

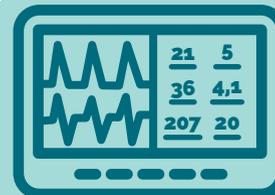
Progrès
& dispositifs
médicaux

NOUVELLE ÉDITION
2022

INNOVATION EN ANESTHÉSIE- RÉANIMATION



LE DISPOSITIF MÉDICAL
snitem
Pour faire avancer la santé



SOMMAIRE

LE DISPOSITIF MÉDICAL

snitem

Pour faire avancer la santé

Maison de la Mécanique
39, rue Louis Blanc
CS 30080
92038 La Défense Cedex

Directeur de la publication : Éric Le Roy

Responsable d'édition : Natalie Allard

Rédactrice : Nathalie Ratel

Édition déléguée : Presse Infos Plus

(www.presse-infosplus.fr)

SR et édition : Studio Hartpon – Création graphique :

ArtFeelsGood – Maquette : Didier Michon

Crédits photos, tous droits réservés : Air Liquide Medical Systems, Adobe Stock, Dräger France, Edwards Lifesciences, Fresenius Vial SAS, Gamida Tech, GE Healthcare, Getinge France, Löwenstein Médical France, Medtronic France, Philips France.

Impression : Imprimerie de l'Étoile 61190 Tourouvre

Nouvelle édition - septembre 2022

ISBN : 979-10-93681-33-7

Les mots techniques ou scientifiques expliqués en fin de livret dans la partie glossaire sont signalés dans le texte par le symbole **G**

1	PRÉFACE	31	CEC ET ECMO
3	INFOGRAPHIE		Quand le coeur et les poumons défont
5	INTRODUCTION	36	ANALYSEUR DE GAZ DE SANG
9	ENJEUX		Une photographie de la respiration du patient en temps réel
12	HUMIDIFICATION, FILTRATION ET PRÉCAUTIONS	38	RÉANIMATION-INTRODUCTION
	Humidification et filtration de l'O ₂ , recréer la physiologie respiratoire		La réanimation, en cas de pronostic vital engagé
13	VENTILATEUR DE TRANSPORT ET D'URGENCE	39	VENTILATEUR DE RÉANIMATION
	Secourir les patients en détresse respiratoire		Clé de voûte de la ventilation artificielle
17	ANESTHÉSIE-INTRODUCTION	44	SOLUTIONS DE SURVEILLANCE
	L'anesthésie moderne, une histoire à dormir		Une vision du patient à 360 degrés
18	VENTILATEUR D'ANESTHÉSIE	50	INTEROPÉRABILITÉ, MODÉLISATION ET DATA
	Une double fonction indispensable lors des interventions chirurgicales		À l'heure de la data
22	ANESTHÉSIE LOCORÉGIONALE	51	LE REGARD DU PATIENT
	L'enjeu du « bloc nerveux »	53	GLOSSAIRE
27	HÉMODYNAMIQUE	54	SOURCES & REMERCIEMENTS
	Mesurer les pressions artérielle et veineuse pour guider au mieux les médecins		

Des innovations rendues possibles grâce à une synergie entre médecins et ingénieurs

PRÉFACE



P^r Pierre Albaladejo,
Président de la SFAR

L'exercice de l'anesthésie et celui de la réanimation partagent les mêmes objectifs : offrir la meilleure qualité de soins possible tout en maîtrisant les risques, y compris – surtout ! – en situations d'urgence. Avec, en ligne de mire, une sécurité accrue pour le patient.

Et parce que ce sont des secteurs médicaux de pointe et hautement encadrés, les anesthésistes-réanimateurs et les médecins intensi-



P^r Laurent Papazian,
Président de la SRLF

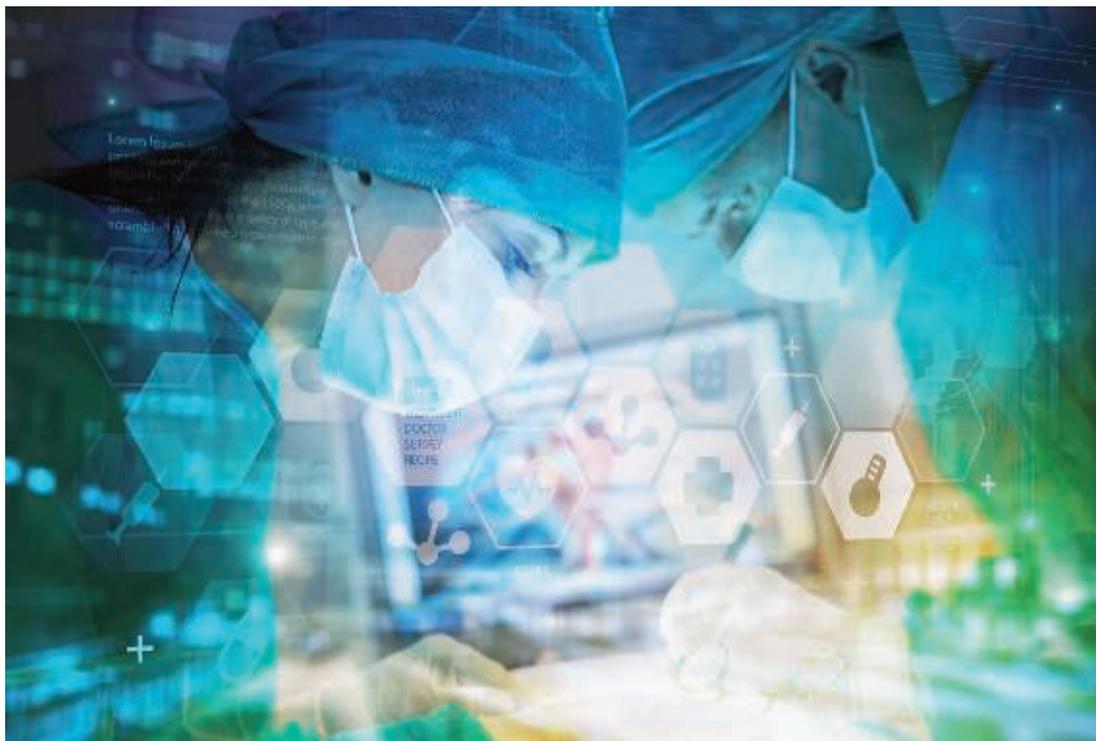
vistes-réanimateurs sont des professionnels hautement qualifiés et toujours plus spécialisés. À la croisée de toutes les spécialités médicales, ils collaborent étroitement avec de nombreuses autres spécialités.

Les innovations apportées au fil des dernières décennies aux dispositifs médicaux de ces spécialités ont permis de diminuer la douleur, les effets secondaires, les complications et

l'invasivité. L'objectif ? Personnaliser toujours plus les prises en charge de toutes les pathologies, sans limite d'âge, de gravité ou de pronostic.

Les moniteurs et les ventilateurs, notamment, ont été dotés de paramètres de plus en plus nombreux et précis afin de faciliter et d'optimiser la surveillance des patients aux blocs opératoires comme dans les services de réanimation et de soins intensifs. Désormais connectés et plurifonctionnels, les dispositifs médicaux ont permis à ces spécialités de s'engager sur le chemin de l'intégration des données de santé, l'interopérabilité et la télé-médecine. Parmi les premières à développer la simulation comme innovation pédagogique dans leur formation initiale et continue, ces disciplines ont contribué à améliorer l'interface entre les dispositifs médicaux et les professionnels de terrain.

Ces dernières années, la mise au point de technologies plus fiables, informatives et communicantes ont permis aux blocs opératoires et aux services de réanimation et de soins >>>



possibles sans la collaboration qui existe depuis longtemps entre les industries du dispositif médical et nos spécialités. Ce sont ces interactions, nombreuses et étroites, entre ingénieurs et médecins intensivistes-réanimateurs ou anesthésistes-réanimateurs qui ont permis de développer bon nombre des innovations techniques et technologiques présentées dans ce livret. Une synergie que nous espérons voir durer encore longtemps...

intensifs de poursuivre leur transformation numérique avec le développement de l'intelligence artificielle qui ouvre de nouvelles et prometteuses perspectives : digitalisation des données de surveillance, interprétation d'examen, aide au diagnostic, gestion des alarmes des dispositifs de surveillance, optimisation de la gestion des blocs et des services, dépistage précoce et anticipation de l'évolution de certaines pathologies...

En parallèle, les professionnels des blocs opératoires et des services de réanimation et de soins intensifs se sont emparés des questions de développement durable (qualité environnementale, économique et sociale). Ils ont collaboré au développement de dispositifs dotés de système anti-pollution pour les environnements de travail (blocs opératoires et soins critiques) et pour la planète. Ces avancées, passées et à venir, ne sauraient être

LA DIGITALISATION DES BLOCS OPÉRATOIRES : QUELS BÉNÉFICES ?

Véritables centres des activités médicales et chirurgicales des hôpitaux, les blocs opératoires sont aussi au cœur de la révolution numérique des établissements de santé. En effet, les technologies, toujours plus fiables, faciles d'utilisation, informatives et communicantes, offrent de nombreux bénéfices.

1

QUALITÉ DES SOINS



- Améliore la **planification** des interventions et la gestion des risques et réduit les complications ;
- Optimise le **paramétrage** des dispositifs (moniteurs, analyseurs de gaz de sang...), à la fois moins invasifs et dotés d'interfaces numériques plus intuitives ;
- Augmente la sécurité.

2

PRÉCISION



- Permet la **personnalisation** des choix thérapeutiques et de l'évaluation préopératoire et l'optimisation de la surveillance péri- et postopératoire ;
- Participe à une meilleure **maîtrise** de la douleur et à la **prédiction** des événements indésirables ;
- Favorise le développement de l'ambulatoire, la récupération postopératoire et, donc, le **bien-être du patient**.

3

DÉMATÉRIALISATION



- Permet la **transmission**, en temps réel, des données recueillies durant les interventions et leur modélisation pour faciliter le suivi des paramètres vitaux ;
- Permet la **centralisation** et l'**archivage** des informations d'un patient dans son dossier informatisé ;
- Garantit la **traçabilité** des actes et du suivi ;
- Fluidifie la **communication** entre professionnels (dans un établissement et entre la ville et l'hôpital).

4

RESSOURCES HUMAINES



- Offre des **gains de temps** dans la gestion de tâches à faible valeur ajoutée ;
- Optimise la **gestion des flux** (humains, matériels, planning) ;
- Permet le développement de la **formation** – initiale et continue – par simulation (logiciel, serious games, applis...) et e-learning ;
- Favorise la **multidisciplinarité** et, donc, l'optimisation des blocs et l'augmentation du nombre d'interventions ;
- Participe à l'**attractivité** d'un établissement.

LES CHIFFRES CLÉS DE L'ANESTHÉSIE-RÉANIMATION EN FRANCE

11,5 millions

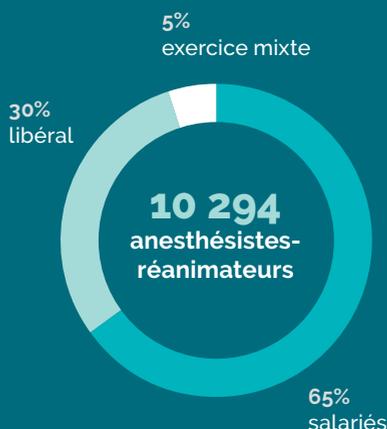


Plus de 11,5 millions d'anesthésies en France chaque année contre

- 4 millions dans les années 1980
- 8 millions en 1996.⁽¹⁾

On dénombre **11511 infirmiers anesthésistes** en France en 2021.

- 10 516 sont salariés hospitaliers
- 405 sont libéraux ou mixtes.
- Les femmes sont au nombre de 7911 contre 3600 hommes.⁽³⁾



Fin 2019, avant la période exceptionnelle de crise sanitaire liée au Covid-19 (2020-2021), on comptait

- 5 433 lits de réanimation (+1,2 % par rapport à 2013).
- 84 % des lits de réa adultes se trouvent dans le secteur public.⁽⁴⁾

L'anesthésie-réanimation est un secteur-clé du système hospitalier et de la prise en charge des patients, notamment dans les situations aiguës et d'urgence.

Et les chiffres le montrent bien.



- 10 294 anesthésistes-réanimateurs étaient recensés en France en 2021.
- Ils représentent 9 % des médecins spécialistes (hors médecine générale).
- Plus de 65% sont salariés, 30% exercent en libéral et 4% en exercice mixte.⁽²⁾

6,6 jours



6,6 jours est la durée moyenne de séjour en réanimation d'un patient en France.⁽⁵⁾

1 - «One year of anaesthesia in France: A comprehensive survey based on the national medical information (PMSI) database. Part 1: In-hospital patients. Anaesth Crit Care Pain Med 2015» (Dadure C, Marie A, Seguret F, Capdevila X), cité lors de la Conférence d'actualisation, Congrès de la SFAR 2017

2 - «Atlas de la démographie médicale 2021», Cnom «Quelle démographie récente et à venir pour les professions médicales et pharmaceutique ?», Les dossiers de la DREES n° 76, mars 2021

3 - Société Française des Infirmier(e)s Anesthésistes, actualisé le 31 octobre 2021

4 - «Études et résultats», n°1164, DREES, septembre 2020 «Rapport public annuel 2021 - Tome I», Cour des comptes

5 - Santé publique France, cité dans le «Rapport public annuel 2021 - Tome I», Cour des comptes

ANESTHÉSIE- RÉANIMATION

ALLIER LA QUALITÉ DE SOINS ET LA MAÎTRISE DES RISQUES

L'anesthésie, la réanimation et la médecine intensive sont étroitement liées et partagent des origines communes. Et si ces disciplines ont connu des évolutions importantes ces dernières décennies et se distinguent tant par leurs champs d'intervention respectifs que par la formation de leurs professionnels de santé, elles ont en commun les dispositifs de réanimation et d'anesthésie.



L'anesthésie est un passage obligé lors de toute intervention chirurgicale. L'enjeu ? Supprimer les sensations et, notamment, la douleur. Son essor va de pair avec celui de la chimie... Dès 1772, le chimiste anglais Joseph Priestley découvre les propriétés anesthésiques du protoxyde d'azote. Les années passent et, en 1864, ce gaz hilarant est officiellement utilisé comme technique d'anesthésie par inhalation. Entre-temps, en 1846, le dentiste américain Thomas Morton réalise la première anesthésie à l'éther. Pour en régler la concentration délivrée au patient, Louis Ombredanne, chirurgien pédiatre français, met au point en 1908, un système associant un masque, un réservoir et un sac confectionné à l'aide d'une vessie de porc ou cæcum de bœuf

dans lequel se réalise le mélange d'air et d'éther. Ce mode d'anesthésie sera utilisé en France jusqu'au début des années 1970 !

Gaz ou pas gaz ?

Les vertus du chloroforme sont, elles aussi, explorées au XIX^e siècle, de même que celles du curare. Le physiologiste français Claude Bernard découvre en effet que cette substance entraîne une paralysie et une baisse du tonus musculaire. Il faut toutefois attendre 1942 pour qu'un dérivé purifié extrait de plantes à curare rapportées d'Amazonie soit introduit en anesthésie ! Dans le même temps, l'anesthésie par perfusion, testée dès 1872 par le chirurgien bordelais Cyprien >>>

Le médecin intensiviste, à la croisée des spécialités

Véritable expert médical de la réanimation, le médecin intensiviste et réanimateur intervient dans les services de réanimation, de médecine intensive et de soins continus où il prend en charge des patients médicaux, polyopathologiques et en situation critique. En d'autres termes, et au-delà des soins péri-opératoires, la MIR est « impliquée dans la prise en charge de toutes les pathologies et détresses vitales les plus sévères à l'origine de dysfonctions d'organes », comme l'explique le Collège des enseignants de médecine intensive-réanimation. À l'heure de l'explosion des maladies chroniques et du nombre de patients âgés, cette spécialité « transversale » demande « une collaboration étroite avec les médecins des autres disciplines médicales (cardiologie, pneumologie, néphrologie, médecine interne et maladies infectieuses, onco-hématologie, neurologie, hépato-gastro-entérologie etc.) ».

»» Oré, prend son essor à partir de 1935 avec l'arrivée des barbituriques intraveineux, et plus encore à partir des années 1950.

Aujourd'hui, les deux méthodes – par intraveineuse ou par inhalation via un masque ou une sonde d'intubation – sont utilisées pour induire des anesthésies générales. La première est plus souvent utilisée pour débiter l'anesthésie chez l'adulte, la seconde chez l'enfant. Pendant l'intervention, l'anesthésie est généralement entretenue par inhalation de gaz anesthésique, quel que soit l'âge du patient. Le recours aux gaz halogénés, moins toxiques et suscitant moins d'effets secondaires (nausées, complications cardiovasculaires), associés ou non à du protoxyde d'azote, ont par ailleurs ouvert le champ à des actes opératoires plus longs depuis les années 1960.

En parallèle, les anesthésies locales (dites aussi locorégionales en France), complètent l'arsenal à disposition des chirurgiens comme des anesthésistes. Réalisées par injection, elles permettent de réduire les quantités d'anesthésiant utilisées... mais aussi de combiner les différents modes d'anesthésie pour s'adapter aux besoins de chaque patient.

Vers plus de contrôle et de sécurité

Depuis la fin de la Seconde Guerre mondiale, des études d'impact de l'utilisation des drogues diminuent de fait les accidents et erreurs de dosage. De plus, des années 1950 à 1970, des moniteurs se développent pour obtenir les paramètres vitaux



des patients de manière continue et facilitent la surveillance de l'anesthésie.

D'abord basiques, ces moniteurs s'enrichissent bientôt de très nombreux modules complémentaires fournissant autant d'informations (tension artérielle, saturation en oxygène dans le sang et le pouls, concentrations de gaz inhalées et rejetées, profondeur d'anesthésie...) qui aident à ajuster les doses d'anesthésiques. Numériques et équipés d'alarmes, ils s'insèrent progressivement dans de véritables « stations » ou « unités » mobiles d'anesthésie, lesquelles incluent un système d'alimentation en oxygène et gaz anesthésique, un ventilateur, un ou plusieurs circuits anesthésiques, un aspirateur de gaz et un système antipollution. À l'aide de

1846

Première anesthésie générale homologuée réalisée à l'éther

Années

1950

Invention du ventilateur

1980

Introduction de l'anesthésie intraveineuse en France

Années

2000

Avènement des stations d'anesthésie et du contrôle multiparamétrique

logiciels intelligents, ils transmettent également sur des écrans de monitoring, en temps réel, toutes les données collectées, permettant aux anesthésistes d'avoir une photographie complète et immédiate de l'état de leurs patients et de réagir au plus vite en cas d'anomalie.

Ainsi, selon une enquête conjointe de la Société française d'anesthésie-réanimation (Sfar) et de l'Inserm publiée en 2006, le taux de décès directement liés à une anesthésie a été divisé par dix en vingt ans, passant à 0,69 morts pour 100 000 actes réalisés. Aujourd'hui encore, l'anesthésie, systématiquement associée à une consultation pré-anesthésique, est une pratique très sûre pour laquelle tous les risques, sans être écartés, sont étroitement contrôlés.

Éthique et technique

Les origines de la réanimation remontent quant à elles au début des années 1950 : d'importantes épidémies de poliomyélite ravagent l'Europe du Nord et les médecins sont contraints d'utiliser massivement la ventilation mécanique prolongée

pour éviter que les malades ne meurent par asphyxie à cause de la paralysie de leurs muscles respiratoires. Seule une chaîne de solidarité permet alors d'assurer une ventilation manuelle permanente des patients... jusqu'à l'apparition de la ventilation mécanique autonome avec l'invention du ventilateur conçu par Carl Gunnar Engström.

Au cours de cette même décennie, les premiers services indépendants de réanimation apparaissent. Initialement réservés à quelques pathologies, notamment respiratoires et infectieuses, ils finissent par s'ouvrir, dans les années 1970 et 1980, à de plus en plus de maladies graves (pneumopathies aiguës graves, insuffisances rénales ou hépatiques aiguës) sans limite de gravité, de pronostic ou d'âge.

Les innovations s'accroissent : diversité des modes de ventilation, suppléance du cœur et des poumons, surveillance continue et ce, de manière de moins en moins invasive... La réanimation est désormais, comme l'anesthésie, une discipline à part entière et, en France comme à l'étranger, les premières normes et recommandations sont mises en place pour homogénéiser les pratiques et améliorer la sécurité.

10 ans, 30 kilos

« À l'heure actuelle, en anesthésie comme en réanimation, les enfants de plus de dix ans et trente kilos sont assimilés à des adultes, explique le Pr Souhayl Dahmani, chef de service du département d'anesthésiologie et réanimation au sein de l'Hôpital Robert Debré à Paris. *En effet, à partir de cet âge, leur physiologie est assimilée à celle d'un adulte.* » Ils se voient donc appliquer les recommandations fixées pour les adultes. En dessous de cet âge, les enfants font l'objet d'un suivi accru. En effet, « *plus ils sont jeunes, plus les risques de complication péri-opératoire, tant cardiovasculaire que respiratoire, sont élevés* », précise-t-il, tout en ajoutant que les « *risques les plus aigus* » concernent les enfants de moins d'un an. « *C'est la raison pour laquelle de plus en plus de recherches se focalisent sur cette tranche d'âge.* » C'est également pour les bébés, prématurés ou non, que « les innovations sont les plus attendues ».

Le chantier de l'éthique

En parallèle, la discipline fait l'objet de nombreuses évolutions éthiques. En France, en 1988, la loi Huriet-Sérusclat sur les recherches biocliniques impose d'obtenir le consentement éclairé d'un sujet avant de l'inclure dans un protocole : elle ouvre la voie à une meilleure prise en compte de la qualité de l'information et de la dignité des malades et de leurs proches. En 2002, la loi Kouchner sur les droits des malades ouvre le débat de la « moralisation » de la fin de vie et de la limitation ou de l'arrêt des thérapeutiques actives en réanimation. La loi Léonetti de 2005 sur la fin de vie autorise ensuite l'adoption de nouvelles recommandations dans le but d'homogénéiser les pratiques au sein des services

(concertation organisée entre médecins et soignants, information claire des familles avant toute prise de décision, etc.).

Enfin, les services de réanimation, qui ont longtemps fonctionné en vase clos, sont peu à peu ouverts à l'entourage jusqu'à atteindre, dans certains cas, des heures de visite allant jusqu'à 24h/24. Cette évolution paie : les professionnels de santé constatent que cela facilite les soins et réduit le stress du personnel soignant.

Toujours plus de spécialisation

Les domaines de l'anesthésie et de la réanimation sont des secteurs de pointe, nécessitant, à ce titre, une formation de professionnels de santé haute-

ment spécialisés. Tel est l'enjeu, depuis 2017 de la réforme du 3^e cycle des études de médecine de la création du DES de Médecine Intensive Réanimation aux côtés du DES d'Anesthésie-Réanimation. Là où le second est destiné à former des anesthésistes-réanimateurs, le premier – issu du diplôme d'études spécialisées complémentaires (DESC) de réanimation – a pour but de former des médecins intensivistes réanimateurs (*voir encadrés p. 7 et 8*).

L'anesthésiste-réanimateur, spécialiste de la médecine péri-opératoire

L'anesthésiste-réanimateur est « *le garant de la sécurité et du confort du patient au cours de son intervention* », pointe le Pr Eric Noll, chef adjoint du service d'anesthésie, réanimation et médecine péri-opératoire au sein du CHRU de Strasbourg. D'où l'enjeu, crucial, de la stratégie anesthésique, élaborée et expliquée au patient à l'occasion de la consultation pré-anesthésique, puis de sa réalisation au cours de l'intervention chirurgicale. « *L'anesthésiste-réanimateur poursuit le suivi du patient en salle de réveil et après sa sortie* », complète-t-il. Aux hôpitaux universitaires de Strasbourg, le ressenti des patients (moral, capacité à assurer seuls leurs soins d'hygiène, douleurs...), en plus de leur évaluation clinique habituelle, est d'ailleurs pleinement intégré

dans ce suivi, dans le cadre d'un programme inédit en France, baptisé « OPTIMISTE ». « *La loi Kouchner du 4 mars 2002 précise que toute personne a le droit de recevoir des soins visant à soulager sa douleur et que celle-ci doit être en toute circonstance prévenue, évaluée, prise en compte et traitée* », rappelle le Pr Xavier Capdevila, chef du département d'anesthésie-réanimation et soins critiques de l'Hôpital Lapeyronie, au sein du CHU de Montpellier. L'intensité de cette douleur est généralement évaluée par les patients sur une échelle allant de un à dix. Le seuil de traitement est fixé à trois. En ce cas, en soins post-opératoires, « *l'anesthésiste doit leur proposer un traitement analgésique approprié* ».

LES ESPOIRS DU NUMÉRIQUE

En cinquante ans, le visage de l'anesthésie et de la réanimation a totalement changé. Pour autant, l'innovation ne faiblit pas avec, en ligne de mire, la mise au point de technologies toujours plus fiables, faciles d'utilisation, informatives et communicantes tout en étant de moins en moins invasives. Le développement de l'intelligence artificielle ouvre également de belles perspectives, dans un environnement de plus en plus numérique.



Digitalisation des données de surveillance et transfert automatique dans le dossier informatisé des patients, paramétrage des appareils (ventilateurs, analyseurs des gaz du sang...) via des interfaces numériques de plus en plus intuitives, meilleure interopérabilité entre eux et les systèmes d'information des établissements de soins voire des groupements hospitaliers de territoire (GHT)... Les blocs opératoires et les services de réanimation poursuivent leur transformation

numérique. L'arrivée des solutions cloud pour héberger l'ensemble des données collectées de manière sécurisée, mais aussi pour faciliter l'évolutivité des modules des stations d'anesthésie et de réanimation confirme cette tendance. Plus besoin d'installer ou de mettre à jour des logiciels pour obtenir des modalités de surveillance supplémentaires... Celles-ci sont activables en quelques clics et bénéficient de mises à jour automatiques !

>>>

L'attrait de la téléconsultation

La téléconsultation pré-anesthésique, « très anecdotique avant la pandémie de Covid-19 », s'est désormais démocratisée, relève le Pr Eric Noll, chef adjoint du service d'anesthésie, réanimation et médecine péri-opératoire au sein du CHRU de Strasbourg. Elle « est intéressante pour des patients résidant loin de l'hôpital ou présentant des troubles de la compréhension ou du comportement et qui, en conséquence, se sentent plus à l'aise dans leur cadre de vie, en présence d'un proche ou d'un assistant médical, par exemple ». Cela va de pair avec de nouveaux usages numériques. Notamment « es rappels automatiques de rendez-vous, pour éviter les oublis ou, encore, les communications par messageries sécurisées, téléphone ou visio en amont d'une chirurgie pour limiter les déplacements à l'hôpital ».

Une médecine personnalisée et prédictive

Les modalités en question, sont, aujourd'hui, variées. « *De nouveaux outils de monitoring cardio-vasculaire, ventilatoire ou encore cérébral ont vu le jour ces dernières années, se félicite le Pr Etienne Gayat. Plus fiables et faciles d'utilisation, moins invasifs, ils permettent de personnaliser les prises en charge et de réduire le risque de complications. Nous réalisons, aujourd'hui, une surveillance continue de nos patients à travers dix voire quinze paramètres vitaux et sommes immédiatement alertés en cas de valeurs anormales ou hors cible. Désormais, nous avons besoin d'outils pour mieux analyser les interactions entre ces multiples paramètres, anticiper l'évolution de l'état de santé de nos patients et faciliter nos prises de décision. C'est ce que les ingénieurs et les professionnels de santé sont en train de développer. Un premier système, en cours d'étude et de validation, permet d'ores et déjà de prédire l'hypotension. À l'avenir, d'autres systèmes, en l'occurrence, des algorithmes intégrant de l'intelligence artificielle (IA), seront mis au point pour nous aider à croiser, en quelques secondes, les données recueillies.* »

L'IA au service du confort des patients

L'intelligence artificielle concentre en effet de nombreux espoirs. Afin d'être le moins invasif et le moins pathogène possible, des recherches sont ainsi menées autour d'algorithmes qui, couplés à

des caméras, analysent les mouvements du visage du patient (y compris du nouveau-né !) pour évaluer par exemple sa respiration et sa circulation sanguine. D'autres visent une meilleure gestion des alarmes des appareils de surveillance, pour un environnement moins stressant et moins bruyant, notamment dans les services de réanimation. Des logiciels intelligents entendent quant à eux optimiser la gestion des blocs opératoires, pour faciliter l'organisation des équipes chirurgicales et anesthésiques mais aussi réduire le temps d'attente des patients.



Simuler les erreurs pour mieux les prévenir

Avec l'aide du numérique, l'anesthésie et la réanimation ont également été pionnières dans la mise en place de la simulation au sein de leur formation initiale et continue, à l'image de disciplines à haute technologie (aviation civile, industrie nucléaire). « *En plein essor aujourd'hui, elle peut prendre plusieurs formes : un logiciel informatique ou une application déroulant, sur un écran, un scénario amenant à prendre des décisions (serious games), un simulateur haute-fidélité...* », évoque le Pr Hadrien Rozé, responsable de l'unité thoracique du service d'anesthésie-réanimation Sud au sein du CHU de Bordeaux, qui a lui-même conçu un simulateur de ventilation mécanique. En parallèle, des modules de e-learning centralisés et internes aux moniteurs d'anesthésie ou de réanimation se développent pour aider les professionnels de santé à mieux appréhender leur utilisation et homogénéiser les pratiques sur le territoire.

Dans les services, « *les aides cognitives se généralisent* », observe par ailleurs le Pr Souhayl Dahmani, chef de service du département d'anesthésiologie et réanimation de l'hôpital Robert Debré, à Paris. Ces « *check-lists* » assurent aux professionnels de santé, « *même s'ils connaissent par cœur les protocoles de prise en charge* », de « *n'oublier aucune étape lorsqu'ils sont en situation* » et de limiter l'impact des « *facteurs stress et organisationnels* ». Car si les incidents sont rares, leur



gravité potentielle les rend redoutables. Fiches papier, posters... « *Certains protocoles sont aussi affichés sur des écrans télévisés voire des smartphones ou tablettes, et les étapes n'ont plus qu'à être cochées les unes après les autres* ».

L'ère des « boîtes noires » ?

Enfin, l'idée « *d'enregistrer, comme dans un cockpit d'avion, l'ensemble des images et sons au sein des blocs opératoires* », en plus de « *l'ensemble des*

paramètres vitaux et des réglages effectués sur les appareils utilisés », pour « *pouvoir analyser ces "boîtes noires" en cas d'incident* », fait son chemin au sein de certains établissements de soins, explique le Pr Dahmani. « *C'est en tous cas une piste que nous explorons au sein de la chaire "Bloc OPérateur Augmenté" (BOPA) issue d'un partenariat entre l'AP-HP et l'Institut Mines-Télécom (IMT) et dont l'objectif est de transformer l'analyse et l'apprentissage de l'acte chirurgical. Nous disposons d'ores et déjà d'un système expérimental* », évoque-t-il.

HUMIDIFICATION, FILTRATION ET PRÉCAUTIONS

HUMIDIFICATION ET FILTRATION DE L'O₂ RECRÉER LA PHYSIOLOGIE RESPIRATOIRE

L'humidification et le réchauffement des gaz inspirés par les patients placés sous ventilation artificielle sont d'une importance capitale.

DE LA THÉORIE... À LA PRATIQUE

« Les voies aériennes supérieures assurent naturellement l'humidification et le réchauffement à 37°C de l'air inspiré, explique le Pr Jean-Michel Constantin, chef du service de réanimation chirurgicale et polyvalente à l'Hôpital Universitaire Pitié-Salpêtrière. Elles sont toutefois court-circuitées lors de la pose d'une sonde trachéale pour assurer la ventilation mécanique des patients. »

Or les gaz insufflés, froids et secs, risquent d'abîmer les muqueuses pulmonaires, d'accroître la viscosité des sécrétions bronchiques... Et donc de favoriser l'obstruction des voies respiratoires comme les infections. Et si la ventilation non invasive, de plus en plus utilisée, assure l'administration d'air par masque, elle entraîne malgré tout un stress non négligeable pour l'organisme.

UNE HISTOIRE D'INNOVATION

Pour y remédier, il existe deux systèmes, apparus dans les années 1950 et améliorés au fil du temps : les systèmes de réchauffement et d'humidification active des gaz respiratoires et les systèmes qui captent l'humidité et la chaleur des gaz expirés pour humidifier et réchauffer les gaz insufflés. « Les systèmes "actifs" fournissent désormais un certain nombre de données et d'aides aux cliniciens pour ajuster au mieux le niveau d'humidification de l'air insufflé ; il n'existe plus, par ailleurs, de risque accru de pneumopathie nosocomiale associée à leur utilisation. Quant aux systèmes "passifs", moins chers, plus



simples d'utilisation et privilégiés pour les patients présentant peu de complications, leurs capacités d'humidification se sont grandement accrues, même si tous ne permettent pas encore d'atteindre le seuil minimum recherché de 30 mg d'eau par litre de gaz insufflé, les rendant ainsi insuffisamment efficaces dans certaines situations cliniques », relève le Pr Constantin. Ces deux types d'outils restent néanmoins « très performants » et disposent d'un système de filtration des micro-organismes pour réduire le risque de contaminations croisées.

L'enjeu de la filtration

À noter qu'« il existe des dispositifs de filtration mécanique ou électrostatique purs, utilisés au bloc opératoire et changés entre chaque patient », poursuit le professeur. En réanimation, « nous y avons également eu recours durant la pandémie de Covid-19, pour éviter de libérer des particules virales dans l'atmosphère des chambres ». Les filtres étaient disposés sur la branche expiratoire des ventilateurs, voire sur la branche inspiratoire, le risque étant infime « mais pas nul ».

VENTILATEUR DE TRANSPORT ET D'URGENCE

SECOURIR LES PATIENTS EN DÉTRESSE RESPIRATOIRE

Longtemps basiques, les ventilateurs de transport sont devenus particulièrement sophistiqués depuis les années 2000, au point d'être utilisés de manière beaucoup plus large.



DE LA THÉORIE...

Les ventilateurs de transport sont principalement utilisés dans deux types de situations : lorsque que les patients sont emmenés en urgence à l'hôpital (détresse respiratoire, arrêt cardiaque, coma, poly-traumatismes), d'un service à l'autre (malades critiques ou en soins intensifs, ventilés et devant être déplacés pour subir un examen ou une intervention complémentaire de type imagerie, biologie, chirurgie, etc.) voire d'un établissement de soins à un autre. Au-delà du transport, ils servent également aujourd'hui dans différentes situations cliniques. Le principe est de suppléer partiellement ou intégralement l'activité respiratoire défaillante du patient. Cette assistance respiratoire est délivrée via une sonde d'intubation positionnée dans la trachée (ventilation invasive) ou, depuis les années 1980, via

un masque facial ou nasal (ventilation non invasive ou VNI), ce qui améliore le confort du patient et réduit le risque de complications infectieuses lié à la sonde d'intubation.

À LA PRATIQUE

Le ventilateur d'urgence est, par essence, ambulatoire : il est donc plus léger et plus ergonomique que les autres ventilateurs pour être aisément transportable. Il se caractérise par la simplicité de son interface et de ses alarmes.

UNE HISTOIRE D'INNOVATION

Des années 1970 au milieu des années 1990, les ventilateurs de transport fonctionnent, classiquement, comme un simple robinet branché sur >>>

»» une réserve d'oxygène pressurisé qui s'ouvre selon la fréquence des cycles que l'on souhaite délivrer au malade. Cette ventilation contrôlée en volume est toutefois souvent mal tolérée par les patients dès que ceux-ci entament une activité respiratoire spontanée.

La révolution des turbines

Après la mise sur le marché d'appareils de deuxième génération vers 1995, apparaissent, au début des années 2000, des ventilateurs d'urgence de troisième génération, dont une partie est équipée de turbines... Ces derniers présentent différents modes ventilatoires (en volume mais aussi en pression, pour mieux s'adapter à la physiologie des patients) et réglages : pourcentage d'oxygène présent dans le mélange gazeux res-

piré par le patient (fraction inspirée en oxygène, ou FiO_2), fréquence respiratoire... Ils peuvent être utilisés en ambulance, en hélicoptère, en avion ou en TGV, y compris de manière non invasive, via un masque facial ou nasal. De plus, des systèmes de monitoring de plus en plus précis permettent de suivre en temps réel la qualité de la ventilation et diverses alarmes se déclenchent en cas d'anomalie. Les ventilateurs les plus récents incluent d'ailleurs la mesure de la pression de CO_2 en fin d'expiration ($eTCo_2$), un paramètre précieux pour évaluer l'état du métabolisme, de la circulation et de la ventilation. Elle permet également de vérifier que l'intubation n'est pas œsophagienne au lieu d'être trachéale.

Une autonomie grandissante

Grâce à cette technologie à turbines, les ventilateurs sont capables de fonctionner sans utiliser la pression de l'oxygène et peuvent ventiler un patient avec 21 % d'oxygène de l'air ambiant, même si cette situation est rare. Les batteries, désormais extractibles, peuvent être remplacées par des batteries de secours d'une autonomie de 4 à 6 heures. Ces progrès ont été décisifs dans la prise en charge des patients atteints de formes graves de Covid, dont une partie d'entre eux, au pic de la pandémie, ont dû être transférés d'une région à l'autre, voire des Outre-Mer jusqu'en métropole.

Prise en charge de la BPCO

Une amélioration récente apportée aux dispositifs permet par ailleurs la prise en charge de la broncho-pneumopathie chronique obstructive (BPCO) dès l'ambulance, en particulier avec l'essor de la VNI. Pour cette maladie respiratoire chronique, qui est l'une des principales causes d'invalidité et de décès en France, c'est un progrès absolument fondamental. En effet, pour être efficace dans le cas d'un patient atteint de BPCO, le ventilateur « *doit impérativement réunir les caractéristiques suivantes : performance des triggers inspiratoires® et expiratoires [...], rapidité de pressurisation avec pente restant modifiable, FiO_2 réglable, spirométrie expiratoire, compensation des fuites* » (source : « *Technique de ventilation non invasive du BPCO* », C. Grégoire, F. Thys). Des performances dont les ventilateurs de transport ont longtemps été dépourvues, ce qui n'est plus le cas aujourd'hui, augmentant ainsi les chances des patients de ne pas être intubés ainsi que celles de survie.

Possibilité de délivrer de l'oxygène à haut débit

D'autres fonctionnalités ont été adjointes aux appareils, dont celle de l'oxygénothérapie haut débit, qui permet de délivrer des débits élevés (jusqu'à 60 litres/min) d'un mélange air-oxygène réchauffé et humidifié et dont on peut régler la concentration en oxygène. Très utile en transport pédiatrique, cette modalité a été très utilisée au cours de la crise du Covid-19.

L'ancêtre de l'ambulance

En 1794, le chirurgien militaire Dominique Larrey crée les premières « ambulances volantes » : des voitures à chevaux évacuent les blessés sur les champs de bataille pour qu'ils soient soignés. Quelques années plus tard, un autre chirurgien militaire, Pierre-François Percy, invente le concept d'ambulances chirurgicales mobiles !

Années
1970 à 1990

Ventilateurs d'urgence
de 1^{ère} génération

Début des Années
2000

Essor des appareils
à turbines

Vers
2015

Premières fonctionnalités
propres à l'arrêt cardiaque

Années
2020

La connectivité des appareils
commence à devenir la norme



Réanimation cardio-pulmonaire

« Depuis 2015 environ, certains modèles facilitent également la prise en charge des patients en arrêt cardiaque, qui représentent, en moyenne, 50 % des patients intubés et ventilés pris en charge par le SAMU-SMUR, détaille le Pr Dominique Savary, chef du département de médecine d'urgences (SAMU 49 et Urgences adultes) au sein du CHU d'Angers. En effet, certains ventilateurs permettent d'optimiser la ventilation des patients pendant la réalisation des compressions thoraciques ; Ils fournissent, en temps réel, des indicateurs précis sur la qualité de la réanimation cardio-pulmonaire en cours, telle que la fraction des compressions thoraciques ou le suivi de l'évolution de la quantité de CO₂ expirée. C'est une véritable révolution, cruciale pour évaluer la reprise respiratoire et circulatoire, ajuster la prise en charge et maximiser la chance de survie des patients. »

Suppléer les médecins

En situation critique, chaque seconde compte. >>>

Chiffre clé

En France, chaque année, 40 à 50 000 personnes meurent prématurément d'un arrêt cardiaque. L'enjeu d'une prise en charge rapide et efficace est crucial.

Source : Fédération française de cardiologie

50 000

»» Le monitoring permet donc aux urgentistes d'avoir l'esprit le plus libre possible pour se concentrer sur leurs gestes. Le déclenchement d'alarmes visuelles ou sonores leur permet d'adapter, au plus tôt, la compression thoracique ou la ventilation. « *Des travaux sont par ailleurs en cours pour accroître l'analyse des données recueillies durant la réanimation afin de suggérer des réponses adaptées*, précise le Pr Savary. *Nous nous sommes en effet aperçus, par exemple, que l'évolution de la courbe de CO₂ d'un patient pouvait révéler l'occlusion de petites voies aériennes, nécessitant ainsi d'augmenter la pression expiratoire. L'analyse automatique de cette courbe serait d'une aide précieuse pour les médecins qui, en parallèle, doivent parfois gérer l'administration de médicaments adéquats, stopper une éventuelle hémorragie...* »

L'« effet Covid »

Jusque récemment, « *de nombreux ventilateurs de transport et d'urgence utilisés en France étaient encore des ventilateurs pneumatiques de deuxième et troisième générations* », évalue le Pr Savary. La crise du Covid a néanmoins accéléré la transition vers des équipements adaptés à la gravité des cas rencontrés, en particulier vers les appareils à turbines, qui multiplient les fonctionnalités de pointe. « *Des études ont d'ailleurs montré que l'utilisation de ventilateurs à turbines, dans les transports intra- ou inter-hôpitaux, mais également aux urgences et en salle de réanimation, était parfaitement sécurisée, y compris pour les patients atteints de Covid ou, plus*

largement, d'un syndrome de détresse respiratoire aiguë (SDRA) », poursuit le Pr Savary.

Certes, ces appareils, de taille plus compacte, ne peuvent remplacer les ventilateurs de réanimation sur tous les plans. Néanmoins, à ce jour, « *leur niveau de performance est remarquable pour la ventilation classique, la ventilation non invasive ou la ventilation en volume et pression contrôlés* », constate-t-il.

L'apport du bluetooth

Sans compter que pour faciliter leur utilisation, des paramètres de ventilation sont proposés par défaut, alignés sur les recommandations des sociétés savantes et ajustables par les professionnels de santé en fonction de leurs besoins et de leurs protocoles. La sélection des modes de ventilation via l'écran LCD de contrôle des appareils se veut la plus simple possible et, de plus, les interfaces sont personnalisables. L'affichage des divers monitorages est, lui aussi, configurable. Les modalités de ventilation peuvent même, sur certains appareils, être vidéoprojetées.

« *Nous, médecins, sommes très friands de ce type de fonctionnalités, en formation initiale ou continue de même qu'en réunion d'équipe, pour reprendre et analyser a posteriori des données recueillies lors de la prise en charge de cas complexes* », évoque le Pr Savary.

Enfin, la connectivité sans fil des appareils se développe progressivement pour la transmission automatique des données médicales recueillies vers

Secourisme : un travail de longue haleine

En France, c'est la hausse des accidents de la route qui mobilise le corps médical pour amorcer une réflexion sur la mise en place d'une permanence médicale et d'une organisation permettant de se rendre chez le malade et d'assurer son transport vers l'hôpital. Les services mobiles d'urgence et de réanimation (SMUR), attachés aux hôpitaux, sont officialisés en 1965. Les services d'aide médicale urgente (SAMU) naissent en 1968 afin de coordonner l'activité des SMUR et comportent, chacun, un centre de régulation médicale des appels. Progressivement, les médecins généralistes libéraux rejoignent cette activité de régulation en complément des praticiens hospitaliers et, en 1986, un numéro d'appel gratuit, départementalisé et accessible à tous – le 15 – est créé pour les urgences médicales.

le dossier numérique du patient grâce au bluetooth : un vrai plus en cas d'urgence, pour faciliter la transmission d'informations entre les unités mobiles et les équipes hospitalières, mais aussi pour le suivi des patients en réanimation.

L'ANESTHÉSIE MODERNE, UNE HISTOIRE À DORMIR

Comme le rappelle la Société française d'anesthésie et de réanimation (Sfar), l'anesthésie « permet la réalisation d'un acte chirurgical, obstétrical ou médical (endoscopie, radiologie...) » en « supprimant la douleur provoquée pendant et en l'atténuant après l'intervention dans des conditions optimales de sécurité ». Comme tout acte médical, elle n'est pas sans risques : nausées ou vomissements au réveil, engourdissements, allergies voire arrêt cardiaque ou asphyxie, plus graves mais heureusement beaucoup plus rares grâce à une sécurisation accrue des procédures et des appareillages.

Une pratique très encadrée

« En France, la pratique de l'anesthésie est encadrée par un décret en date du 5 décembre 1994, rappelle le Pr Etienne Gayat, anesthésiste-réanimateur au sein de l'hôpital Lariboisière à Paris (AP-HP). Il rend la consultation préanesthésique obligatoire et insiste sur la nécessité d'une organisation adaptée et d'une surveillance clinique constante durant l'anesthésie. Il impose également une surveillance du patient après l'intervention, pour contrôler les effets résiduels des médicaments anesthésiques et leur élimination et prendre en charge les complications éventuelles. Ce texte marque le début de l'anesthésie moderne dans notre pays. »

Depuis, poursuit-il, « de nombreux progrès ont permis la mise à disposition d'outils de pointe, de plus en plus fiables et simples d'utilisation, mais aussi de moins en moins invasifs, pour le monitoring de l'état hémodynamique du patient ou de la profondeur d'anesthésie, par exemple ». Des outils clés pour

« personnaliser les prises en charge au bloc opératoire et délivrer la dose adéquate d'anesthésiant aux patients », ainsi que pour réduire le risque de complications et de mortalité.

L'enjeu de la consultation préanesthésique

La consultation préanesthésique s'effectue en amont d'une intervention programmée, avec le médecin anesthésiste-réanimateur. Ses objectifs sont multiples : vérifier l'état de santé du patient, ses antécédents et éventuelles allergies et/ou pathologies ; constituer le dossier d'anesthésie qui sera complété à l'issue de l'intervention puis inclus dans le dossier du patient ; identifier la technique d'anesthésie adéquate et informer le patient sur son déroulement ; évaluer la nécessité d'éventuels examens complémentaires ; apprécier l'anxiété et les craintes du patient. Elle ne se substitue pas à la visite préanesthésique qui doit être effectuée par un médecin anesthésiste-réanimateur dans les heures précédant le moment prévu pour l'intervention.

VENTILATEUR D'ANESTHÉSIE

UNE DOUBLE FONCTION INDISPENSABLE LORS DES INTERVENTIONS CHIRURGICALES

Lors d'une intervention chirurgicale sous anesthésie générale, le patient ne peut plus respirer par lui-même. Le ventilateur d'anesthésie lui permet donc de libérer ses voies aériennes et de respirer de manière automatique tout en délivrant l'anesthésiant.



DE LA THÉORIE...

Une anesthésie générale entraîne perte de conscience, insensibilité à la douleur et relâchement musculaire. Les patients se retrouvent alors fréquemment en apnée ou en dépression respiratoire. Les anesthésistes doivent donc les intuber ou leur poser un masque laryngé, veiller à ce que de l'oxygène leur soit délivré et les aider à respirer durant le temps de l'intervention. Le ventilateur d'anesthésie assure cette fonction, tout en délivrant un agent anesthésique inhalable.

À LA PRATIQUE

Le respirateur contrôle électroniquement la ventilation du patient, cyclant son inspiration et son expiration. Le mélange gazeux envoyé est composé de dioxygène (O_2), d'air ou de protoxyde

d'azote (N_2O). L'anesthésiste peut en ajuster la concentration et le débit à l'aide d'un mélangeur. Un agent anesthésique, contenu dans une cuve thermostatée, est vaporisé dans ce mélange, insufflé au patient via la branche inspiratoire. La branche expiratoire, quant à elle, ramène le gaz expiré et chargé de CO_2 au respirateur. L'appareil travaille en circuit fermé : les gaz expirés passent par une cartouche de chaux sodée permettant d'absorber et de neutraliser le gaz carbonique (CO_2). Le gaz recyclé, complété par de l'oxygène, peut alors être réinsufflé vers le patient.

UNE HISTOIRE D'INNOVATION

Dans l'Antiquité, déjà, puis au Moyen-Âge, diverses substances d'origine naturelle sont successivement utilisées pour atténuer les souffrances lors d'interventions chirurgicales : racine de mandra-

gore, huile composée notamment d'opium et de ciguë, solution à base de plantes telles que la belladone...

Si le protoxyde d'azote, gaz essentiel dans l'anesthésie, est découvert dès 1772, il faut attendre 1846 pour que les Américains William T. Morton et John Warren l'utilisent à cette fin, une étape qui marque la naissance de l'anesthésie moderne. Deux ans

plus tard, James Simpson endort la reine Victoria au chloroforme lors de son accouchement : l'anesthésie chirurgicale au moyen de cette substance se répand dès lors très rapidement à travers le monde.

D'un gaz à l'autre

Ce n'est cependant pas avant 1880 que les ingénieurs réussissent à comprimer et à stocker des gaz, dont l'O₂, dans des bouteilles sous haute pression. C'est ce procédé qui permet l'invention du respirateur. Les premiers appareils avec réinhalation de l'azote voient le jour dès 1885. Puis, en 1902, le brevet d'un appareil délivrant plusieurs gaz à la fois (oxygène, protoxyde d'azote et éther) est déposé aux États-Unis. Les bases sur lesquelles reposent encore aujourd'hui les machines d'anesthésie sont posées.

En Europe, le chloroforme est préféré à l'éther comme agent anesthésiant. Si, dès cette époque, les machines peuvent fonctionner en circuit fermé, la technique n'est pas utilisée avec le chloroforme en raison de sa réaction à la chaux utilisée pour piéger le CO₂. Le système sans réinhalation reste donc la règle.

En France, c'est Louis Ombrédanne qui, le premier, met au point un inhalateur fonctionnant à l'éther... Un procédé utilisé dans l'Hexagone jusqu'au début des années 1960 ! Mais le recours à l'éther n'est pas sans comporter certains risques tant pour le patient (difficulté à trouver la bonne quantité d'anesthésiant) que pour le personnel soignant qui



en inhale aussi. Comme le chloroforme, l'éther est également peu maniable, inflammable et susceptible de générer des dépressions cardiaques... Les gaz halogénés leur seront donc privilégiés.

Sur le chemin de la mécanisation

Entre le début du XX^e siècle et la Seconde Guerre mondiale, diverses innovations sont apportées, tant sur les substances que sur les machines (débit des gaz, rotamètres Ⓞ, etc.). Ainsi, dès 1936, on voit apparaître un dispositif présentant nombre des caractéristiques des machines actuelles : circuit fermé, anesthésie multigaz, absorbeur de CO₂, débitmètre, systèmes de contrôle et de sécu- >>>

Gaz anesthésiques : ni trop, ni trop peu

Les anesthésies sont réalisées à l'aide d'hypnotiques inhalatoires (isoflurane, sévoflurane, desflurane...) ou intraveineux, de morphiniques ou de curares. Deux techniques récentes facilitent l'administration de la concentration adéquate d'anesthésiques aux patients afin que ceux-ci se réveillent et récupèrent le plus rapidement possible, en évitant au maximum les effets secondaires : l'anesthésie à objectif de concentration (administration pré-réglée d'un anesthésique intraveineux, dite AIVOC, ou inhalatoire, dite AINOC, tenant compte des caractéristiques du patient et des propriétés pharmacocinétiques du produit), ainsi que la surveillance de la fonction cérébrale pour évaluer en temps réel la profondeur de l'anesthésie.



» rité. En raison des combats, la Seconde Guerre mondiale génère quant à elle son lot d'innovations, notamment en matière de portativité des appareils.

Au cours des années 1950 sont mis au point les premiers ventilateurs mécaniques de longue durée. Le premier, en 1952, est électrique et se caractérise par une ventilation à débit préréglé, cyclée sur le temps avec une fréquence prédéterminée. C'est lui qui ouvre les portes de la réanimation moderne. Les dispositifs connaissent ensuite des améliorations successives (système de venturi, pression expiratoire positive, alarmes, etc.) et permettent d'abandonner les massifs poumons d'acier, cylindres ne laissant que la tête et le cou à l'air libre, également utilisés en réanimation.

Cette même décennie est marquée par la mise au

point de systèmes centraux qui alimentent en gaz médicaux les salles de soins et les blocs opératoires, ce qui révolutionne l'organisation des hôpitaux : les médecins et le personnel infirmier n'ont plus à transporter de lourdes bouteilles de gaz sous pression. Il faut néanmoins attendre les années 1970 pour que ces systèmes soient généralisés dans toutes les salles de tous les établissements. Il devient également possible, grâce aux progrès réalisés sur les capacités des machines, d'agir sur la qualité de l'échange gazeux.

La révolution de l'électronique

À partir des années 1980, le génie électronique complète et optimise la mécanique et la pneuma-

Le numérique au service de la sécurité du patient

Les stations d'anesthésie sont désormais dites « intégrées », c'est-à-dire équipées d'un respirateur et d'un système de monitoring complet, paramétrable et contrôlable à l'aide d'un ordinateur ou d'une tablette, mais également communiquant avec le système d'information de l'hôpital, détaille le Pr Olivier Huet, chef de l'unité de réanimation chirurgicale au sein du département d'anesthésie-réanimation et médecine péri-opératoire du CHRU de Brest. Données vitales recueillies par les appareils biomédicaux, alertes déclenchées et actes réalisés sont ainsi automatiquement versés dans le dossier d'anesthésie informatisé du patient, en complément de la feuille de consultation pré-anesthésique (antécédents, traitements, examen clinique,

décision et prescription) et, notamment, de la feuille de surveillance post-anesthésie.

Ce système « intégré » garantit la constitution d'un dossier à la fois précis, complet et transférable dans le dossier médical informatisé du patient, pour une traçabilité complète de la prise en charge anesthésique, de la première prise de rendez-vous préopératoire à la sortie du patient. Des statistiques et rapports peuvent également être produits. Avec des avantages non négligeables : gain de temps pour les équipes de soins qui n'ont plus à remplir et classer manuellement ces documents, fluidité des processus de prise en charge et sécurité des patients.

Années

1950

Premiers ventilateurs
mécaniques

1995

Contrôle des respirateurs avant
utilisation rendu obligatoire
légalement

Années

2000

Ère des stations
d'anesthésie modernes
et intégrées

tique des machines. Des capteurs de débit et de pression reliés à des électrovannes[®] garantissent le volume prescrit au patient quel que soit son état pulmonaire. De nouvelles modalités ventilatoires apparaissent, y compris l'aide inspiratoire pour accompagner la ventilation spontanée du patient. De plus, les paramètres sélectionnés et la concentration des gaz (O₂, CO₂ et agents anesthésiques) s'affichent en temps réel sur un écran, déclenchant une alarme sonore ou visuelle en cas d'anomalie. Enfin, depuis les années 2000, des systèmes d'administration automatisée des agents anesthésiques se généralisent : l'anesthésiste définit directement sur l'appareil la concentration qu'il souhaite délivrer, ce qui garantit et maintient la cible envisagée tout au long de l'intervention. Associés au fin monitoring de l'ensemble des paramètres d'anesthésie et de ventilation nécessaires à la prise en charge du patient sous anesthésie générale (fraction expirée cible, capacités de ventilation...), ils permettent ainsi aux équipes du bloc opératoire de disposer de véritables stations d'anesthésie, pour une sécurité optimale.

La sécurité et le confort avant tout

La sécurité est le maître-mot. La fiabilité des ventilateurs ne cesse donc de s'améliorer. Depuis 1995, le contrôle avant utilisation est légalement obligatoire et s'apparente, avec sa check-list détaillée, à celui utilisé dans l'aviation. Les appareils sont par ailleurs techniquement contrôlés à intervalles réguliers et ce, pour chacun des composants (débitmètres-mélangeurs, évaporateurs...). De plus, la télémaintenance devient monnaie courante et facilite le diagnostic à distance des appareils, de même que leur réparation en cas de panne logicielle. En 2007, une enquête réalisée par la Société française d'anesthésie et réanimation (Sfar) et l'Institut national de la santé et de la recherche médicale (Inserm) a ainsi montré qu'en vingt ans, « *le taux de décès liés à l'anesthésie apparaît avoir été réduit par un facteur de dix* », alors même que le nombre d'anesthésies a augmenté.

Pour aller plus loin, les étudiants en anesthésie,

VENTILATEUR D'ANESTHÉSIE

réanimation et médecine d'urgence bénéficient désormais de cours de simulation d'anesthésie. La spécialité, très encadrée, voit ses indications comme ses pratiques évoluer en permanence. Le confort du patient, de même que sa récupération rapide, trouvent aujourd'hui toute leur place dans la prise en charge anesthésique (prévention de l'hypothermie, des nausées et des vomissements de la période de réveil, contrôle de la douleur post-opératoire...), une tendance qui se confirme grâce à un arsenal thérapeutique toujours mieux adapté. Enfin, la mise au point d'agents anesthésiques de très courte durée d'action favorise le développement de l'ambulatoire, une priorité en France, et conduit à repenser l'organisation des établissements de soins (sortie du bloc, salle de réveil, salle de décharge, salle d'hospitalisation, unité de réanimation chirurgicale pour les opérés à risque).



ANESTHÉSIE LOCORÉGIONALE

L'ENJEU DU « BLOC NERVEUX »

L'anesthésie locorégionale, ou plus communément, l'anesthésie régionale, a pris un essor considérable ces dernières années. Désormais pleinement intégrée dans la formation initiale des anesthésistes-réanimateurs, sa pratique s'est, depuis le début des années 2000, diversifiée avec de nouvelles techniques et de nouvelles indications telles que le traitement de la douleur postopératoire et des douleurs chroniques.



DE LA THÉORIE...

L'anesthésie locorégionale (ALR) permet de n'endormir qu'une partie du corps grâce à l'injection d'un anesthésique local au voisinage de la moelle épinière ou d'un nerf. Elle bloque ainsi la conduction nerveuse dans la zone correspondante et l'on parle, dès lors, de « bloc nerveux ». Le patient est éveillé et conscient. L'anesthésie puis la surveillance jusqu'au retour des sensations normales sont effectuées par l'anesthésiste-réanimateur. À noter que l'ALR peut être réalisée seule ou en complément d'une anesthésie générale afin d'augmenter le confort post-opératoire.

À LA PRATIQUE

Les ALR sont, aujourd'hui, essentiellement réalisées sous échographie. Cette technique permet

de repérer précisément les structures à endormir et celles à éviter lors de l'injection, pour une plus grande sécurité des patients. Ces anesthésies peuvent durer de 1 à 24 heures selon le produit utilisé. Pour en prolonger les effets, de 48 à 72 heures le plus souvent, un cathéter peut être mis en place. Un anxiolytique peut être proposé, une heure avant l'anesthésie, pour aider le patient à se relaxer et réduire son angoisse préopératoire. La prise de médicaments antalgiques avant le réveil du patient peut permettre d'anticiper la douleur post-opératoire.

UNE HISTOIRE D'INNOVATION

L'anesthésie locorégionale a vu le jour au XIX^e siècle. En 1884, Karl Köller, ophtalmologue au sein de l'hôpital général de Vienne, après avoir constaté l'inefficacité de l'hydrate de chlore et de la mor-

phine, remarque que la cocaïne, placée au contact de la membrane fibreuse qui entoure l'œil, permet de traiter les cataractes sans douleur pour les patients ! En s'inspirant de ses travaux, le chirurgien américain William Stewart Halsted démontre quant à lui que, en injection, cette substance produit un effet anesthésique efficace. Son utilisation se répand donc en ophtalmologie et en otorhinolaryngologie mais aussi en odontologie.

De nombreuses substances, moins toxiques, sont découvertes par la suite, parmi lesquelles la stovaine (1907), la novocaïne (1909), la tétracaïne (1935), la lidocaïne (1948)... Puis toute une série de molécules de longue durée d'action dès 1956. En parallèle, le matériel et les techniques évoluent.

« Endormir les nerfs »

L'enjeu, concrètement, est d'« endormir » temporairement les nerfs innervant les os, les muscles et la peau d'une même zone. Dès 1962, la localisation de ces nerfs ne s'effectue plus « à l'aveugle » mais à l'aide d'un courant électrique de faible voltage. « *En fonction de la réponse motrice à cette neurostimulation, l'anesthésiste est en mesure d'identifier précisément le ou les nerfs électro-stimulés et, en conséquence, la zone précise où procéder à l'injection* », détaille le Pr Xavier Capdevila, chef du département d'anesthésie-réanimation et soins critiques de l'hôpital Lapeyronie, au sein du CHU de Montpellier.

Le geste de l'anesthésiste, plus sécurisé, reste toutefois délicat : l'injection doit être effectuée dans la

région des nerfs, pour une utilisation minimale d'anesthésique local et une efficacité maximale, sans toutefois toucher ces derniers pour éviter toute lésion. Dans les années 2000, et après une série de publications dans les années 1990, se développe donc l'anesthésie locorégionale échoguidée, c'est-à-dire guidée par échographie. Une « *révolution* », reconnaît le Pr Capdevila.

La révolution de l'échographie

Utilisée en France pour la première fois en 2005 et validée par la Haute Autorité de santé (HAS) en 2014, cette technique permet d'observer, en temps réel et au millimètre près, les structures anatomiques (nerfs, vaisseaux, muscles et autres tissus), la progression de l'aiguille et la diffusion de l'anesthésique local sur l'écran de contrôle. Les aiguilles, d'ailleurs, se perfectionnent pour être les plus échogènes possibles et des gammes en acier dotées d'un revêtement adapté ou spécifiquement ciselées sont mises sur le marché.

« *Elles sont désormais dotées de micro-réfecteurs tels qu'elles sont parfaitement visibles à l'échographie*, explique le Pr Capdevila. *Et ce, tout en étant de plus en plus travaillées pour être moins traumatiques.* » Leur taille varie de 25 millimètres (pour la pédiatrie) à 15 centimètres (pour les péridurales sur personnes en surpoids) pour s'adapter à toutes les tailles et morphologies de patients. Les échographes, dédiés à l'ALR ou polyvalents, « *sont devenus incontournables pour les anesthésistes* »,

Une nouvelle norme ISO au service de la sécurité

Pour réduire le risque d'erreurs de voie d'administration de médicaments et d'anesthésiques locaux, l'organisation internationale de normalisation (ISO) a publié en 2016 une nouvelle norme pour différencier les connectiques des dispositifs médicaux : la norme ISO 80369. L'objectif est, à terme, de passer d'une connectique universelle (Luer®) à une connectique spécifique pour chaque voie d'abord (intraveineuse...). Pour les voies neuraxiale ou péri-neurale, utilisées en anesthésie locorégionale, la connectique choisie a été baptisée NRFit®. De couleur jaune, elle est désormais obligatoire en Angleterre et en Californie, par exemple, et est amenée à l'être en France.

pointe-t-il. Les sondes, plus petites et plus maniables, sont dotées de capteurs toujours plus sensibles.

Avec un tel degré de précision sur le site de l'injection, « *nous sommes à même de réduire les doses d'anesthésiques locaux utilisés et de limiter le risque lié à leur neurotoxicité* », précise le Pr Capdevila. La neurostimulation est toujours utilisée, « *mais à* »

» visée sécuritaire, en particulier pour les injections profondes, entre 3 et 5 centimètres sous la peau ».

Essor des blocs d'analgésie

Par ailleurs, l'échoguidage a facilité, ces vingt dernières années, l'essor de nouvelles approches. En l'occurrence, les injections ne se font plus au niveau du système neuraxial, comme c'était le cas jusqu'ici, mais dans le système nerveux périphérique (voir encadré ci-contre) et les « blocs de compartiments ». Ces derniers consistent à effectuer l'injection entre deux compartiments musculaires ou fascias intermusculaires pour atténuer la douleur après une intervention chirurgicale réalisée

Un pilier du virage ambulatoire

Les progrès réalisés en matière d'anesthésie locorégionale ces 20 dernières années ont facilité la prise en charge en ambulatoire et la mise en œuvre de protocoles « RAC » (réhabilitation améliorée après chirurgie). Usage limité d'opiacés, rétablissement rapide des capacités physiques et psychiques permettant un retour plus précoce à domicile... Les avantages sont multiples.

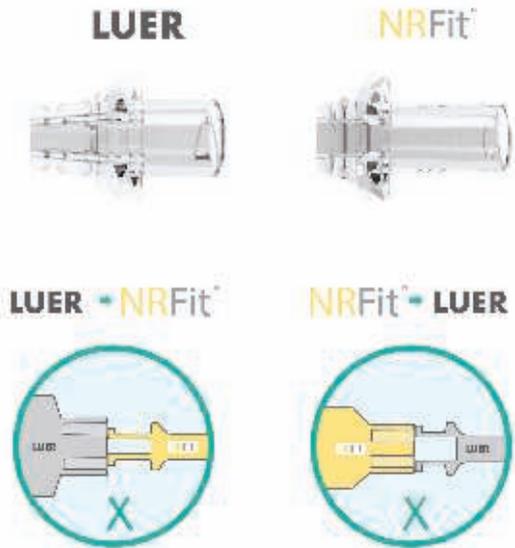
sous anesthésie générale ou locorégionale. « Cela permet, là encore, de réduire l'usage des antalgiques morphiniques, expose le chef du département d'anesthésie-réanimation et soins critiques de l'hôpital Lapeyronie. C'est une tendance forte, depuis le début de la crise des opioïdes apparue aux États-Unis et au Canada au milieu des années 2010. » Ces blocs d'analgésie peuvent, à l'aide d'une seule injection, faire effet jusqu'à 20 heures après l'intervention.

« Si la chirurgie est lourde et douloureuse, comme la pose d'une prothèse de genou ou de hanche, par exemple, il est possible de proposer au patient la pose d'un cathéter relié à une pompe programmable permettant de diffuser en continu, en bolus ou les deux, un anesthésique local pendant 48 à 72 heures », explique le professeur. Les bolus peuvent alors être délivrés en actionnant un bouton-poussoir, permettant ainsi aux patients de contrôler leur analgésie en fonction de la douleur qu'ils ressentent, dans la limite de la dose maximale définie par l'anesthésiste.

Vers une anesthésie « multimodale »

Aujourd'hui, il est ainsi possible de contrôler la zone précise à anesthésier, aussi petite soit-elle, pour une durée bien définie, en fonction de la durée d'action des produits (de quelques minutes à plusieurs heures), de leur concentration et de leur effet analgésique.

À noter toutefois que « l'anesthésie locorégionale



n'est pas seulement une alternative à l'anesthésie générale, poursuit le P^r Capdevila. Les différents modes d'anesthésie sont d'ailleurs souvent associés : lors d'une chirurgie du thorax, par exemple, le patient peut être endormi, afin qu'il puisse être intubé et ventilé, en plus de bénéficier d'une anesthésie neuraxiale ou d'une anesthésie par bloc nerveux périphérique, par exemple. L'anesthésie dite "multimodale" améliore le confort du patient tout en minimisant les doses de chacun des produits utilisés (morphiniques, hypnotiques, myorelaxants), ce qui réduit le risque d'effets adverses de ces derniers. » Un enjeu clé, pour une réhabilitation optimale après chirurgie.

1884

Première anesthésie locale à l'aide de cocaïne

1962

Utilisation de la neurostimulation pour cibler la zone d'injection

Années
2000

Essor de l'échoguidage



2
millions

Chiffre clé

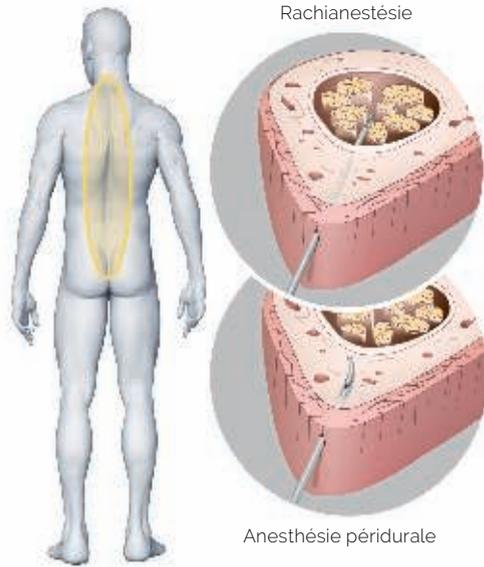
2 millions d'actes d'anesthésie locorégionales chaque année en France, soit 20 % des anesthésies totales. Les blocs nerveux périphériques représentent 15 % de ces actes et sont essentiellement pratiqués pour la chirurgie des membres.

Source : HAS, Rapport d'évaluation technologique, 2014.

Un intérêt majeur en pédiatrie

Xavier Capdevila,
PU-PH, chef du département d'anesthésie-réanimation et soins critiques de l'hôpital Lapeyronie au sein du CHU de Montpellier

« L'anesthésie locorégionale est très utilisée en pédiatrie et en néonatalogie. Elle permet de réduire considérablement les doses d'hypnotiques et d'opiacés, auxquels les enfants sont très sensibles. Dans notre département d'anesthésie-réanimation pédiatrique, les trois quarts environ de nos jeunes patients en reçoivent une, y compris les grands prématurés souffrant d'un laparoschisis – absence de fermeture de la paroi abdominale à droite du nombril – ou d'un spondylolisthésis – glissement vers l'avant d'une vertèbre. Nous procédons alors à une anesthésie générale associée à une rachianesthésie. Le matériel disponible est particulièrement bien adapté, qu'il s'agisse des cathéters ou encore des aiguilles, très fines, de 25 millimètres soit 27 gauges. »



L'ALR hors bloc opératoire

Au-delà de la douleur aiguë, l'anesthésie locorégionale peut par ailleurs être utilisée dans le traitement de la douleur chronique, hors bloc opératoire donc. « Cette technique peut être proposée en cas de douleur persistante par les équipes des services de consultation douleur des établissements de soins, précise le Pr Capdevila, en deuxième intention en cas de plaie sur les membres inférieurs de patients diabétiques ou de syndrome douloureux régional complexe ("algodystrophie"), par exemple. Un cathéter est alors posé au patient, lequel est pris en charge à domicile par un infirmier pendant plusieurs semaines ou mois. »

Les cathéters n'échappent pas à l'innovation !

Les cathéters ont eux aussi évolué, avec l'apparition, au fil des années, de cathéters préformés, tels que les cathéters en queue de cochon, pour s'adapter à différentes zones anatomiques et faciliter leur maintien en place, ou encore, de cathéters stimulants : la présence d'un fil métallique permet une neurostimulation continue ou itérative, afin de s'assurer que le cathéter n'a pas bougé.

Système nerveux central, système nerveux périphérique

Les **anesthésies neuraxiales** sont effectuées au niveau de la colonne vertébrale et de la moelle épinière :

- La **rachianesthésie** consiste à injecter, à l'aide d'une fine aiguille, un anesthésique dans le liquide cébrospinal, entre deux vertèbres lombaires, pour une anesthésie complète des deux membres inférieurs. À noter qu'en plaçant le patient sur le côté et en utilisant un anesthésique hyperbare , la partie du corps couchée sur la table d'opération peut alors être endormie : on parle de rachianesthésie unilatérale.
- La **péridurale**, réalisée à l'aide d'un cathéter inséré dans l'espace péridural, entre deux vertèbres lombaires ou thoraciques, est soit anesthésique (pour entraîner un bloc sensitif et moteur) soit analgésique (utilisée en obstétrique

pour permettre aux femmes d'accoucher avec des douleurs minimales, ou couplée à une anesthésie générale, notamment en chirurgie vasculaire, thoracique, abdominale, urinaire et gynécologique, pour atténuer efficacement la douleur tout en réduisant l'utilisation de produits morphiniques en per et post-opératoire).

Des anesthésies peuvent également être effectuées au niveau du système nerveux périphérique pour une intervention au niveau d'un membre (mains, bras, pieds, jambes), du visage ou d'une région précise du corps : anesthésie péri neurale (tronc nerveux ou nerf), anesthésie du plexus brachial, anesthésie locale intraveineuse, etc.

HÉMODYNAMIQUE

MESURER LES PRESSIONS ARTÉRIELLE ET VEINEUSE POUR GUIDER AU MIEUX LES MÉDECINS

Les patients en anesthésie comme en réanimation sont souvent sujets à de fortes fluctuations cardiovasculaires, dites aussi hémodynamiques, en particulier lorsqu'ils sont à haut risque opératoire. Pour optimiser leur prise en charge, les médecins ont aujourd'hui à leur disposition plusieurs techniques de monitoring de pointe, de moins en moins invasives.



DE LA THÉORIE...

« *Le monitoring hémodynamique correspond à l'ensemble des mesures mises en œuvre pour explorer l'état hémodynamique des patients, c'est-à-dire le fonctionnement du cœur et du système vasculaire pour apprécier la qualité de la circulation sanguine* », explique le Pr Xavier Monnet, du service de médecine intensive-réanimation de l'hôpital Bicêtre (Hôpitaux Universitaires Paris-Saclay). Et ce, afin d'éviter tout déséquilibre irréversible entre les apports et les besoins en oxygène de l'organisme et toute défaillance multiviscérale mortelle.

En anesthésie, il sert à alerter l'anesthésiste d'une dégradation des conditions hémodynamiques liées à l'anesthésie et à la chirurgie et à guider le traitement. En réanimation, il permet de comprendre les mécanismes physiopathologiques de la défaillance

circulatoire et de juger de l'efficacité du traitement mis en place. Il est utilisé chez les patients dans un état grave – comme ceux qui présentent un état de choc (septique, cardiogénique, hémorragique), un syndrome de détresse respiratoire aiguë (SDRA), une brûlure sévère, un polytraumatisme... – ou pour les patients à hauts risques et/ou avec une combinaison de comorbidités et de chirurgie nécessaire à son état (chirurgie cardiaque, chirurgie digestive, chirurgie orthopédique lourde, chirurgie carcinologique...).

À LA PRATIQUE

Il existe trois catégories de monitorages hémodynamiques selon leur complexité.

Le monitoring hémodynamique de base correspond à la simple mesure des pressions artérielle >>>

Qu'est-ce qu'un état de choc ?

L'état de choc est une urgence diagnostique et thérapeutique qui, en l'absence de traitement, conduit au décès de façon systématique. Sur le plan fonctionnel, il s'agit d'une défaillance du système circulatoire aboutissant à une inadéquation entre l'apport et les besoins en oxygène des tissus de l'organisme. Concrètement, l'état de choc se manifeste d'abord par une hypotension artérielle aiguë. Afin de guider au mieux la prise en charge thérapeutique, il est très important d'identifier rapidement les mécanismes en cause et les conséquences de l'état de choc sur les tissus. C'est notamment à cela que peut servir le monitoring hémodynamique.

»» et veineuse centrale, à l'aide de cathéters implantés dans les vaisseaux des patients et reliés à un scope. Il est destiné à tous les patients qui présentent une insuffisance circulatoire aiguë.

Les outils de monitoring intermédiaire mesurent le débit cardiaque en continu ainsi que les paramètres dynamiques. Ils fournissent un complément d'informations et sont peu délétères pour le patient, car peu voire non invasifs. Ces dispositifs sont surtout

utilisés au bloc opératoire, pour des patients qui subissent une chirurgie à risque. Il a été démontré que l'utilisation de ces techniques chez ces patients diminue les complications péri- et post-opératoires. Ces dispositifs sont de plus en plus prédictifs quant à la survenue d'événements graves grâce à l'utilisation d'algorithmes dotés d'intelligence artificielle.

Enfin, le monitoring hémodynamique avancé s'effectue à travers deux méthodes : l'utilisation d'un cathéter de Swan-Ganz, qui est la technique historique, et la thermodilution transpulmonaire⁶. Celle-ci permet de mesurer de nombreux paramètres cardio-respiratoires grâce à l'analyse de la courbe de thermodilution obtenue après l'injection par voie veineuse centrale d'un indicateur thermique (soluté salé isotonique froid). Ces méthodes, plus invasives, fournissent, en plus de la mesure du débit cardiaque, un très grand nombre de variables hémodynamiques, pour un véritable tableau de bord du système cardiovasculaire. Elles sont indiquées pour les patients en réanimation présentant un état de choc hémorragique qui résiste au remplissage vasculaire, et dans certaines chirurgies à très haut risque (chirurgie hépatique, par exemple).

UNE HISTOIRE D'INNOVATION

Au-delà de la mesure de la pression artérielle, connue depuis le XIX^e siècle, l'histoire du monitoring hémodynamique est assez récente. « *Le premier outil est développé au début des années 1970*

par deux médecins du Centre médical Cedars-Sinai de Los Angeles (USA), Jeremy Swan et William Ganz. Il s'agit d'un cathéter introduit dans l'artère pulmonaire via une veine centrale, muni de plusieurs canaux et d'un ballon à son extrémité. Ce cathéter artériel pulmonaire permet, pour la première fois assez facilement chez l'homme, de mesurer le débit cardiaque, plusieurs pressions des cavités cardiaques et des vaisseaux ainsi que les variables de l'oxygénation tissulaire », explique le P^r Xavier Monnet.

Dans les années qui suivent, le nombre de cathéters de Swan-Ganz utilisés dans le monde ne cesse de croître. Ce succès est notamment dû aux modifications technologiques apportées au cathéter traditionnel. Il est doté de fibres optiques permettant la mesure continue de la saturation en oxygène du sang veineux mêlé (SvO₂) et d'un filament thermique servant à mesurer le débit cardiaque de manière automatique et quasi-continue. Néanmoins, le caractère invasif et la mise en œuvre relativement complexe de cette technique entraînent, à partir des années 2000, une diminution de l'utilisation du cathéter de Swan-Ganz à travers le monde par les anesthésistes-réanimateurs.

Une révolution des pratiques

À la fin des années 1980, apparaît la technique de doppler œsophagien, aujourd'hui encore très utilisée. Avec une simple sonde de la taille d'une sonde gastrique glissée dans l'œsophage, ce dispositif mesure la vitesse sanguine dans l'aorte thora-

Années
1970

Invention du cathéter
de Swan-Ganz

Années
1980

Essor de la technique
de Doppler œsophagien

Années
1990

Révolution de la thermodilution
transpulmonaire et de l'analyse
du contour de l'onde de pouls

Années
2000

Généralisation des capteurs
de pression artérielle placés
au doigt



6 à 12 m/s

Chiffre clé

C'est la vitesse de l'onde de pouls qui se propage
le long des artères.

Source : Centre de recherche en acquisition et traitement de l'image
pour la Santé (CREATIS - Insa Lyon).

cique descendante et le débit cardiaque. Il est notamment indiqué au bloc opératoire chez les patients chirurgicaux à risque.

Au milieu des années 1990, une autre technique de monitoring révolutionne les pratiques : la thermodilution transpulmonaire. Elle est relativement invasive car elle nécessite la pose d'un cathéter veineux central classique ainsi que d'un cathéter spécifique d'assez gros calibre et muni d'un thermomètre dans l'artère fémorale. Elle permet, cependant, de mesurer de nombreuses variables hémodynamiques intéressantes. Par exemple, c'est la seule technique qui permet de quantifier, au lit du patient, le volume de l'eau extravasculaire pulmonaire, c'est-à-dire du liquide contenu dans l'espace interstitiel et les alvéoles pulmonaires. Ce paramètre est particulièrement utile chez les patients présentant un œdème pulmonaire, comme lors d'un SDRA.

Simultanément, l'analyse du contour de l'onde de pouls se répand au bloc opératoire. En pratique, il s'agit d'une analyse de la courbe de pression artérielle recueillie au moyen d'un cathéter. Elle >>>

»» permet un calcul battement par battement du volume d'éjection systolique (VES), c'est-à-dire du volume de sang éjecté dans les artères à chaque contraction cardiaque. Cette technique peut être couplée à la thermodilution transpulmonaire qui sert à la calibrer. Elle peut aussi être non calibrée et, dans ce cas, ne nécessite qu'un simple cathéter artériel radial. Elle est alors moins fiable mais beaucoup moins invasive. Cette analyse non calibrée du contour de l'onde de pouls est très utilisée pour le monitoring péri-opératoire des patients à haut risque chirurgical.

Des dispositifs de moins en moins invasifs

D'autres techniques non invasives se développent pour mesurer le débit cardiaque, tout en réduisant les risques de complication pour les patients : l'échocardiographie Doppler, l'analyse de la réinhalation partielle du CO₂ ou encore la bioréactance, détaille le Pr Monnet. « La mesure de la pression artérielle, variable essentielle de l'hémodynamique, à l'aide d'un simple capteur au bout du doigt s'est également répandue au bloc opératoire, permettant

ainsi de se passer de la pose d'un cathéter », poursuit-il. Cette technique, « utilisée depuis des décennies en laboratoire par les physiologistes », a été transposable au lit du patient « grâce à la mise au point de systèmes plus petits et plus simples d'usage ». Ce sont « l'ensemble des variables recueillies par ces divers dispositifs qui, à l'avenir, seront analysées par intelligence artificielle et permettront d'anticiper des complications graves ou, a posteriori, de comprendre la survenue de complications pour mieux les éviter », prédit-il.

La spécificité des tout-petits

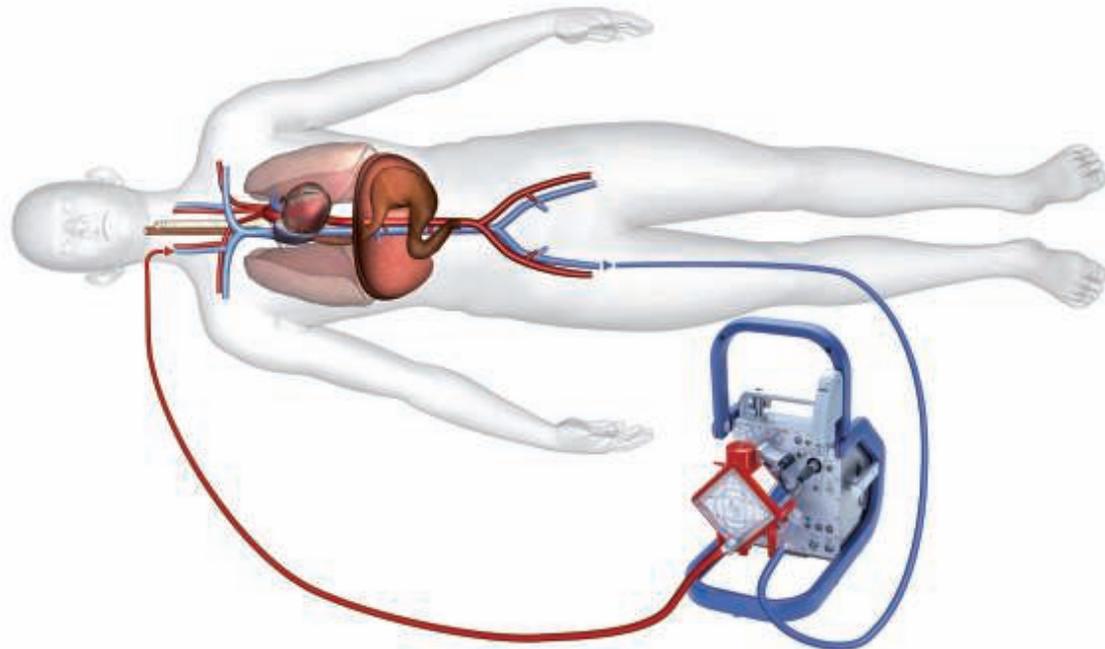
Les évolutions techniques et technologiques naissent généralement dans les services pour adultes, avant de se déployer en pédiatrie. C'est le cas dans le suivi hémodynamique, les jeunes patients bénéficiant ainsi des pratiques de moins en moins invasives dans ce domaine. Ceci étant, le monitoring des tout-petits reste complexe, relate le Pr Souhayl Dahmani, chef de service du département d'anesthésiologie et réanimation au sein de l'hôpital Robert Debré à Paris. « Prenez l'exemple d'un bébé de 3 kilos, expose-t-il. Une fois le champ opératoire posé, l'échocardiographie Doppler devient impossible, le champ recouvrant l'ensemble du corps de l'enfant... » La technique de Doppler œsophagien, par exemple, est elle aussi délicate et donc rarement utilisée : « L'œsophage d'un bébé ne mesure pas plus d'un centimètre de diamètre ; s'il est techniquement possible d'y insérer une sonde pour monitorer le débit cardiaque, il reste difficile de bien positionner puis de maintenir la sonde en question et l'on perd souvent le signal », détaille le professeur. Depuis quelques

années, la mesure de la saturation tissulaire en oxygène à l'aide d'un simple capteur posé sur le front de l'enfant est donc « de plus en plus utilisée comme moniteur hémodynamique, en anesthésie comme en réanimation du nouveau-né », pointe-t-il. Il s'agit là de la technique, « totalement non-invasive », de la spectroscopie proche infrarouge (NIRS en anglais). « L'impédancemétrie, pour mesurer l'évolution du débit cardiaque via une série d'électrodes placées à différents points du corps, notamment le front, le cou, la partie latérale du thorax et la partie interne de la cuisse, est également de plus en plus répandue, complète le Pr Dahmani. La capnographie dynamique, quant à elle, en est à ses prémices. » Utilisée pour monitorer le CO₂ expiré, cette dernière « permet de suivre l'évolution du taux de CO₂ dans le sang pour adapter la ventilation en conséquence », mais donne également des indications quant à « l'évolution du débit cardiaque, dont la forte variation peut indiquer un saignement ou un mauvais fonctionnement du cœur, par exemple ».

CEC ET ECMO

QUAND LE CŒUR ET LES POUMONS DÉFAILLENT

La CEC et l'ECMO, deux techniques de circulation extracorporelle, sont utilisées en anesthésie et/ou en réanimation pour suppléer le cœur ou le poumon lorsque ceux-ci sont défaillants.



DE LA THÉORIE...

La CEC (circulation extracorporelle) permet de détourner la circulation du sang vers une machine chargée de l'oxygéner, puis de le réinjecter dans le réseau artériel pour alimenter les différents organes du corps pendant que le cœur est arrêté le temps d'une opération à cœur ouvert (réparation ou remplacement de valves cardiaques, pontages coronariens, chirurgie de l'aorte...). La procédure peut durer de 40-45 minutes à quelques heures. L'ECMO (oxygénation par membrane extracorporelle, en français) est une technique de CEC utilisée en réanimation pour suppléer aux défaillances du cœur et/ou du poumon durant plusieurs jours ou plusieurs semaines. Elle assure le débit circulatoire

ainsi que l'oxygénation nécessaires en cas de chocs cardiogéniques et d'insuffisances respiratoires réfractaires aux traitements conventionnels. « Cette assistance, permettant l'oxygénation non plus à travers le poumon physiologique mais à travers une membrane extracorporelle, s'est développée ces dernières années, notamment depuis l'épidémie de grippe A », rappelle le CHU de Poitiers sur son site. Elle est notamment utilisée pour la prise en charge des formes les plus sévères du syndrome de détresse respiratoire aiguë (SDRA), dont celles induites par le Covid-19.

À LA PRATIQUE

La CEC consiste à collecter le sang veineux, à l'aide d'une ou deux canules placées par le chirurgien- >>>

Une coordination entre chirurgien, perfusionniste et anesthésiste

Il y a, en France, entre 250 et 300 perfusionnistes. « *Le métier est né avec la naissance de la circulation extra-corporelle* », explique D^r Guillaume Lebreton, chirurgien cardiaque à la Pitié-Salpêtrière à Paris, dans un article paru en mars 2021 dans *ActuSoins Magazine*. Dans l'Hexagone, la fonction est généralement assurée par des infirmiers, souvent anesthésistes (Iade) ou de bloc opératoire (Ibode). Dans d'autres pays, il s'agit de médecins ou d'ingénieurs. Ils travaillent en coordination avec le chirurgien et l'anesthésiste. « *Nous avons une grande responsabilité lorsque, par exemple, nous manipulons des doses létales de potassium pour provoquer l'arrêt cardiaque* », précise, dans le même article, Élisabeth Hirschauer, perfusionniste au sein du service de chirurgie cardiaque de la Pitié-Salpêtrière. Lors d'une intervention au bloc, ils sont « *dans les premiers* » à s'installer. « *Nous avons besoin d'une heure pour mettre en route la machine de circulation extra-corporelle et établir notre check-list* », souligne Marie-Laure Boucher, perfusionniste au sein du CHU de Poitiers, qui témoigne sur le site web de l'établissement.

»»» gien, à son arrivée dans l'oreillette droite du cœur, puis à le rediriger vers un oxygénateur où il subit des transferts gazeux : enrichissement en oxygène (O₂) et évacuation du gaz carbonique (CO₂). Le sang est alors pris en charge par une pompe qui le réinjecte dans l'aorte du patient. L'ECMO inclut, en prime, l'utilisation de poumons artificiels à membranes, chargés de suppléer les poumons physiologiques. Il existe deux types d'ECMO : veino-artérielle pour les défaillances circulatoires et respiratoires, ou veino-veineuse pour les seules défaillances respiratoires. La mise en place d'une telle assistance est désormais possible par voie percutanée, lui permettant d'être initiée au lit du malade, voire avant l'arrivée à l'hôpital.

UNE HISTOIRE D'INNOVATION

En 1812 émerge l'idée selon laquelle les organes peuvent être séparés du corps et préservés par une circulation sanguine artificielle. En perfusant des têtes de lapins décapités, le physiologiste français Jean-Jacques Le Gallois prouve en effet que la circulation du sang maintient la fonction des organes.. Puis, durant la deuxième moitié du XIX^e et le début du XX^e siècles, apparaissent les premiers oxygénateurs à bulles, à disques ou encore à film pour des essais expérimentaux. Dès 1868, un système envoyant sous une pression constante du sang oxygéné provenant d'un réservoir est ainsi testé sur l'animal. Puis, en 1931, le chirurgien américain John Heysham Gibbon a



l'idée d'une machine qui recueille le sang désoxygéné, l'oxygène et le reperfuse dans le système artériel.. Le concept est né ! Il faut toutefois attendre les années 1950 pour que soient réalisées les premières CEC sur l'homme, rendues possibles grâce à la création de l'oxygénateur artificiel à membrane (1955).

À toutes pompes

Pendant une quinzaine d'années, le dispositif fonctionne à l'aide de pompes péristaltiques pour prendre le relais de la fonction cardiaque, par la suite remplacées par les pompes centrifuges, plus petites, plus silencieuses et plus faciles d'usage. Ce nouvel ensemble oxygénateur-pompe, disposé sur un chariot, s'accompagne de nombreux éléments technologiques, dont l'alimentation princi-

1953

Première machine cœur-poumon

1980

Premier oxygénateur artificiel à membranen

Années
2010

Essor de la CEC extra-hospitalière

pale et de secours ainsi que les modules de contrôle et de sécurité pilotés à l'aide d'un écran tactile.

L'enjeu, au fil du temps, est donc de réduire le nombre de consommables utilisés, d'alléger le poids de l'équipement et d'en améliorer l'ergonomie et la maniabilité. L'électronique, elle, prend de



plus en plus le pas sur la mécanique : certaines fonctions s'automatisent (notamment le démarrage et l'arrêt, en douceur, de la CEC) de même que le contrôle de la pression sanguine, du débit, de la température, de l'efficacité de l'action anticoagulante de l'héparine... Les dernières générations de systèmes de CEC sont également équipées de détecteurs de bulles d'air pour réduire le risque d'embolie.

En parallèle, les recherches pour un meilleur transfert gazeux O₂-CO₂ se poursuivent. Le PVC et le silicone sont abandonnés au profit de matériaux davantage biocompatibles pour recouvrir les surfaces des dispositifs (tuyaux, pompe, oxygénateur...).

Un « cœur-poumon artificiel »

L'ECMO prend également son essor. En 1953, John Heysham Gibbon développe une machine cœur-poumon capable d'assurer les fonctions cardiaques et respiratoires d'un adulte lors d'interventions chirurgicales. La première ECMO

Ça circule ?

La mesure de l'oxygénation cérébrale (ou oxymétrie) est un bon indicateur de la fluidité du sang et, a contrario, de l'existence d'un caillot ou d'un saignement, par exemple. Essentielle lors de la CEC comme de l'ECMO, elle s'effectue à travers deux méthodes : la mesure de la pression tissulaire cérébrale en oxygène (PtiO₂) à l'aide d'électrodes ; ou la mesure de la saturation en oxygène de l'hémoglobine au sein du cerveau (ScO₂) grâce à la spectroscopie proche infrarouge (souvent désignée par son sigle anglais NIRS). Celle-ci recourt à des capteurs posés sur le cuir chevelu, existant en différentes tailles : pour les patients de plus de 40 kilos, pour les enfants de 5 à 40 kilos, ainsi que, depuis 2007-2008, pour les bébés de 600 grammes à 5 kilos, plus petits et dotés d'adhésifs beaucoup plus doux.

est réalisée en 1958 dans le cadre du choc cardiogénique puis se démocratise à compter des années 1970.

Progressivement, la machine est simplifiée et miniaturisée. Plus maniable et utilisable dans le cadre d'un transport par le SAMU, l'ECMO se déploie, bien qu'elle demeure un acte invasif >>>

L'ECMO sur la voie publique

Des modèles d'appareils d'ECMO de taille et de poids réduits (environ 10 kilos contre un peu plus de 20 en principe) ont vu le jour dès 2009. Leur format compact favorise leur utilisation portable au sein de l'hôpital... comme à l'extérieur. « *C'est presque un petit bloc opératoire qu'on installe dehors : le patient est désinfecté comme au bloc, nous revêtons nous-mêmes des tenues stériles* », explique le Dr Lionel Lamhaut, urgentiste anesthésiste réanimateur au SAMU de Paris, dans un article paru en juin 2017 dans Figaro Santé. Le risque d'infection n'est pas plus grand qu'à l'hôpital, note-t-il. « *Les bactéries viennent surtout du patient lui-même et très peu du milieu environnant* ». En cas d'urgence cardiaque, l'envoi, en parallèle des secouristes, d'une équipe dédiée pour installer l'ECMO (un médecin, un infirmier réanimateur et un aide-soignant) permet de sauver 28 % des patients, selon une étude conduite par le Dr Lamhaut lui-même et publiée en 2017.

» associé à de graves complications et donc dédié aux centres spécialisés. En 2008, 1 150 ECMO sont réalisées. Puis survient l'épidémie de grippe A (H1N1) : 60 % des patients admis en réanimation pour cette maladie présentent alors un syndrome de détresse respiratoire aiguë (SDRA). La détresse respiratoire « *apparaît en 4 jours* », « *est sévère* », « *impose le recours à une ventilation mécanique optimale* » et justifie « *une oxygénation extracorporelle (ECMO) chez environ 10 % de ces malades* », explique alors le médecin-réanimateur Bernard Régnier, ancien chef de service de réanimation médicale et infectieuse de l'hôpital Bichat-Claude Bernard, à Paris, dans un article paru en 2009 dans le Bulletin épidémiologique hebdomadaire. Elle est par la suite utilisée comme technique complémentaire pour le traitement des formes graves de Covid-19.

Nouvelles indications thérapeutiques

Longtemps réservée au SDRA, à la défaillance circulatoire et à l'intoxication médicamenteuse, l'ECMO est, depuis 2010, aussi utilisée pour prendre en charge les arrêts cardiaques intra- et extra-hospitaliers et effectuer le prélèvement d'organes à cœur arrêté. Plusieurs autres indications sont en cours d'évaluation, comme la transplantation pulmonaire mais aussi le choc septique, l'hémorragie intrapulmonaire, le traumatisme thoracique ou encore le choc anaphylactique. Les indications restent néanmoins



ciblées et restreintes, l'ECMO étant une intervention lourde.

Par mesure de sécurité, les nouvelles générations d'appareils bénéficient de fonctionnalités comme le monitoring des températures, des pressions ou encore du sang en continu, avec un système d'alarme en cas d'anomalie. L'ensemble des données recueillies sont enregistrées et intégrées directement dans le dossier informatisé du patient. Enfin, les oxygénateurs, fabriqués avec des fibres à diffusion, peuvent être utilisés jusqu'à 30 jours sans avoir à être changés. Des canules, dédiées à l'ECMO, sont quant à elles conçues pour plus de 6 heures d'utilisation. Des réflexions sont menées pour faciliter leur pose et leur maintien en place, pour un débit sanguin optimisé et une diminution des risques de perforation du cœur ou des veines !

FOCUS ENFANT

Des problématiques décuplées chez l'enfant

La CEC et l'ECMO, deux techniques de circulation extracorporelle, sont utilisées en anesthésie et/ou en réanimation pour suppléer le cœur ou le poumon lorsque ceux-ci sont défaillants.

En pédiatrie ou néonatalogie, « *les voies d'abord de la CEC ou de l'ECMO sont différentes*, explique le D^r Marc Lilot, responsable de l'unité fonctionnelle d'anesthésie et de réanimation cardio-thoracique pédiatrique du CHU de Lyon. L'ECMO, *par exemple, peut être posée en voie fémoro-fémorale voire directement dans les gros vaisseaux ou au niveau du cœur, comme chez l'adulte ; mais elle peut aussi être posée en voie jugulo-carotidienne, au niveau cervical. Elle implique aussi un neuro-monitorage continu à l'aide d'oxymètres cérébraux, par exemple, et d'électrocardiogrammes (ECG) réguliers, pour s'assurer de la bonne perfusion et fonction cérébrale du patient endormi pour l'occasion.* »

Problématiques décuplées

« *Les problématiques sont décuplées du fait de la petite taille des patients et, en conséquence, des canules utilisées, en particularité chez les nouveau-nés* », ajoute le D^r Lilot, tout en précisant que « *la taille et le positionnement des canules sont déterminants pour assurer le débit sanguin administré par l'ECMO* ». La mise en place de l'ECMO « *est, en conséquence, très contrôlée* ». Une attention particulière est portée « *aux réglages des paramètres de l'ECMO* » (en particulier, le nombre de tours par minute de la turbine qui génère le débit sanguin d'assistance) comme à la pression en amont et en aval de l'appareil de la pompe et de l'oxygénateur. « *L'enjeu est d'éviter toute complication : hémorragie, caillot, hémolyse...* », détaille le MCU-PH. Enfin, « *le canal artériel – qui relie l'artère pulmonaire et l'aorte, permettant à une grande partie du sang, chez le fœtus, de court-circuiter les poumons – doit, s'il ne l'est pas ou pas encore, être fermé pour éviter toute inondation pulmonaire lors de la mise en fonction de l'ECMO* ».

Au-delà de l'ECMO, l'enjeu de la CEC, comme chez l'adulte, est « *de faire en sorte de limiter au maximum les interfaces air-sang et de réduire le plus possible le volume des circuits pour éviter toute inflammation ou trouble de la coagulation induit* ». Avec une particularité chez le nouveau-né et l'enfant de petit poids. « *La mise en place de la CEC s'effectue quasi systématiquement avec nécessité de transfusion sanguine* ».

Surveillance facilitée

Toutefois, « *nous constatons ces dernières années une amélioration de la surveillance de la CEC et de l'ECMO* », note le D^r Lilot, à travers le suivi d'un grand nombre de paramètres : la pression, l'oxygénation, les indices de perfusion au niveau des tissus (cerveau, rein, etc.), l'état de la coagulation in vitro... Il rêve, à terme, d'un meilleur partage d'expériences et de données entre centres hospitaliers. « *À l'avenir, le perfectionnement des outils de mesure en continu et l'essor de l'intelligence artificielle pour faciliter l'analyse de toutes ces données nous permettront probablement de dépister davantage d'anomalies et de mieux prédire l'évolution à court et moyen termes de l'état d'avancée et de récupération des patients sous assistance cardiaque ainsi que des éventuelles menaces latentes ou patentes liées à l'assistance. De plus, l'état de dépendance du patient à l'assistance, et donc la prédictibilité de sevrage sécuritaire de l'assistance, pourra certainement être mieux prédit à l'avenir* », estime-t-il. Le D^r Lilot aspire également à des outils d'assistance plus pointus pour guider la pose des canules qui, à l'heure actuelle, s'effectue sous échographie transœsophagienne, et pour faciliter le sevrage de la CEC ou de l'ECMO.

ANALYSEUR DE GAZ DE SANG

UNE PHOTOGRAPHIE DE LA RESPIRATION DU PATIENT EN TEMPS RÉEL

Associée au test de fonction pulmonaire, l'analyse des gaz du sang permet d'appréhender la physiologie respiratoire du patient. Très utilisée en pneumologie et en réanimation, elle est essentielle dans le diagnostic et la surveillance de l'insuffisance respiratoire au stade chronique ou aigu.



DE LA THÉORIE...

L'analyseur de gaz du sang est un automate permettant d'évaluer un nombre significatif de paramètres critiques – dont les gaz de sang mais aussi les électrolytes[Ⓞ], les métabolites[Ⓞ] et la co-oxymétrie[Ⓞ] complète – et de diagnostiquer, par exemple, une acidose[Ⓞ] respiratoire chez un patient dyspnéique[Ⓞ]. Les quantités d'oxygène et de gaz carbonique contenues dans le sang artériel ainsi que son pH sont analysés afin d'apprécier l'efficacité des échanges pulmonaires (épuration en gaz carbonique, enrichissement en oxygène). Cet examen essentiel permet aux cliniciens de déterminer l'étiologie et la gravité de la pathologie aiguë, et ainsi d'orienter le traitement.

À LA PRATIQUE

Cet examen repose sur une prise de sang au niveau d'une artère (radiale, humérale ou fémorale) à l'aide d'une seringue héparinée. Le sang est ensuite introduit dans l'analyseur. Trois grandes catégories de tests sont réalisés : le bilan d'oxygénation, les paramètres métaboliques apparentés et le bilan acido-basique.

UNE HISTOIRE D'INNOVATION

En 1935, deux ingénieurs danois, Børge Aagaard Nielsen et Carl Schrøder, fondent une société spécialisée dans la radio-télécommunication. En 1951, ils développent le premier pH-mètre, capable >>>

1954

Premiers analyseurs de gaz de sang

Années
1970

Automatisation des mesures

Début des années
2000

Essor de la connectivité

de doser le niveau d'acidité et de basicité dans les liquides.

Dès l'année suivante, lors de l'épidémie de polio-myélite qui touche l'Europe du Nord, ce dispositif est déterminant pour établir le bon diagnostic en mesurant la valeur du pH sanguin des enfants présentant un risque d'insuffisance respiratoire, afin de mieux guider les traitements. Les ingénieurs prennent alors conscience de l'importance de développer les pH-mètres sanguins pour le secteur médical et les premiers analyseurs de gaz de sang sont lancés en 1954.

Automatisation et connectivité

Dans les années 1970, les mesures sont automatisées grâce à l'utilisation de nouvelles électrodes et d'un circuit fluide plus simple. En 1999, la pratique s'améliore encore avec l'apparition des premières ampoules de contrôle interne de qualité (CIQ) : celles-ci permettent de détecter automatiquement les erreurs ou les dérives et de corriger la température interne des analyseurs à $37^{\circ}\text{C} \pm 0,1^{\circ}\text{C}$ pour éviter de fausser les résultats. Puis, au début des années 2000, la connectivité fait entrer les appareils dans

l'ère de la bio-informatique : désormais, les analyseurs sont surveillés à distance *via* des *middlewares* de pilotage. Grâce à ces logiciels, le biologiste responsable des analyses récupère facilement les résultats, lesquels sont automatiquement intégrés dans le système informatique du laboratoire et le dossier du patient, puis consultables à distance par les cliniciens *via* ordinateur, tablette ou smartphone. Dès 2012, des plates-formes centralisées et automatisées permettent aux biologistes d'avoir, en temps réel, une vue d'ensemble des résultats de tous les analyseurs de gaz du sang de leur établissement, mais aussi d'autres dispositifs de biologie délocalisée comme les lecteurs d'hémoglobine ou de glycémie. En cas d'anomalie, un e-mail ou une alerte est immédiatement adressé au qualicien ou au biologiste référent.

Des machines toujours plus efficaces

Les dispositifs volumineux du XX^e siècle n'ont plus grand chose à voir avec les analyseurs intelligents actuels ! Si les premiers appareils ne pouvaient mesurer que l'oxygène, le dioxyde de carbone et le pH, ils mesurent aujourd'hui jusqu'à dix-neuf para-

Une nécessité pour la nouvelle organisation hospitalière

Le développement de nouveaux paramètres et de la connectivité sur les analyseurs de sang est justifié par l'évolution de l'organisation hospitalière. Le regroupement des hôpitaux nécessite en effet une réorganisation des moyens des laboratoires. Les laboratoires satellites doivent néanmoins pouvoir répondre aux cliniciens des urgences en leur fournissant un premier bilan biochimique d'urgence sans envoyer une navette à l'hôpital principal, souvent distant de plus de 20 kilomètres.

mètres, dont l'intoxication au monoxyde de carbone et les marqueurs de l'insuffisance rénale (urée et créatinine), que les machines sont capables d'analyser en moins d'une minute à partir d'un unique échantillon. L'évaluation des échanges gazeux du patient est donc bien plus précise et la prise en charge thérapeutique optimisée. Des modèles compacts, conçus pour une utilisation au chevet des patients, sont par ailleurs disponibles. Utilisés dans des environnements cliniques chargés, comme les urgences, les salles d'accouchement mais aussi les services de soins intensifs et de réanimation néonatale, ils permettent aux professionnels de santé d'agir rapidement dans des situations cliniques vitales.

LA RÉANIMATION, EN CAS DE PRONOSTIC VITAL ENGAGÉ

Les services de réanimation, à distinguer des services de soins intensifs, ont fait l'objet d'une actualité particulière durant la pandémie de Covid-19. Ils accueillent les patients dont la vie est en danger immédiat.

« *La réanimation est un service spécialisé où sont hospitalisés les patients les plus graves* », rappelle la Société française d'anesthésie et de réanimation (Sfar). Les patients concernés présentent généralement « *une défaillance d'une fonction vitale comme par exemple lors d'une infection grave (choc septique), d'une intoxication médicamenteuse, d'un polytraumatisme, d'un coma, d'une insuffisance rénale aiguë, d'une insuffisance respiratoire aiguë après un arrêt cardiaque ou encore en post-opératoire d'une chirurgie majeure comme la chirurgie cardiaque ou digestive* », résume-t-elle.

Une équipe spécialisée

Les patients bénéficient « *d'une surveillance constante des fonctions vitales comme la ventilation, l'oxygénation, la pression artérielle, les fonctions cardiaque et rénale. Si besoin, une assistance de ces fonctions vitales peut être mise en place afin de permettre si possible la survie du patient* », détaille la Sfar. Ces derniers sont pris en charge par des médecins et infirmiers spécialisés en anesthésie-réanimation ou en réanimation travaillant en collaboration avec tous les spécialistes de l'hôpital. Des aides-soignants participent également aux soins.

À noter qu'il existe des services de réanimation dédiés à la néonatalogie, la pédiatrie, la neurochirurgie et la chirurgie cardiaque ou thoracique. En 2012, la Société de réanimation de langue française (SRLF) a élaboré 300

recommandations pour leur structuration : architecture des zones de soins et des chambres des patients, logistique, organisation des équipes médicales et paramédicales, principes de bientraitance, droits des patients... Le confort de ces derniers et le relationnel avec les familles est pleinement intégré dans les pratiques. Celles-ci évoluent d'ailleurs en permanence au gré de « *l'évolution des connaissances de la mécanique respiratoire, cardio-vasculaire, etc.* », de « *l'essor de nouvelles pathologies* » telles que le Covid-19, mais aussi des nouvelles technologies mises à la disposition des équipes de soins, évoque le Pr Hadrien Rozé, responsable de l'unité thoracique du service d'anesthésie-réanimation Sud au sein du CHU de Bordeaux.

La « réa » des tout-petits

La réanimation néonatale naît en Afrique du Sud en 1959 : pour la première fois, des médecins appliquent à des nouveau-nés atteints de tétanos néonatal une technique de réanimation respiratoire via une trachéotomie et un appareil de ventilation mécanique. En France, la première réanimation pédiatrique est ouverte à l'hôpital Saint-Vincent-de-Paul, à Paris, en 1964.

VENTILATEUR DE RÉANIMATION

CLÉ DE VOÛTE DE LA VENTILATION ARTIFICIELLE

Le ventilateur a énormément évolué depuis les premiers poumons d'acier. Il fait aujourd'hui partie intégrante des services de réanimation.



DE LA THÉORIE...

Un ventilateur de réanimation permet de suppléer la fonction pompe de l'appareil respiratoire afin d'insuffler activement l'air dans les poumons. Il sert ainsi à pratiquer ce qu'on appelle la ventilation artificielle, à travers une sonde endotrachéale ou nasale, une canule de trachéotomie ou un masque. Il est utilisé en post-opératoire, dans les situations de coma mais aussi pour pallier les détresses respiratoires (insuffisance respiratoire, œdème pulmonaire aigu, intoxication médicamenteuse volontaire, infarctus, etc.) en cas de pneumopathie (infection) ou de traumatisme thoracique.

À LA PRATIQUE

Le ventilateur (ou « respirateur ») délivre une certaine quantité d'un mélange d'oxygène et d'air pendant une durée et à une fréquence déterminées par le médecin réanimateur. Il est constitué de quatre éléments : un générateur de flux ou de débit (aujourd'hui valve électronique proportionnelle ou turbine) ; un circuit composé de deux branches, l'une conduisant le mélange gazeux au patient, l'autre acheminant le gaz expiré à l'appareil ; une valve d'expiration ne s'ouvrant que pendant le temps d'expiration ; et un système de commande. La plupart, hormis quelques appareils destinés >>>

»» aux urgences (*lire sur le sujet le chapitre ventilateur de transport et d'urgence*), recourt à des gaz muraux et tous, désormais, sont équipés d'un système de sécurité.

UNE HISTOIRE D'INNOVATION

Le principal enjeu des médecins réanimateurs est d'aider les patients qui ne peuvent plus respirer par eux-mêmes, tout en évitant une ventilation trop invasive. Dès 1828, le médecin Jean-Jacques-

Joseph Leroy d'Étiolles met d'ailleurs « en garde contre l'usage de trop grands volumes » d'oxygène « susceptibles de provoquer un pneumothorax » ; il décrit « le volotraumatisme (ventilation mécanique trop brutale) » et recommande « l'usage d'un soufflet gradué en fonction de la taille du patient », explique Claude Chopin, ancien chef de service réanimation au CHRU de Lille, dans son article intitulé « *L'histoire de la ventilation mécanique : des machines et des hommes* ». Les bases sont posées.

Spiroscope et pression contrôlée

En 1876, le français Eugène Woillez, lui aussi médecin, évoque ainsi l'idée d'une « *dépression extérieure appliquée sur les parois thoraciques pour obtenir leur dilatation [...]* », afin de soigner les personnes asphyxiées. Il invente alors ce qu'il appelle un spiroscope, un modèle de poumon isolé suspendu à l'intérieur d'un bocal de verre, qui se gonfle et se dégonfle grâce aux mouvements d'un soufflet. C'est le « *premier ventilateur par application externe d'une variation de pression* », note Claude Chopin.

En Allemagne, fort de son savoir-faire dans la fabrication de pompe à bière, l'Allemand Heinrich Dräger, avec l'aide de son frère Alexander-Bernhard, conçoit quant à lui en 1907 un appareil de ventilation alimenté par une bouteille d'air comprimé. « *L'augmentation de la pression à l'intérieur du circuit inspiratoire actionne] un astucieux système de bielles animées par un soufflet* », décrit



encore Claude Chopin. Outre un mode cyclé sur la pression, « *l'introduction d'un système d'horlogerie permet] un mode cyclé sur le temps, à fréquence fixe, témoignant déjà de la volonté de contrôler le cycle ventilatoire* », ajoute Claude Chopin, tout en précisant que cet appareil « *est l'ancêtre de tous les ventilateurs* ».

Essor des poumons d'acier

Le spiroscope donne naissance au poumon d'acier, qui se perfectionne à la fin des années 1920 sous l'influence des Américains Philip Drinker, son frère Cecil, et Louis Agassiz Shaw. Ce gros appareil en forme de tube, doté d'un moteur électrique, peut faire monter ou descendre la pression via un système de pompe et autorise les premières ventilations mécaniques de longue durée au profit des malades souffrant d'une paralysie du diaphragme. Il est largement

L'imagerie au service des médecins réanimateurs

Les médecins réanimateurs ont de plus en plus recours à l'imagerie médicale pour surveiller la fonction pulmonaire et les réglages effectués sur les ventilateurs : la radio pulmonaire, l'échographie des patients à plat ventre ou à plat dos ou encore, depuis peu, « *la tomographie par impédance électrique (TIE)* », développe le Pr Hadrien Rozé, du CHU de Bordeaux. La méthode, qui repose sur l'utilisation d'une ceinture d'électrodes positionnée au niveau de la cage thoracique du patient, « *sera à terme intégrée aux ventilateurs* », prédit-il.

1876

Premier ventilateur par application externe d'une variation de pression

1907

1907 Premier ventilateur par application interne d'une variation de

1954

Premier ventilateur moderne électrique

À partir des années

1980

La ventilation mécanique se calque le plus possible sur la respiration naturelle et spontanée des patients

utilisé lors des grandes épidémies de poliomyélite qui sévissent aux États-Unis (1948) et en Europe (1952). Mais l'appareil ne permet pas de réduire l'importante mortalité (plus de 80 % des malades).

C'est l'anesthésiste danois et fondateur des soins intensifs, Ibsen Bjorn, qui a alors l'idée d'associer une trachéotomie à cette ventilation par voie externe, appliquant ainsi pour la première fois les deux premières recommandations de la réanimation respiratoire : fournir une aide à la ventilation naturelle et assurer la liberté des voies aériennes. Pour autant, « *l'évidence de la supériorité de la ventilation par application interne d'une pression positive* » s'est progressivement imposée, même si le poumon d'acier fait encore de nos jours l'objet d'évaluations cliniques, développe Claude Chopin.

Vers la ventilation mécanique moderne

Dans les années 1950, apparaît le premier ventilateur capable de séparer le circuit malade du circuit machine, mais la vraie révolution survient en 1954

avec la création du premier ventilateur moderne électrique : celui-ci assure une ventilation à débit pré-réglé cyclée sur le temps avec une fréquence prédéterminée, et dispose d'un manomètre ainsi que d'un spiromètre pour la mesure des capacités pulmonaires des patients. Grâce à ce dispositif, Carl-Gunnar Engström, son inventeur, relève auprès de ses patients une mortalité de 27 % - contre 80 % en temps normal !

Au même moment, les appareils de ventilation mécanique se dotent d'un nouveau paramètre : l'application, grâce à une colonne d'eau, d'une pression expiratoire positive (PEP), c'est-à-dire d'une pression résiduelle maintenue au sein des voies aériennes pendant l'expiration, pour accroître le temps d'échanges gazeux au sein des poumons. Dès les années 1970, les respirateurs sont équipés de valves de PEP, ce qui permet de mesurer en continu les pressions aériennes et les débits gazeux. Puis, vers les années 1980, émerge l'idée que la ventilation mécanique ne doit plus « *se concevoir comme une prothèse ventilatoire* » mais « *comme une aide ou un support à la ventilation normale* », relate Claude Chopin.

60 ans dans un poumon d'acier

Atteinte dès ses 11 ans de poliomyélite, Martha Mason a passé 60 ans de sa vie dans un poumon d'acier, avant de s'éteindre en 2009. Enfermée dans un cylindre rigide de 2,13 mètres de long pesant plus de 300 kilos, la courageuse Américaine a néanmoins réussi à être diplômée avec mention très bien du lycée et de l'université. Elle a même réalisé son rêve d'enfant, devenir écrivaine. Ses mémoires, intitulées *Respire*, ont été publiées en 2003.

Améliorer la synchronisation patient-ventilateur

Des travaux sont donc menés pour améliorer la synchronisation entre l'effort du malade, l'ouverture de la valve inspiratoire et l'insufflation du >>>

ventilateur. Les respirateurs sont peu à peu équipés de microprocesseurs, permettant le développement des modes de ventilation pré-réglés. Ils se dotent de modes « partiels » autorisant la ventilation spontanée du malade entrecoupée de cycles contrôlés. D'autres combinent les avantages des réglages en pression et en volume pour un meilleur confort du patient, en se rapprochant le plus possible de la respiration naturelle. Le patient dirige sa ventilation et la machine et non l'inverse. L'oxygénothérapie à haut débit – consistant à apporter de l'air humidifié, chauffé et enrichi en oxygène – est également proposée pour la prise en charge des patients respirant spontanément mais atteints d'insuffisance respiratoire hypoxé-

mique aiguë ou de Covid-19, par exemple. Non invasive et utilisée correctement, elle peut éviter une intubation.

Toujours plus ergonomiques et faciles d'utilisation, les respirateurs intègrent un nombre croissant de paramètres (mesure de la capacité résiduelle fonctionnelle, du travail respiratoire ou encore de la pression transpulmonaire...) monitorés en (quasi) continu et affichés sur de larges écrans de surveillance (lire à ce sujet le chapitre suivant). Avec l'essor de l'électronique (capteurs de spirométrie, manomètres, valves électromagnétiques) et de l'informatique (correction en temps réel des variables mesurées et des commandes générées, alarmes sonores ou visuelles en cas d'alerte), les respirateurs gagnent en précision et en sécurité sachant que, dans le même temps, la compréhension de la physiopathologie de la ventilation mécanique et de ses effets indésirables s'affine.

Des appareils « très complets »

Aujourd'hui, les appareils sont « mixtes » et assurent la ventilation de patients intubés ou non. Tous sont connectés pour assurer l'implémentation automatique de l'ensemble des données recueillies au lit des patients au sein de leur dossier informatisé. « Très complets », « personnalisables » à l'aide de modules ou d'applications logicielles permettant d'obtenir à l'envi de nombreux paramètres ou courbes complémentaires, ils disposent de « fonctionnalités de pointe », relève le P^r Rozé,

Ventilateurs d'anesthésie, ventilateurs de réanimation

« Les ventilateurs de réanimation délivrent un mélange d'oxygène. Les respirateurs d'anesthésie, de plus grande taille, délivrent en prime un gaz anesthésique, rappelle le P^r Rozé. Ils fonctionnent en circuit fermé et les gaz expirés sont filtrés, recyclés et renvoyés vers le patient. »

responsable de l'unité thoracique du service d'anesthésie-réanimation Sud au sein du CHU de Bordeaux. « Seuls quelques modes ventilatoires, qui adaptent l'assistance délivrée par le ventilateur à l'activité électromyographique (EMG) du diaphragme ou qui délivrent une pression proportionnelle à l'effort du patient, par exemple, ne sont disponibles que sur certains appareils car sous brevet. Nous disposons ainsi, au sein de notre CHU, de plusieurs ventilateurs de marques différentes pour bénéficier de la complémentarité de leurs performances et assurer une prise en charge au plus près des besoins de nos patients. »



FOCUS PÉDIATRIE/NÉONAT

Réanimation néonatale : réparer les tout-petits

À l'heure actuelle, les respirateurs de réanimation participent à la ventilation des adultes comme des enfants, quoique réglés de manière adaptée pour tenir compte du poids et de la taille des plus jeunes patients. La néonatalogie présente toutefois des particularités, au vu de la fragilité des bébés pris en charge. Aussi, depuis quelques années, la pression positive continue (CPAP) et à deux niveaux (BIPAP), la ventilation assistée contrôlée ou encore, la ventilation à haute fréquence à l'aide d'un appareil dédié, sont préconisées pour leur prise en charge. La ventilation s'effectue à l'aide d'un masque, d'un casque ou de petites canules au niveau de la bouche et du nez, « *des techniques peu invasives qui permettent de traiter la majorité des insuffisances respiratoires chez les nouveau-nés et les enfants, sans recours à l'intubation* », relève le Pr Daniele De Luca, chef de service de pédiatrie et de réanimation néonatales à l'hôpital Antoine Béclère (Clamart). De plus, « *la réanimation néonatale bénéficie désormais de l'essor de l'assistance ventilatoire à ajustement neuronal, une ventilation proportionnelle, adaptée à l'activité électrique du diaphragme et, de fait, bien synchronisée avec l'activité respiratoire spontanée du bébé* », poursuit-il.

Naturellement, les dispositifs sont miniaturisés (sondes, cathéters). En 1970, 80 % des prématurés (poids inférieur à 1200 grammes) atteints de détresse vitale mouraient. Dix ans plus tard, 80 % survivent dans de bonnes conditions. Depuis, des techniques majeures révolutionnent la



prise en charge des détresses respiratoires : la corticothérapie prénatale de maturation pulmonaire fœtale, l'instillation trachéale de surfactant exogène... Aujourd'hui, les réanimateurs sauvent des bébés de 500 grammes !

SOLUTIONS DE SURVEILLANCE

UNE VISION DU PATIENT À 360 DEGRÉS

Les moniteurs de surveillance, qu'il s'agisse de l'anesthésie ou de la réanimation, fournissent, en temps réel, une vision complète des fonctions vitales et de l'état de santé des patients.



DE LA THÉORIE...

Les moniteurs d'anesthésie et de réanimation permettent de surveiller en continu (ou à intervalles rapprochés) l'état du patient, de guider un geste médical et d'avertir les professionnels de santé à l'aide d'alarmes sonores et/ou visuelles dès qu'un paramètre physiologique a dévié des valeurs attendues afin d'apporter les mesures correctrices adaptées. Les écrans de contrôle affichent, classiquement, plusieurs paramètres, « l'électrocardiogramme (ECG), la pression artérielle, la saturation pulsée en oxygène (SpO₂),

le CO₂ expiré et la température », énumère le Pr Jean-Michel Constantin, chef du service de réanimation chirurgicale et polyvalente à l'Hôpital Universitaire Pitié-Salpêtrière (AP-HP). Un peu plus complexes, du fait de la sédation du patient, « les moniteurs d'anesthésie sont intégrés dans des "stations d'anesthésie" sur lesquelles on mesure également les concentrations d'agents halogénés, la profondeur d'anesthésie et la curarisation. Parfois, ces moniteurs reprennent les données provenant du ventilateur. L'idée est d'avoir une vision globale de l'anesthésie en cours ».

À LA PRATIQUE

Il existe de nombreux moniteurs. Certains ne mesurent qu'une partie des variables physiologiques, d'autres assurent l'intégralité de la surveillance. Ces véritables ordinateurs dédiés possèdent des modules d'acquisition, intégrés ou non, des différents paramètres de surveillance recueillis sur le patient par l'intermédiaire d'un capteur spécifique à chaque signe vital. Ces modules communiquent avec une unité centrale qui envoie les

Le monitoring de la douleur, une utopie ?

Depuis quelques années, des recherches sont menées pour tenter de monitorer la douleur ressentie par les patients anesthésiés ou en réanimation. L'une des pistes est de surveiller la nociception, c'est-à-dire l'ensemble des signaux envoyés par le corps au cerveau indiquant qu'il ressent une douleur. La difficulté étant que le patient sous anesthésie générale est endormi et que, malgré certains signes évocateurs d'une douleur (hausse de tension, accélération du pouls...), de fait, les signaux n'atteignent pas le cerveau...

informations cliniques sur un ou plusieurs écrans de visualisation.

Ainsi, le rythme cardiaque et la respiration en réanimation sont évalués grâce à des électrodes fixées sur le thorax du patient. Le brassard du tensiomètre mesure la pression artérielle par intervalle. L'oxymètre de pouls mesure, grâce à un capteur à infrarouge positionné sur un doigt, la saturation sanguine en oxygène. Une sonde thermique capte, elle, la température corporelle du patient. Plus spécifiquement, la fonction respiratoire et le taux de gaz carbonique éliminé sont appréciés grâce à un capnographe qui prélève ou pas un petit échantillon de gaz pour l'analyser en continu.

Pour répondre à des besoins particuliers, certains moniteurs proposent des fonctions supplémentaires : imprimante intégrée, mémoire interne pour enregistrer des données complémentaires, batterie rechargeable assurant une continuité de la surveillance en cas de transport du patient, fonction d'appel d'urgence ou encore, plusieurs modes (adulte, enfant, nourrisson).

UNE HISTOIRE D'INNOVATION

Durant la Première Guerre mondiale, l'Américain Arthur Guedel, qui enseigne l'anesthésie au sein des forces expéditionnaires américaines basées en France, identifie quatre paramètres distincts à surveiller lors d'une anesthésie générale à l'éther : paramètres ventilatoires, circulatoires, signes neurovégétatifs, mouvements oculaires et diamètre pupillaire. Mais il faut attendre la fin des années



1950 pour que naissent, à proprement parler, les premiers outils de monitoring permettant la surveillance des patients en continu en anesthésie (cardioscope ou électro-cardioscope). Au début des années 1960, l'ECG est monitoré en continu pour la première fois avec une alarme audible de la fréquence cardiaque. Quelques années plus tard, deux médecins, Herbert Shubin et Max Harry Weil, introduisent un ordinateur dans une unité de soins intensifs à Los Angeles. À cette époque également, « *les premiers cathéters de prise de pression invasive sont commercialisés*, poursuit le P^r Jean-Michel Constantin. *Ils mesurent en continu la pression artérielle pour vérifier qu'il n'y a pas d'anomalie lors de la réanimation* ».

>>>

Mesurer le CO₂ expiré pour diminuer les accidents d'anesthésie

Depuis 1994 en France, lors d'une anesthésie, le monitoring continu de la concentration en gaz carbonique expiré (capnographie) lorsque le patient est intubé est obligatoire, au même titre que celui du débit de l'oxygène administré, de la teneur en oxygène du mélange gazeux inhalé, de la saturation du sang en oxygène ainsi que des pressions et des débits ventilatoires. En effet, « *la capnographie permet de détecter très précocement les problèmes (intubation œsophagienne, malposition d'un masque laryngé, ventilation inadaptée, réveil inopiné, etc.) et donc d'apporter les facteurs correctifs ad hoc rapidement afin de diminuer la morbidité et la mortalité inhérentes à l'anesthésie* », explique le Pr Jean-Michel Constantin. Associée à d'autres moniteurs, elle est aujourd'hui utilisée pour diagnostiquer les insuffisances circulatoires, l'hyperthermie maligne mais aussi l'évaluation de la profondeur d'anesthésie.

Vers des machines multiparamétriques

La découverte de ces divers paramètres permet l'évolution des machines. En effet, jusqu'à la fin des années 1980, chaque fonction nécessite un appareil : un pour l'ECG, un tensiomètre PNI (pression non invasive), un saturomètre (SPO₂), etc. En réanimation ou en chirurgie cardiaque lourde, une surveillance hémodynamique invasive (pression artérielle et débit cardiaque) a ensuite pu y être associée. C'est également le cas pour l'analyse des gaz de sang avec des moniteurs d'O₂ et de CO₂. À partir des années 1980, la surveillance des fonctions vitales de base est regroupée sur un seul et même moniteur autour des fonctions circulatoires du patient (ECG, PNI, SpO₂, température), avant que ne soit, ultérieurement, ajoutée la surveillance de la fonction respiratoire. Parallèlement, le monitoring s'affine, se diversifie avec de nouveaux paramètres (oxygénation du cerveau, pression transpulmonaire, pression transoesophagienne...) et se spécialise selon les pathologies. Par exemple, l'analyse fine de l'ECG et des troubles du rythme cardiaque intervient en cardiologie, la surveillance cardiorespiratoire en pédiatrie, l'électroencéphalogramme (EEG) en neurologie ou encore le monitoring de l'anesthésie au bloc opératoire. Les moniteurs se dotent d'une batterie en transport (urgence, SAMU) ou encore d'un blindage spécial en environnement IRM.

Les techniques de monitoring sont, en outre, moins invasives. « *Par exemple, la mesure du débit car-*



diacque des patients au bloc opératoire ou en réanimation ne nécessite plus de cathéter, limitant ainsi le risque de complications, évoque le Pr Xavier Monnet, du service de médecine intensive-réanimation de l'Hôpital Bicêtre (AP-HP). Désormais, quatre électrodes posées sur le thorax suffisent. » La mesure de la pression artérielle, variable essentielle de l'hémodynamique, s'effectue quant à elle à l'aide d'un simple capteur au bout du doigt..

Des dispositifs intelligents

En anesthésie comme en réanimation, les moniteurs deviennent de plus en plus modulaires avec des fonctions et des tailles d'écran adaptées au niveau de surveillance souhaité. Si l'unité centrale

1880

Invention du
tensiomètre

Années

1950

Premiers outils de
surveillance en continu
en anesthésie

1994

La Société française d'anesthésie
et réanimation (Sfar), dans
ses recommandations, instaure
la surveillance continue du patient

1998

Essor du monitoring
de la profondeur
d'anesthésie

Années

2000

Solutions multiparamètres
de plus en plus complètes
et communicantes



Moins de
12h

Chiffre clé

C'est la durée d'une chirurgie dite ambulatoire - hospitalisation, anesthésie et surveillance postopératoire comprises.

Source : « La chirurgie ambulatoire », site du ministère de la Santé et de la Prévention (mise à jour, 16 mars 2022).

se miniaturise, l'écran de contrôle intégrant de plus en plus de fonctions ne cesse de s'agrandir. Certains moniteurs sont utilisés en réseau, permettant le report d'informations d'un moniteur à un autre ou vers une centrale de surveillance pour faciliter le suivi infirmier. Ces dispositifs sont de véritables ordinateurs dédiés, connectés au dossier patient informatisé de l'hôpital et pouvant recevoir directement au chevet de celui-ci toutes les données de biologie ou d'imagerie susceptibles d'affiner la surveillance et le diagnostic médical.

Écrans plats basse consommation, wifi et connexion bluetooth, capteurs microélectroniques, interfaces utilisateur de plus en plus simples et intuitives, espace de stockage interne de données pouvant conserver jusqu'à 240 heures de surveillance ou espace cloud... Le monitoring d'aujourd'hui ne ressemble en rien à ce qu'il était à ses débuts. « Nous sommes passés d'une époque où l'on se contentait de signes cliniques – main pour prendre le pouls, brassard à tension manuel, stéthoscope – à un monitoring en routine très sophistiqué. Cela a permis de détecter de manière plus >>>

fiable et plus précoce des situations mettant en jeu la sécurité ou la vie des patients », résume le Pr Jean-Michel Constantin.

À l'avenir, « l'intelligence artificielle facilitera l'exploitation et le croisement de l'ensemble – considérable – des données produites, pour mieux prévoir l'évolution de l'état de santé de nos patients », complète le Pr Xavier Monnet (lire sur le sujet le chapitre xxxxx suivant).

Associer l'imagerie à la surveillance au lit du patient ?

Le Pr Xavier Monnet, du service de médecine intensive-réanimation de l'Hôpital Bicêtre (AP-HP), aspire « à l'essor de l'imagerie au lit du malade pour les patients en réanimation ». Ce « serait une avancée majeure, estime-t-il, car à l'heure actuelle, dans la plupart des cas, nous sommes obligés de transporter nos patients en salle d'imagerie pour procéder à un scanner ou à une IRM, par exemple, ce qui est chronophage pour les équipes médicales et paramédicales et non sans risque pour les patients ». Une belle perspective d'évolution des prises en charge !

La spécificité de l'anesthésie

Il existe néanmoins des spécificités propres à l'anesthésie. En l'occurrence, la surveillance des substances hypnotiques, analgésiques et curares administrés, afin d'éviter les situations de sur ou sous-dosage. L'enjeu est également de limiter les épisodes d'anesthésie inadéquats (hypo ou hypertension, brady ou tachycardie et mouvements) autant que les événements post-opératoires indésirables (nausées, vomissements, souvenirs de l'opération chirurgicale, etc.). La mesure de la profondeur d'anesthésie a donc fait l'objet de nombreuses recherches pour aboutir, à la fin des années 1990, à l'essor d'une méthode reposant sur l'analyse de l'électroencéphalogramme (EEG) et l'électromyogramme (EMG) des patients.

L'activité électrique du cerveau (avec une sensibilité de l'ordre du microvolt) et le fonctionnement des nerfs et muscles du visage sont ainsi captés à l'aide de trois électrodes disposées sur le front et les tempes, représentés sous la forme de deux courbes sur un moniteur et traduits en une valeur, l'indice bispectral (Bis). « Un patient réveillé a un Bis à 100, un patient endormi pour une chirurgie doit avoir un Bis entre 40 et 60, tandis qu'un patient dormant "beaucoup trop profondément" a un Bis inférieur à 30, explique le Pr Jean-Michel Constantin. Le but premier de cette invention était d'éviter la mémorisation des patients lors d'anesthésies, source de stress au réveil, mais des études ont par la suite démontré que cela n'était pas aussi probant que



prévu. En revanche, le Bis est sans aucun doute utile pour éviter les surdoses d'hypnotiques particulièrement délétères pour les patients, notamment sur les fonctions cognitives en post-opératoire. »

Une autre méthode reposant sur la mesure de l'irrégularité des signaux de l'EEG et de l'EMG s'est également développée, des signaux aléatoires et désynchronisés révélant un état d'éveil, des signaux réguliers indiquant une anesthésie générale profonde et des signaux plats signifiant une anesthésie très profonde. Dans les deux cas, les appareils sont capables d'analyser les tracés particuliers des EEG en phase d'anesthésie profonde (alternance des voltages élevés et bas, voire nuls) et proposent un affichage des courbes de plus en plus clair, en 3D et en couleur !

FOCUS ENFANT

Surveiller des bébés, même de 500 grammes

Les moniteurs de néonatalité sont les mêmes que ceux utilisés en réanimation pour les adultes. Avec toutefois des particularités.

« Il existe trois différences principales, explique le Pr Daniele De Luca, chef de service de pédiatrie et de réanimation néonatales à l'hôpital Antoine Béclère (Clamart). Premièrement, nous ne traitons pas les mêmes maladies. Ainsi, nous n'avons presque jamais de cancer, de broncho-pneumopathie chronique obstructive (BPCO), de pneumonie à organisation cryptogène (COP) [Ⓢ]. En revanche, nous prenons régulièrement en charge des pathologies typiques du nouveau-né comme la maladie des membranes hyalines [Ⓢ] ou le syndrome d'aspiration méconiale [Ⓢ], mais aussi le choc septique ou le sepsis grave. »

Ensuite, d'un point de vue physiologique, le poumon et la cage thoracique d'un nouveau-né ne sont absolument pas les mêmes que chez un adulte, de même que la fréquence cardiaque, très rapide, surtout la première semaine de vie.

Des dispositifs miniaturisés

Enfin, pour s'adapter à la petite taille des jeunes patients, « de nombreux outils comme les cathéters, les sondes ou les prothèses, ont été miniaturisés il y a une trentaine d'années environ, poursuit le Pr De Luca. Par exemple, nous utilisons aujourd'hui un électroencéphalogramme (EEG) d'amplitude, plus simple, nous donnant une interprétation immédiate, ce qui nous évite de recourir à un neurologue. Nous utilisons également le monitoring par oxymétrie de pouls car ce dispositif permet de réaliser une perfusion périphérique simple, continue et non invasive. Auparavant, les anesthésistes faisaient appel à la technique de temps de recoloration cutanée, que l'on utilisait à l'œil nu et qui était donc

moins précise et sécurisée. De nos jours, il est également possible d'effectuer des monitorages hémodynamiques de la fonction cardiaque et circulatoire très avancés, d'une façon non invasive et continue, grâce à deux dispositifs : la cardiométrie électrique (adaptée même pour les bébés de 500 grammes) et le doppler transœsophagien (utilisable pour les enfants jusqu'à 2,5 kilos). » Et pour les bébés de plus petite taille, de simples capteurs posés sur le front peuvent même être utilisés (lire à ce sujet le chapitre sur l'hémodynamique).

Des recherches à poursuivre

« Les systèmes de monitoring sont à ce jour performants », relève Alain Amblard, infirmier référent en réanimation pédiatrique et néonatale au sein de l'Hôpital Trousseau (AP-HP). Les données recueillies, plus précises, facilitent la prise en soins. « Nous ne pouvons plus nous en passer », estime-t-il. La recherche et l'innovation en pédiatrie et en néonatalogie ne doivent, toutefois, pas faiblir, pour des dispositifs de taille adaptée toujours plus atraumatiques, « la peau des bébés, et plus encore celle des prématurés, étant particulièrement fine », insiste-t-il. Le monitoring continu de nouveaux paramètres, tels que la glycémie, selon des analyses toujours plus fines et adaptées à la physiologie des enfants, serait également intéressant.

INTEROPÉRABILITÉ, MODÉLISATION ET DATA

À L'HEURE DE LA DATA

En anesthésie-réanimation, les données de surveillance continue, couplées aux données d'imagerie et de biologie médicales, facilitent la personnalisation et la sécurité des soins. Leur modélisation et leur exploitation sont, aujourd'hui, cruciales.

Les appareils utilisés en anesthésie comme en réanimation sont, aujourd'hui, tous connectés. Ils transfèrent en temps réel, par câble, wifi ou bluetooth, les données qu'ils recueillent sur des écrans de contrôle que des logiciels sophistiqués, ayant le statut de dispositif médical, modélisent sous forme de courbes, graphiques, indices, etc., en couleur et en 3D, pour faciliter le suivi des paramètres vitaux des patients.

Essor de l'hôpital numérique

Cette digitalisation des blocs opératoires et des services de réanimation s'inscrit dans une tendance plus large : à l'heure de l'hôpital numérique, toutes les informations nécessaires (données administratives, bilans de consultations et d'exams, monitoring per- et post opératoire, traitements heure par heure...) sont centralisées et archivées directement dans le dossier informatisé de chaque patient grâce à des systèmes de gestion extrêmement performants, eux-mêmes intégrés dans le système d'information central de l'hôpital (SIH). Avec, à la clé, une traçabilité des actes garantie et un suivi du patient amélioré. Et ce, d'autant plus que les accès distants au SIH, aux dossiers patients ou encore aux logiciels d'imagerie médicale et de biologie, fluidifient la communication entre professionnels de santé.

L'informatisation et le partage sécurisé des données de santé renforcent également l'espoir d'un meilleur lien hôpital-ville, pour faciliter les sorties d'hospitalisation. Sur ce point, les solutions logicielles auront un rôle primordial à jouer dans les

années à venir. Leur interopérabilité, à travers un modèle standard de communication, sera fondamentale.

Les espoirs de l'IA

Ces données massives (« big data »), stockées aujourd'hui dans des entrepôts de données, « *constituent une source remarquable d'informations pour mener des études rétrospectives et analyser des anomalies ou complications survenues lors de certaines prises en charge* », ajoute le Pr Hadrien Rozé, responsable de l'unité thoracique du service d'anesthésie-réanimation Sud au sein du CHU de Bordeaux. Avec un enjeu certain à l'avenir : « *Anonymisées et croisées à l'aide de logiciels reposant sur l'intelligence artificielle et, notamment, le machine learning* , elles aideront les cliniciens à mieux dépister certaines pathologies et mieux anticiper l'évolution de l'état de leurs patients. »

Il ne s'agit pas de fiction. « *Nous voyons apparaître, depuis quelques temps, des méthodes prédictives reposant sur l'analyse de variables simples telles que la fréquence cardiaque, la fréquence respiratoire ou encore la saturation en oxygène*, note le Pr Xavier Monnet, du service de médecine intensive-réanimation de l'Hôpital Bicêtre (AP-HP). *Nous sommes certains que ces méthodes se perfectionneront au fil du temps.* »

Une totale confiance dans les techniques et les professionnels de santé

LE REGARD DU PATIENT



À même pas 40 ans, Laure, jeune maman active, compte diverses anesthésies – loco-régionales comme générales – à son actif. Et si, comme elle le dit dans un sourire, « ce n'est jamais une partie de plaisir », la fiabilité des techniques et l'expertise des professionnels permettent d'en réduire l'appréhension...

« Ma première expérience d'anesthésie date de 2015 en raison d'un carcinome basocellulaire. C'est le cancer de la peau le plus fréquent, le plus souvent sans gravité.

C'était heureusement mon cas ! Il nécessite néanmoins une petite chirurgie. La tumeur étant située sur le visage, ma dermatologue a préféré me renvoyer vers un chirurgien plasticien en clinique. L'intervention, sous anesthésie locale et en ambulatoire, s'est tout de même déroulée au bloc. Je ne cache pas que toute la procédure associée (passer une blouse, attendre dans une chambre, partir au bloc sur brancard...) m'a semblé très lourde pour une opération aussi bénigne ! Laquelle s'est au demeurant très bien déroulée.

En 2020, j'ai dû recommencer la procédure en raison d'un second carcinome dans le cou. J'ai été opérée par le même chirurgien mais, cette fois-ci, dans son cabinet à la clinique. L'intervention s'est bien passée même si je n'étais pas forcément à

l'aise dans cette pièce exiguë. Je n'ai ressenti ni douleur ni effet secondaire à la suite des anesthésies mais, étonnamment, c'est l'environnement qui m'a le plus marquée..

Ce qui n'a pas été le cas pour ma troisième expérience d'anesthésie locale : la péridurale pour la naissance de mon fils. C'était un choix de ma part, j'ai donc eu le traditionnel rendez-vous avec l'anesthésiste : il a été très pédagogique, m'a bien expliqué le protocole si bien que j'étais aussi sereine que l'on puisse l'être pour ce type d'anesthésie. C'était vraiment essentiel car on entend dire tant de choses sur l'accouchement et la péridurale ! Le jour J, bien que le travail fût à peine commencé, elle m'a été posée très rapidement car j'avais des contractions en continu. Mais je n'en contrôlais pas le dosage. Dans cette maternité, ce rôle incombe aux sage-femmes, l'objectif étant de délivrer une dose d'anesthésiant permettant de continuer à marcher pendant le travail. Après l'accouchement, j'ai pu vite me lever, sans cette

sensation de jambes coupées que ressentent certaines femmes.

J'ai aussi fait l'expérience des anesthésies générales pour des coloscopies en 2018 et 2021. En raison d'antécédents familiaux, je suis en effet suivie régulièrement. Là aussi, les consultations pré-anesthésiques ont joué un rôle important pour me rassurer et me projeter. Dans les deux cas, je garde le souvenir d'une certaine douleur lorsque l'anesthésiant est passé dans ma main. Un souvenir plus que fugace en revanche puisque je me suis endormie immédiatement ! J'étais un peu vaseuse au réveil mais cela n'a duré que quelques minutes.

Une anesthésie générale n'est jamais anodine et, en tant que patient, on sait que cela comporte des risques. Pour ma part, j'ai toujours dans un coin de ma tête la peur inconsciente de ne pas me réveiller.. Pour autant, j'ai une totale confiance dans les techniques et l'expertise des professionnels de santé. Et heureusement, car je dois me soumettre à cet examen tous les trois ans ! »

Sans les machines, mon fils ne serait pas un petit garçon de 3 ans en pleine santé

LE REGARD DU PATIENT



Il y a trois ans, la vie de Marie a été bouleversée : après un début de grossesse normal, une rupture spontanée de la poche des eaux entraîne la naissance de son fils, à seulement 26 semaines et 5 jours d'aménorrhée. Intubation, ventilation... De la réanimation à la néonatalogie, retour sur les incroyables premières semaines de la vie de Léon, aujourd'hui âgé de 3 ans.

À 24 semaines et 6 jours d'aménorrhée, j'ai été hospitalisée et alitée pendant 15 jours, au bout desquels les contractions ont commencé, accompagnées d'un début d'infection. À 26 semaines et 5 jours d'aménorrhée, vers 13h, mon fils Léon est né par césarienne. Il a immédiatement été intubé et mis en couveuse. Je ne l'ai vu que de loin mais j'ai été rassurée : c'était certes un grand prématuré mais je l'ai trouvé beau !

Accompagné de son papa, il a immédiatement été transféré en réanimation tandis que je gagnais le service de retour de couches. Cela a été difficile car je me suis retrouvée avec d'autres mamans avec leur bébé, tandis que le mien était entre la vie et la mort... À ce stade, les médecins ne se prononcent pas, alors on imagine le pire. Le soir, j'ai pu aller le voir en réa. Ses poumons

étant immatures, il ne pouvait pas respirer seul, était intubé et placé sous ventilateur. Les alarmes, la lumière, les bips... Tout cela était très impressionnant. Les bébés sont surveillés de très près, ce qui est à la fois rassurant et angoissant.

Puis, les nouvelles se sont faites de plus en plus rassurantes et nous avons pu – progressivement ! – faire de très courts « peau à peau » et mettre en place l'allaitement. Nous avons été extrêmement bien accompagnés par toute l'équipe. Puéricultrices, médecins, psychologues, infirmières... Ils ont tous été formidables dans leur disponibilité et leur bienveillance. L'aide des associations de patients comme SOS Préma a également été très précieuse.

Nous avons pu bénéficier d'une chambre dans un appartement dépendant de l'hôpital. Chaque jour passé en réa a apporté son lot de succès. Un mois et demi après sa naissance, Léon avait

pris assez de poids et le risque infectieux avait été écarté, si bien qu'il est sorti de réa. Comme il respirait seul et n'était plus intubé, il est monté en néonatalogie. Avec mon compagnon, nous avons été installés dans sa chambre, l'objectif étant désormais qu'il se nourrisse seul, condition sine qua non pour nous permettre de sortir.

Ce que nous avons vécu a été très difficile sur le moment et je dois reconnaître que j'ai eu du mal à accepter que mon enfant ne fût pas viable sans machine. Mais aujourd'hui, je remercie les progrès des dispositifs médicaux. Sans cela, Léon ne serait pas aujourd'hui un petit garçon de 3 ans en pleine santé et qui a rattrapé toutes les courbes. La vie nous a donné une belle leçon...

A

Acidose

Trouble sanguin caractérisé par une montée de l'acidité du sang.

Agent halogéné

Agent anesthésique administré par inhalation, provoquant à la fois perte de conscience et immobilité, en agissant sur le cerveau mais aussi sur la moelle.

C

Capnographie

Relevé, sous forme de graphique, du taux de dioxyde de carbone présent dans l'air expiré.

Choc cardiogénique

Défaillance aiguë et sévère de la pompe cardiaque entraînant une altération profonde de la perfusion tissulaire ainsi qu'une diminution progressive de la quantité d'oxygène distribuée par le sang dans les tissus.

CO-oxymétrie

Mesure de différentes formes de l'hémoglobine (oxyhémoglobine, déoxyhémoglobine...). Les CO-oxymètres, indépendants ou intégrés aux analyseurs de gaz du sang, permettent d'apprécier la fraction de l'hémoglobine réellement impliquée dans le transport de l'oxygène aux tissus, mais aussi de concourir au diagnostic d'états pathologiques liés à l'augmentation de certaines fractions.

D

Dyspnéique

Qui éprouve des difficultés à respirer.

E

Électrolytes

Minéraux transportant une charge électrique lorsqu'ils sont dissous dans un liquide tel que le sang.

Électrovanne

Vanne commandée électriquement.

H

Hépariné

Se dit d'un dispositif recouvert d'héparine, une substance anticoagulante naturellement présente dans tous les tissus de l'organisme.

Hyperbare

Dont la pression est supérieure à la pression atmosphérique.

M

Machine Learning

forme d'intelligence artificielle consistant à laisser des algorithmes découvrir des récurrences dans des ensembles de données.

Maladie des membranes hyalines

Maladie liée à un défaut de maturité des poumons, survenant essentiellement chez les prématurés. Responsable d'une insuffisance respiratoire aiguë, elle est due à l'existence de membranes fibrineuses dans les alvéoles pulmonaires.

Métabolites

Résidus organiques issu du métabolisme.

O - P

Oxymètre de pouls

Ce dispositif permet de mesurer de façon continue la quantité d'oxygène circulant dans les artères.

Pneumonie organisée cryptogénique

Forme particulière de pneumonie, caractérisée par une inflammation pulmonaire et une fibrose qui obstruent les petites voies respiratoires (bronchioles) et les cavités pulmonaires (alvéoles).

R - S

Rotamètre

Appareil mesurant le débit volumétrique des fluides.

Syndrome d'aspiration méconiale

Se produit lorsqu'un fœtus inhale du liquide amniotique contenant du méconium, matière pâteuse noire accumulée dans l'intestin du bébé avant la naissance.

T

Thermodilution transpulmonaire

Elle permet notamment de mesurer différents paramètres cardio-respiratoires, grâce à l'injection par voie veineuse centrale d'un indicateur thermique, tels que le débit, la précharge et la contractilité cardiaques.

Trigger inspiratoire

Mécanisme permettant au ventilateur de détecter le début de l'inspiration spontanée du malade et de déclencher le cycle ventilatoire. Le trigger expiratoire correspond au moment où le ventilateur détecte le début de l'expiration. Le patient conserve ainsi le contrôle de la fréquence et de la durée des cycles.

SOURCES - REMERCIEMENTS

OUVRAGES

« Anesthésie, analgésie, réanimation, Samu : notre histoire, de 1945 aux années 2000 », Tome I, II et III, Club de l'histoire de l'anesthésie et de la réanimation, Éditions Gyphe.

M. Zimmer, « Histoire de l'anesthésie », EDP Sciences.

ARTICLES ET PRÉSENTATIONS

C. Chopin, « L'histoire de la ventilation mécanique : des machines et des hommes », Congrès de la SRLF, 2006.

J.-L. Bourgain, « Le socle de connaissances sur la ventilation mécanique », MAPAR, 2014.

Y. Coisel, M. Conseil, N. Clavieras, B. Jung, G. Chanques, D. Verzilli, S. Jaber, « Ventilation artificielle : les fondamentaux », Congrès de la SFAR, 2013.

K. Tazarourte, B. Pamar, Y. Lhermitte, « Ventilation en situation d'urgence », Journées lilloises d'anesthésie-réanimation et de médecine d'urgence (JLAR), 2005.

C. Grégoire, F. Thys, « Technique de ventilation non invasive du BPCO », Service des Urgences, Cliniques Universitaires Saint-Luc - Université Catholique de Louvain, 2012.

F. Lellouche, « Quelle technique d'humidification pour la ventilation invasive et non invasive ? », in Réanimation, 2016.

V. Billard, « Halogénés : comment les utiliser ? aiVoc, ainoc, boucle ... », Mise au point en anesthésie réanimation (MAPAR), 2010.

B. Bonnot, M. Beaussier, « Sédation en anesthésie : comment évaluer la profondeur ? », in Le praticien en anesthésie réanimation, vol. 18, n°2, avril 2014.

V. Billard, « Monitoring de la profondeur de l'anesthésie », Congrès national d'anesthésie-réanimation, 2011.

V. Billard, « Utilisation clinique de l'index bispectral de l'électro-encéphalogramme (Bis) en anesthésie », JLAR, 1998.

S. Passot, S. Molliex, « Le Bis vingt ans après ? A quoi ça sert ? », ICAR, 2012.

A. et M. Neidhardt, « Anesthésies loco-régionales », CHU de Besançon, 2007.

J.E. Bazin, « L'anesthésie par inhalation à objectif de concentration »

F. Verschuren, N. Delveau, F. Thys, « Le monitoring du CO₂ expiré : de la théorie à la pratique », Urgences, chap. 52, 2009.

F. Capron, J.-L. Bourgain, « Capnographie en anesthésie », MAPAR, 1999.

« La mortalité anesthésique en France : résultats de l'enquête Sfar-CépiDc-Inserm », Bulletin Épidémiologique Hebdomadaire, n°14, 2007.

J. Lotier, « Respirateurs de réanimation »

B. Tavernier, MO. Fischer, E. Lorne, J.-L. Fellahi,

« Monitoring du débit cardiaque en anesthésie : quelles techniques ? Quelles limites ? », Congrès de la SFAR, 2013.

A. Ouattara, M. Biais, « Quel monitoring hémodynamique au bloc opératoire ? », Congrès de la SFAR, 2014.

S. Ehrmanna, K. Lakhali, T. Boulainc, « Pression artérielle non invasive : principes et indications aux urgences et en réanimation », SRLF, Elsevier-Masson, 2009.

J.-C.M. Richard, G. Beduneau, « Quel ventilateur pour la prise en charge préhospitalière et le transport ? », in Réanimation, vol. 14, n°8, décembre 2005.

J.D. Ricard, B. Sztrymf, J. Messika, R. Miguel Montanes, S. Gaudry, D. Dreyfuss, « Oxygénothérapie haut débit, intérêt et limites », Urgences, chap. 28, 2012.

F. Vachon, « Histoire de la réanimation médicale française : 1954-1975 », Congrès de la SFAR, 2010.

A. Tenaillon, « L'humanisation progressive de la réanimation », in La revue du praticien, vol. 62, avril 2012.

A. Eghiaian, J.E. Bazin, J.L. Bourgain, X. Combes, S. Jaber, P. Michelet, M. Panczer, F. Servin, K. Nouette Gaulain, « Socle de connaissances sur les respirateurs (réanimation et urgences) et les machines d'anesthésie », SFAR, AFIB, SRLF.

J.-P. Depoix, R. Delattre, P. Brun, M.-P. Dilly, « *ECMO : ses indications* », Congrès Infirmiers - Infirmier(e)s de réanimation de la SFAR, 2012.

A. Cariou, « *ECMO : sa place dans le traitement en réanimation des malades de la Covid-19* », Vidal.fr, juillet 2021.

LES PRINCIPALES SOCIÉTÉS SAVANTES EN ANESTHÉSIE ET RÉANIMATION

Société Française d'Anesthésie et de Réanimation (SFAR)

Société de Réanimation de Langue Française (SRLF)

Société Française des Infirmier(e)s Anesthésistes (SOFIA)

Club de l'Histoire de l'Anesthésie et de la Réanimation (CHAR)

Collège Français des Anesthésistes Réanimateurs (CFAR)

SITES INTERNET

Club de l'Histoire de l'Anesthésie et de la Réanimation (CHAR) : char-fr.net

Institut de Formation Inter-hospitalier Théodore Simon (IFITS) : www.ifits.fr

Société Française d'Anesthésie et de Réanimation (SFAR) : sfar.org

Société Française des Infirmier(e)s Anesthésistes (SOFIA) : sofia.medicalistes.org/

Journées lilloises d'Anesthésie Réanimation et de Médecine d'Urgence (JLAR) : www.jlar.com

Mise Au Point en Anesthésie Réanimation (MAPAR) : www.mapar.org

Agence Nationale d'Appui à la Performance (ANAP) : www.anap.fr

REMERCIEMENTS

Nicolas Allegret, Business Marketing Manager France - Connected Care chez Philips Health Systems

Alain Amblard, infirmier référent en réanimation pédiatrique et néonatale, Hôpital Trousseau, Paris

D^r Jean-Louis Bourgain, département d'Anesthésie Réanimation, Institut Gustave Roussy, Villejuif

Xavier Capdevila, PU-PH, Chef du département d'anesthésie-réanimation et soins critiques de l'Hôpital Lapeyronie, CHU de Montpellier

D^r Jean-Bernard Cazalaà, anesthésiste-réanimateur, retraité de l'Hôpital Necker, AP-HP, Président du Club de l'histoire de l'anesthésie et de la réanimation

Myriam Chendar, Chef de produits Structural Heart chez Medtronic France

P^r Alain Combes, Professeur et chef du service de Réanimation Médicale de l'Hôpital Universitaire Pitié Salpêtrière, AP-HP

P^r Jean-Michel Constantin, médecin anesthésiste, Chef du service de réanimation chirurgicale et polyvalente, Hôpital Universitaire Pitié-Salpêtrière, Paris, et 1^{er} Vice-président de la SFAR

P^r Souhayl Dahmani, Chef de service du Département d'anesthésiologie et réanimation (DAR), Hôpital Robert Debré, Paris, Département médico-universitaire PARABOL & Fédération Hospitalo-Universitaire I2-D2, Université de Paris Cité, Paris

Jean Jacques Dongay, Chef de produits Déficience Respiratoire chez Medtronic France

P^r Daniele De Luca, Chef de service de pédiatrie et de réanimation néonatales, Hôpital Antoine Béclère, Clamart

P^r Étienne Gayat, anesthésiste-réanimateur, Hôpital Lariboisière, Paris

Catherine Harant, Directeur marketing chez Air Liquide Medical Systems

P^r Olivier Huet, Chef de l'unité de réanimation chirurgicale au sein du Département d'anesthésie-réanimation et médecine péri-opératoire, CHRU de Brest

Sylvie Jouvard, infirmière anesthésiste, spécialiste clinique en Recherche et Développement chez Infiplast, Responsable commercial gamme Propium

D^r Marc Lilot, Responsable de l'unité fonctionnelle d'anesthésie et de réanimation cardio-thoracique pédiatrique, CHU de Lyon

P^r Alain Mercat, PU-PH, Chef du service Médecine intensive, réanimation et médecine hyperbare, CHU d'Angers

P^r Xavier Monnet, Chef du service de médecine intensive-réanimation, Hôpital Bicêtre, Le Kremlin-Bicêtre

P^r Éric Noll, Chef adjoint du service d'anesthésie, réanimation et médecine péri-opératoire, CHRU de Strasbourg

Hugo Pont, Business Unit Director chez Edwards Lifesciences

Stéphane Revaux, Operational Manager - Head of Quality chez Infiplast

P^r Hadrien Rozé, Responsable de l'unité thoracique du service d'anesthésie-réanimation Sud, CHU de Bordeaux

P^r Dominique Savary, Chef du département de médecine d'urgences (SAMU 49 et Urgences adultes), CHU d'Angers

Valérie Scarcériaux, Directrice Scientifique chez Gamida France

Nadia Tomasella, Chef de produits Complications périopératoires chez Medtronic France

AIDE A LA PRÉVENTION DES ESCARRES	ANESTHÉSIE - RÉANIMATION	APPAREIL DIGESTIF	AUDIOLOGIE	CARDIOLOGIE	CONTACTOLOGIE
DIABÈTE	DIALYSE	HANDICAP MOTEUR	IMAGERIE	INJECTION - PERFUSION	NEUROLOGIE
NUMÉRIQUE EN SANTÉ	OPHTALMOLOGIE	ORTHÈSES	ORTHOPÉDIE	PATHOLOGIES VEINO-LYMPHATIQUES	PLAIES ET CICATRISATION
RESPIRATION	ROBOTIQUE	SANTÉ BUCCO- DENTAIRE	SANTÉ DE LA FEMME	UROLOGIE	

Tous les livrets sont téléchargeables sur le site du Snitem : www.snitem.fr

Progrès & dispositifs médicaux

NOUVELLE ÉDITION
2022



Quand l'épopée de l'innovation des
dispositifs médicaux
se confond avec l'extraordinaire histoire
de l'anesthésie-réanimation.

SNITEM

92038 Paris - La Défense cedex

Tél. : 01 47 17 63 88 - Fax : 01 47 17 63 89

www.snitem.fr

info@snitem.fr

 [@snitem](https://twitter.com/snitem)

