, on peut s'en aider. Mais en tout cas, le plus souvent, les gestes

qu'on va faire pour un patient lambda qui présente une hypotension sous anesthésie générale, ça va être de vérifier la **profondeur d'anesthésie**, de faire un **remplissage vasculaire**, et d'utiliser des amines vasopressives comme la **noradrénaline**. Ce sont les choses qu'on fait **le plus fréquemment en routine**, voilà.

Bilal Rahmani : D'accord. Donc, quand vous voyez l'hypotension, c'est-à-dire une **PAM à 65 mmHg ou moins**, c'est à ce moment-là que vous déclenchez votre traitement ? Vous regardez tous les paramètres en même temps ?

Philippe Marques : Exactement, on regarde tout en même temps. On va essayer de s'aider du maximum de paramètres. C'est pour ça que parfois, le **monitorage** peut être utile. Bien sûr, on a le **scope**, on a la **capno**, mais on a aussi parfois une **courbe d'artère**, et sur les **chirurgies longues**, on a les **gaz artériels** via un **cathéter artériel**. Donc il faut qu'on réfléchisse avec plusieurs éléments pour être le plus efficace possible.

Bilal Rahmani : Merci à vous. Auriez-vous un exemple concret en tête, d'un cas d'hypotension qui vous a marqué car difficile à gérer ?

Philippe Marques : Eh bien, il n'y a pas si longtemps, un pontage fémoral chez un patient en chirurgie vasculaire, donc comorbide : hypertendu, coronarien. Et il a présenté une hypotension post-induction qui nous a un peu occupés, parce que, même si la profondeur d'anesthésie était correcte, qu'on avait fait des **épreuves de remplissage** et augmenté les doses de vasopresseurs, l'hypotension restait encore là. En plus, on avait des objectifs un peu plus élevés : on visait plutôt 70 mmHg de PAM que 65. Donc il a fallu qu'on ajuste tout ça. Et grâce au **monitorage**, aux tests de remplissage, à l'évaluation du VES et des résistances, on a pu trouver le bon compromis entre remplissage vasculaire par cristalloïdes, majoration des amines vasopressives, contrôle de l'anesthésie (on avait l'entropie, donc ça c'était bon). Finalement, ça a permis de stabiliser, puis de mener la chirurgie sans encombre. Le patient a été réveillé et extubé en fin d'intervention, sans défaillance d'organes. Donc un cas plutôt **intéressant en chirurgie vasculaire**.

Bilal Rahmani : D'accord. Et comme vous l'avez très bien dit, vous utilisez des outils qui vous permettent d'avoir des informations supplémentaires par rapport à un

monitorage classique. Est-ce que vous utilisez, par exemple, des protocoles **Goal Directed Therapy**, ou un **monitorage hémodynamique** plus poussé ?

Philippe Marques : Oui, alors le **monitorage hémodynamique** qu'on peut utiliser, c'est soit du non invasif avec le système du volume clamp (clearsight), ou bien du monitorage invasif avec un cathéter artériel. Soit on a juste l'onde de pouls, soit on a des dispositifs qui donnent une estimation du VES ou du débit cardiaque. Ça, c'est le monitorage qu'on utilise le plus souvent au bloc. Par contre, on n'a pas de Doppler œsophagien, on ne fait pas de Swan-Ganz ici à Saint-Joseph. Donc le plus courant, c'est du non invasif ou de l'artériel, soit pour lire les pressions, soit en y ajoutant un module pour un monitorage plus complet.

Bilal Rahmani : D'accord très Bien je vous remercie d'accord très Bien je vous remercie avez-vous déjà utilisé d'autres monitorages tels que le PICCO ou d'autres monitorages et dans quel cas

PHILIPPE MARQUES : J'ai utilisé le PICCO en réanimation sur Des patients en état de choc avec un SDA puisque le Pico avait l'avantage d'évaluer L'hémodynamique, le débit cardiaque et aussi l'eau pulmonaire donc c'est Des gens qui ont Des défaillances pulmonaires ça Peut être bien utile le Doppler Oesophagien en réanimation et au bloc opératoire et puis la Swan ganz sur des chirurgies thoraciques qui sont assez longues et parfois compliquées avec de l'hypertension artérielle pulmonaire sévère.

Bilal Rahmani : D'accord très Bien je vous remercie comment jugez-vous l'efficacité de ces de ces de ce monitorage de ces protocoles pour réduire une durée d'épisodes hypotensifs

PHILIPPE MARQUES : Alors je pense que c'est des moniteurs qui sont intéressants parce qu'ils nous alertent parfois un petit peu plus précocement que ce qu'on A l'habitude d'observer en pratique courante ça nous donne beaucoup de beaucoup de chiffres beaucoup de valeur donc à mon sens elles ne sont pas toutes justes ou pas bien sûr Toutes fiables cela dit leurs variation peuvent être intéressantes et donc ça nous permet peut être d'ajuster Un peu plus finement ou de voir si notre intuition qui

pourrait être De l'hypovolémie Je vais le remplir est ce que cette intuition est la bonne ou pas et de plus vite soit continuer dans la bonne voie ou au contraire de faire un petit peu machine arrière Tout du moins de changer sur une autre thérapeutique qui pourrait être les vasopresseurs contrôle de la fréquence cardiaque enfin d'autres solutions et donc pour moi ces Moniteur et surtout les chiffres qui nous donnent et les variations qui nous donnent sont utiles pour adapter Nos thérapeutiques au coût Par coût Et ça nous aide par coup et ça nous aide à Réfléchir après Je pense très honnêtement qu'il Faut pas se baser que sur les chiffres que ça nous donne mais c'est Quand même Une bonne aide qui est surtout assez facile à Mettre en place puisque si c'est non invasif bon bah c'est Non invasif et si c'est Quelque chose qu'on rajoute par exemple sur un cathéter artériel qu'on a décidé de mettre de toute façon c'est Pas quelque chose de supplémentaire pour le patient il n'y a pas de geste en plus et ça sera juste de notre côté Des informations qu'on aura à Discuter et à interpréter pour choisir ce qui nous semble être La meilleure prise en charge

Bilal Rahmani : D'accord très Bien je vous remercie du coup avec si j'ai Bien compris que cette technologie-là d'avoir Des informations qui vont nous permettre justement d'ajouter La thérapeutique, Il ne faut pas vraiment le prendre en tant que tel mais vraiment le prendre en tant qu'assistant ?

PHILIPPE MARQUES : Ca c'est mon avis bien sûr Parce que sur les dispositifs qui auront une estimation du débit cardiaque c'est Basé à Ma maison sur des algorithmes qui sont propres à Chaque fabricant et sur des données de population que nous on a pas en tant que praticien et donc le chiffre qui nous est donné il est sorti sur une grosse base de données donc peut être Que c'est Un chiffre qui est juste ou peut-être Pas et finalement c'est Pas c'est Pas ça qui me semble le plus intéressant ou le **plus pertinent** c'est plutôt De voir comment ce chiffre va varier avec l'anesthésie Parce que si même le Chiffre initial n'est Pas la stricte réalité **la variation** est souvent corrélée à La clinique et donc on peut se servir de ces variations pour adapter au mieux ce qu'on Peut ce qu'on fait pour les patients.

Bilal Rahmani

D'accord très Bien merci à Vous est ce que selon vous Y a t-il des obstacles qui justement ralentissent ou empêchent l'adoption de ces méthodes plus stratégiques pour la gestion des d'hypotensions ?

PHILIPPE MARQUES : Alors je pense que comme obstacle il y a le fait que ça soit toujours des petites choses en plus alors on la dit ce n'est Pas forcément grand-chose mais **c'est Un monitoring de plus sur un écran de plus c'est des branchements de plus à Faire donc parfois ça Peut paraître fastidieux si on n'a Pas l'habitude De s'en Servir fréquemment.**

Ensuite il faut être là Et les regarder ces moniteurs c'est à dire il y a de ça pour le coup il y'a des papiers qui ont déjà montré que même Si on monitore très bien les patients si en fait on n'agit Pas tout de suite l'hypotension Elle va quand même être là Donc c'est Dommage et puis je pense qu'il peut y avoir une réticence un petit peu peut être Que ce qui a un frein aussi c'est Le fait de ne pas vouloir être remplacé ou de ne pas vouloir avoir des choses qui réfléchissent à La place des pratiques enfin des professionnels de santé donc ça c'est Une question d'opinion.

Moi je pense que c'est **une aide** que tout aide est bonne à Prendre donc après Justement les humains et les professionnels de santé Ils sont là Pour faire un peu la part des peu la part des choses entre ce qui peut être utile et pas utile mais peut être que pour certaines personnes ils n'ont Pas envie d'être entre guillemets remplacés par l'ordinateur Qui leur dit attention votre patient va être hypotendu d'accord Une part un peu de technicité c'est à dire faire des branchements mettre un câble De plus etc le fait qu'il Faut l'interpréter Faut être là Il faut aussi être formé comme on l'a déjà On l'a déjà fait ensemble quand on a été au bloc opératoire sur comment ça Marche que est ce que c'est Fiable pas fiable etc et peut être parfois un petit peu de crainte sur les nouvelles technologies qui pourraient remplacer ou diminuer la part de la réflexion des équipes.

Bilal Rahmani : D'accord très Bien merci à Vous du coup Si j'ai Bien compris c'est Vraiment le manque de formation qui peut être Un frein total à Cette technologie parce que quanton ne sait pas on va pas utiliser le fait que avec l'évolution Des technologies on va retrouver du coup le fait que les uns que les nouvelles technologies vont peut-être Remplacer l'humain Et qu'il y ait cette peur au final de ne plus rien faire et donc

ne plus avoir ce poids et est-ce que pensez-vous également que le budget peut être également un frein dans ces établissements assez pratique ?

PHILIPPE MARQUES : Le budget c'est Quand même Toujours un argument important parce que tous les moniteurs tout le matériel qu'on a au bloc va devoir coûter De l'argent Et effectivement en tout cas je pense qu'on peut pas dire que toutes les salles opératoires et que tous Les patients de tous les jours auront tous un monitoring invasif ou non parce qu'effectivement ça a un coût Et peut être Que c'est pas pertinent par exemple chez des patients qui ont une chirurgie courte qui n'ont Qui sont pas comorbidités de faire du monitoring Il est vrai que du matériel supplémentaire au bloc opératoire ça a un coût Il faut que ça soit justifié que ce soit pertinent il faut que les établissements au sens large puissent se le permettre bien sûr Et comme le monitoring c'est très Vaste il existe plein de choses différentes après Il faut choisir lequel on prend etc donc bien sûr Que le coût On pourrait même dire maintenant l'impact écologique qui rentre beaucoup en ligne de compte maintenant c'est Des choses qui prêtent à Réfléchir est ce que c'est Des choses recyclable Est Ce que c'est Des choses qui sont qu'en plastique etc ça Peut être aussi un sujet de réflexion.

Bilal Rahmani : D'accord très Bien merci à Vous maintenant parlons d'intelligence artificielle avez-vous déjà entendu parler de dispositifs d'intelligence artificielle prédictive par exemple le HPI que Edwards via l'hémosphère qui vous permettrait qui vous permettrait de gérer l'hypotension ou plus généralement l'anesthésie Au bloc opératoire ?

PHILIPPE MARQUES : Alors moi celui que je connais premièrement c'est l'HPI avec la prédiction d'une hypotension qui va survenir on va dire minutes qui suivent donc c'est Celui-ci que j'ai utilisé et que je connais un petit peu.

Bilal Rahmani : D'accord très Bien avez déjà Utilisé qui est le cas quel retour d'expérience Quel en est le résultat en êtes-vous satisfait ?

PHILIPPE MARQUES : Là Encore c'est Un petit peu la même Réponse que j'ai fait tout à l'heure Sur les monitorages c'est à Dire que ça nous permet d'avoir Une alerte

un petit peu plus précoce et ça c'est Bien peut être Que cette alerte elle sera fausse c'est à Dire que le patient est peut-être qu'il Va vraiment pas être hypotendu mais tout du moins ça nous permet d'être vigilant peut être de bien vérifier qu'à ce moment-là Est ce que notre volémie est optimal est ce que la profondeur d'anesthésie est Toujours ok donc ça nous permet de faire un petit point de vigilance que je trouve intéressant souvent quand ça a sonné en prédiction d'hypotension Il y avait souvent une hypotension qui arrivait pas à infallible on peut pas encore une fois se baser que là-dessus mais je pense que c'est Au moins une préalerte Qui nous permet de rester vigilant de continuer à Se poser les questions et de ne pas être forcément satisfait l'induction s'est bien passée maintenant voilà ça va continuer. Mais voilà ça me permet de rester un peu à se challenger au quotidien d'accord Je trouve que c'est Encore une fois une aide utile qui n'est pas indispensable et qui n'est pas non plus infallible mais qui peut donner quelques services.

Bilal Rahmani : D'accord très bien du coup si j'ai Bien compris ça va vraiment vous aider à adapter encore une fois en ayant une proactivité dans la majorité des cas qui vont vous permettre d'éviter Cette hypotension parfait est ce que vous pensez que par exemple HPI puisse améliorer la condition générale du patient si on se base par rapport à ses recommandations ?

PHILIPPE MARQUES : Alors je pense que si on arrivait à prévenir toutes les hypotensions donc il n'y ait plus aucun moment d'hypotension Sur une chirurgie probablement que les outcomes seraient positifs puisqu'on a déjà montré par contre que l'hypotension c'était délétère pour le patient pour le cerveau pour les reins Donc si on est arrivé à Faire du sans hypotension je pense que ça aurait un effet réellement positif par contre est ce que c'est possible de faire chez tous les patients de toutes les chirurgies sans hypotension avec ou sans intelligence artificielle ça Je ne sais pas si c'est Réaliste effectivement rien que le fait peut-être qu'il y'ait des hémorragies et des choses imprédictibles Ou des choses sur lesquelles on ne peut pas agir c'est sûr Que ça résout pas tous les problèmes Mais encore une fois c'est Un moyen de plus moyen de plus pour essayer d'améliorer En tout cas la prise en charge des patients bien sûr.

Bilal Rahmani : Merci à Vous, quelles seraient selon vous les meilleures voies d'intégration dès l'intelligence artificielle dans la gestion dans la routine anesthésique au bloc par exemple une formation des validations scientifiques qui permettraient de vous donner une certaine aisance ou une certaine confiance en temps ce dernier de l'accompagnement ou autre ?

PHILIPPE MARQUES : Je pense que des papiers **de la littérature scientifique ça serait toujours positif** parce que ça nous donnerait une base en disant bah ok c'est connu en utilisant telle ou telle chose on a montré une amélioration du pronostic donc là ça validerait plus qu'un ressenti clinique ou de l'impression Et ensuite comme vous l'avez Dit de la formation tout simplement pour qu'on Sache l'utiliser Et l'interpréter comme il faut parce que comme tout matériel c'est nouveau Il y a de l'informatique Il y a des choses qu'on ne savait pas forcément et voilà Ces deux choses-là ça serait ça serait je pense déjà très importante en fait une validation scientifique et puis de la formation en continu ou tout du moins de temps en temps pour tout le monde sache s'en Servir.

Bilal Rahmani : D'accord Parfait Je vous remercie Pensez-vous que l'intelligence artificielle va continuer à se développer au-delà De HPI mais les technologies dans le dans la routine anesthésique elle permettrait d'avoir De nouveaux appareils de nouvelles technologies pour vous aiguiller ?

PHILIPPE MARQUES : je pense que l'intelligence artificielle de toute façon Actuellement dans tous les domaines est en train de prendre **une grande ampleur** et de plus en plus de place où Tout le monde plus en plus de fonctions et donc je pense qu'il Y en aura de plus en plus en anesthésie ou de façon plus large dans le domaine médical par exemple après j'aurais Pas d'idée précise parce que je m'y connais moins et c'est Pas mon domaine de recherche mais c'est sûr qu'il Ya plein de choses qui vont être Faites sur le monitoring sur les respirateurs sur même Les techniques d'intubation Enfin il y'a plein de l'échographie Il y'a plein de choses qui existent déjà même en échographie par exemple avec j'avais Vu ça Un appareil ou qui calcule le VES quand on a la bonne coupe quoi qu'il Faut tout seul donc il y a plein d'applications Comme ça

Je pense que ça va faire que se développer parce que ça se développe dans la société et il n'y a pas de raison que ça ne se développe pas dans le métier médical.

Bilal Rahmani : D'accord très Bien merci à Vous sur la dernière partie sur la conclusion est ce que vous avez des suggestions ou remarques finales quant à La gestion de l'hypotension Ou l'implémentation De l'intelligence artificielle en investis tout point à Prendre vraiment si vous avez une suggestion une remarque à faire sur ce dernier ?

PHILIPPE MARQUES : Bah non moi à mon avis plutôt Que c'est Quelque chose d'utile et d'intéressant entre guillemets à prendre avec des pincettes parce que ça Reste un chiffre ça reste du monitoring mais que c'est Quand même plutôt utile c'est peu contraignant finalement mais ça peut permettre d'améliorer De temps en temps les ce qu'on avait envie de faire donc c'est plutôt du **positif** plutôt du positif après Je pense comme on l'a déjà évoqué que de la formation et de l'explication c'est Toujours bon à Prendre parce qu'il y a moins de réticences quand on sait ce qu'on Utilise et qu'on se rend compte un peu ce que c'est Et puis enfin la validation dans le sens où Oui c'est Quelque chose d'un matériel qui est fiable lui il a été démontré que ça fonctionne et que ça Peut aider c'est Toujours un plus donc si les papiers comme ça pouvaient exister non pas pour promouvoir une marque quand à Une autre mais juste sur la base de ah ouais avec un monitoring les choses s'améliorent Pour les patients ça serait vraiment top.

Bilal Rahmani : Très bien, je pense que notre entretien est fini Je voulais vous remercier d'avoir permis d'avoir Ces informations-là Ces dernières vont permettre vont me permettre justement de comprendre quel est votre point de vue en tant que médecin anesthésiste de comprendre quels sont les enjeux comment vous quelles sont vos habitudes lors d'une hypotension à Vous en tout cas merci à Vous.

PRÉVENTION DE L'HYPOTENSION PEROPÉRATOIRE PAR MACHINE LEARNING : ENJEUX D'INTÉGRATION CLINIQUE

L'**hypotension** peropératoire reste un risque important malgré la diversité des dispositifs de **monitoring prédictif**. Ce mémoire analyse l'apport de l'Hypotension Prediction Index (HPI), algorithme fondé sur l'**apprentissage automatique**, capable d'anticiper une chute tensionnelle quelques minutes à l'avance. Une revue de littérature et une enquête mixte (questionnaire auprès de soignants, entretiens avec des anesthésistes) ont permis d'identifier les freins à son **adoption** : multiplication des écrans, absence de protocoles communs et déficit de **formation** continue. Si l'intérêt prédictif est reconnu (76 % des répondants), la console HemoSphere est perçue comme encombrante et redondante. Deux axes d'intégration sont proposés : d'abord une intégration physique directe au moniteur principal, pour alléger l'interface visuelle et fluidifier la lecture ; ensuite, l'organisation de journées « HPI passives » où l'algorithme tourne en arrière-plan sans affichage, suivies de revues de cas locales. Un réentraînement périodique sur les données internes est aussi suggéré. En simplifiant l'ergonomie et en adaptant la **formation** aux réalités du **bloc opératoire**, cette approche vise à améliorer la détection précoce, optimiser les traitements vasopresseurs, et réduire les risques post-opératoires sans complexifier le travail des équipes.

Apprentissage automatique ; hypotension ; bloc opératoire ; monitoring prédictif ; adoption ; formation

PREVENTION OF INTRAOPERATIVE HYPOTENSION THROUGH MACHINE LEARNING: CLINICAL INTEGRATION CHALLENGES

Intraoperative **hypotension** remains a significant risk despite the widespread use of predictive **monitoring** systems. This thesis examines the contribution of the Hypotension Prediction Index (HPI), an algorithm based on **machine learning** that can forecast a drop in blood pressure several minutes before it occurs. A literature review and a mixed-method study (survey of operating room staff and interviews with anesthesiologists) identified major barriers to its **adoption**: the multiplication of screens, lack of shared protocols, and insufficient ongoing **training**. While 76% of respondents acknowledged the value of anticipating hypotensive episodes, many described the HemoSphere console as bulky, redundant with the main monitor, and unintuitive. Two improvements are proposed: integrating the HPI module directly into the main monitor to reduce visual overload, and implementing "passive HPI Days" during which the algorithm runs silently in the background, followed by case reviews to build clinical confidence. A three-year retraining of the algorithm on local datasets is also recommended to preserve predictive accuracy. By simplifying the interface, reinforcing targeted **training**, and tailoring data use to local conditions, this strategy aims to reduce total hypotension duration, optimize vasopressor management, and ultimately improve postoperative outcomes without increasing the workload of operating room teams.

machine learning; hypotension; operating room; predictive monitoring; adoption; training