

UNIVERSITÉ DE NANTES

FACULTÉ DE MÉDECINE

Année : 2020

N°

THÈSE

pour le

DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN MÉDECINE

ANESTHÉSIE-REANIMATION

par

Hugo HILLE

Né le 27 juillet 1989 à Poitiers (86)

Présentée et soutenue publiquement le 22 octobre 2020

Non-invasive technology for Early Signal detection of hypoxemia with ORI during
Intubation

Président : Monsieur le Professeur Jean REIGNIER

Directeur de thèse : Docteur Jean-Baptiste LASCARROU

Contenu

Remerciements	3
Abréviations	4
I. Introduction.....	5
II. Matériels et Méthodes.....	9
A. Design	9
B. Critères de sélection des patients	9
C. Critères de jugement.....	10
D. Considérations éthiques.....	10
E. Financement.....	10
F. Déroulement	10
G. Données recueillies	11
H. Analyses statistiques	12
I. Effectif	13
III. Résultats	13
A. Caractéristiques des patients à l'admission	13
B. Caractéristiques prédites de la ventilation et de l'intubation.....	15
C. Caractéristiques de la procédure d'intubation	15
D. Critère de jugement principal.....	17
E. Critères de jugement secondaires.....	17
IV. Discussion.....	20
V. Conclusion	25
VI. Bibliographie.....	26

Remerciements

Je remercie Christophe et Catherine pour leur soutien indéfectible tout au long de mes études et bien plus encore. Je n'oublie pas mes frères et sœurs, Arthur, Sarah, David et Ivan. Je vous aime.

Merci à tous mes amis et notamment à Fabien, Pierre-Antoine, Marie et tous les autres.

Je remercie toute l'équipe d'anesthésie-réanimation chirurgicale Nantaise pour m'avoir formé tout au long de cet internat.

Je remercie toute l'équipe de médecine intensive et réanimation de Nantes pour m'avoir accueilli avec bienveillance en dernier semestre.

Pour finir, je remercie Jean-Baptiste, mon directeur de thèse, qui m'a accompagné tout au long de cette thèse prenante.

Abréviations

ACR = Arrêt cardiorespiratoire.

CRF = Capacité résiduelle fonctionnelle.

FeO₂ = Fraction expirée en oxygène en %.

SpO₂ = Saturation en oxygène de l'hémoglobine mesurée par oxymétrie de pouls.

PaO₂ = Pression partielle en oxygène artériel en mmHg.

ORI = Index de réserve en oxygène.

SaO₂ = Saturation artérielle en oxygène en %.

SvO₂ = Saturation veineuse en oxygène en %.

VO₂ = Consommation globale en oxygène.

CHU = Centre hospitalier universitaire.

FiO₂ = Fraction inspirée en oxygène.

VNI = Ventilation non invasive.

HFNC = Oxygénothérapie à haut débit par canules nasales.

CPP = Comité de protection des personnes.

IMC = Indice de masse corporelle en kg/m².

Score SOFA = Sequential Organ Failure Assessment.

Score IGS II = Indice de gravité simplifié.

PAS = Pression artérielle systolique en mmHg.

PAD = Pression artérielle diastolique en mmHg.

PAM = Pression artérielle moyenne en mmHg.

FC = Fréquence cardiaque en bpm.

FR = Fréquence respiratoire en cpm.

EtCO₂ = CO₂ expiré en kPa.

PEP = Pression expiratoire positive en cm d'H₂O.

Score POGO = Percentage of glottic opening.

ADO = Antidiabétiques oraux.

SAOS = Syndrome d'apnées obstructives du sommeil.

AVC = Accident vasculaire cérébral.

PaCO₂ = Pression partielle en CO₂ artériel en mmHg.

BAVU = Ballon autoremplisseur à valve unidirectionnelle.

BURP = Backwards, Upwards and Rightwards Pressure.

I. Introduction

L'intubation est un geste fréquemment réalisé en réanimation puisqu'il concerne 22% des admissions (1). C'est également un geste à haut risque puisqu'il s'accompagne de complications jusque dans 50% des cas. Cela s'explique par la plus grande instabilité hémodynamique et respiratoire des patients, par un contexte souvent moins favorable qu'au bloc opératoire (intubation en urgence chez un patient estomac plein et dont l'accessibilité des voies aériennes n'a pas pu être évaluée) et par l'expérience variable des opérateurs, notamment en termes de gestion des voies aériennes (1). Les complications « sévères » s'observent dans plus de 30% des cas. Elles regroupent l'hypoxémie sévère (26%), l'hypotension artérielle profonde (25%), l'arrêt cardiaque (ACR) (1,6-2,6%) et le décès (0,5-3%). Les complications « modérées » s'observent dans un peu plus de 10% des cas. Elles regroupent les arythmies (3-10%), l'intubation œsophagienne (4-8%), l'inhalation du contenu gastrique (2-4%), l'intubation difficile (8-23%), les bris dentaires et l'agitation (1-3).

L'hypoxémie sévère constitue la complication sévère la plus fréquemment observée au cours de l'intubation (1). Elle est d'autant plus fréquente que le patient est hypoxémique avant l'intubation et/ou qu'il présente des difficultés d'intubation (2, 4, 5). Elle est associée à une augmentation du risque d'ACR pendant l'intubation (6). Pour finir, elle s'associe à une augmentation de la mortalité chez certains patients, en particulier les cérébrolésés (7).

L'application simultanée de mesures au sein d'un protocole d'intubation standardisé permet de réduire significativement l'incidence de ces complications (8). Elles incluent l'optimisation du statut hémodynamique, des conditions d'intubation et enfin du statut respiratoire (9-32).

La préoxygénation, pierre angulaire de la sécurité de l'intubation en réanimation, permet de réduire ce risque et est universellement recommandée (10). Elle a pour objectif de prévenir la survenue d'une hypoxémie pendant l'intubation. Son principe repose avant tout sur le processus de « dénitrogénéation » qui consiste à remplacer l'azote, gaz de soutien des alvéoles, par de l'oxygène au niveau de la capacité résiduelle fonctionnelle (CRF) en administrant en ventilation spontanée de l'oxygène pur pendant 3 minutes avant l'induction à l'aide d'un masque étanche. Cette CRF dénitrogénée

constituera le réservoir d'oxygène. L'efficacité de la dénitrogénéation est évaluée expérimentalement et au bloc opératoire par la FeO_2 mais cette technique présente des limites dans le cadre de l'urgence (sensibilité aux fuites) et n'est pas disponible en réanimation (25). Des études ont évalué différents dispositifs de préoxygénation avec des résultats contradictoires. En effet, l'extension de la durée de la préoxygénation ne semblait pas bénéfique et il n'existe actuellement aucun dispositif permettant d'assurer une préoxygénation parfaite, c'est-à-dire d'éviter toute désaturation pendant l'intubation (26-32). Deux raisons peuvent expliquer ces résultats. D'une part, la saturation pulsée en oxygène (SpO_2) mesurée par oxymétrie de pouls - qui est le paramètre surveillé en réanimation - ne détecte que tardivement l'hypoxémie. D'autre part, l'efficacité de la préoxygénation ne peut pas être évaluée en réanimation. Ainsi, anticiper la survenue d'une hypoxémie pendant l'intubation et optimiser la préoxygénation doivent constituer deux préoccupations majeures pour le clinicien puisque cela peut impacter directement le pronostic des patients mais elles nécessitent un outil fiable pour juger de la qualité de la préoxygénation.

Les paramètres de monitoring non invasifs actuellement utilisés (SpO_2 , FeO_2) ne renseignent pas sur l'état des réserves en oxygène et donc sur le temps dont on dispose avant la survenue d'une désaturation pendant la période apnéique (25). Du fait de la forme sigmoïde de la courbe de dissociation de l'oxyhémoglobine, la SpO_2 est presque maximale lorsque la PaO_2 est comprise entre 80 et 100 mmHg, et toute augmentation de la PaO_2 au-dessus de ce niveau n'affectera plus la SpO_2 . Ainsi, lorsque la SpO_2 est $\geq 97\%$, la PaO_2 peut être comprise entre 100 et 600 mmHg. Par conséquent, seule une mesure directe de la PaO_2 , grâce à une gazométrie artérielle, peut être utilisée pour évaluer l'hyperoxémie lorsque la SpO_2 est $\geq 97\%$. Pour la même raison, la SpO_2 ne détecte que tardivement l'hypoxémie. En effet, lorsque la SpO_2 diminue en dessous de 97%, la PaO_2 a déjà diminué jusqu'à 80 mmHg et va continuer à décroître rapidement (33) (figure 1). La PaO_2 est le seul paramètre susceptible de nous donner une information sur le temps d'apnée sans désaturation dont on pourrait disposer mais il n'est pas réalisable de surveiller ce paramètre dans le contexte de l'intubation en urgence (mesure invasive et intermittente, résultat différé).

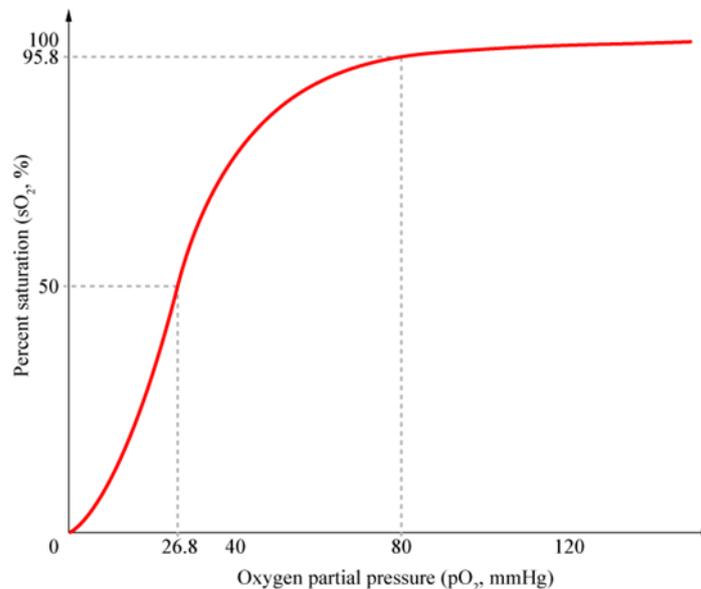


Figure 1 : Courbe de dissociation de l'oxyhémoglobine

Un nouveau paramètre de monitoring de l'oxygénation, l'ORI (Rainbow SET, Masimo Inc., Irvine, CA, USA), a été récemment développé. Il est mesuré de façon continue et non invasive par un cooximètre de pouls à longueurs d'ondes multiples placé sur la pulpe d'un doigt. Sa mesure a été rendue possible grâce à la capacité de ce cooximètre à pouvoir analyser les variations de l'absorption sanguine pulsatile de la lumière incidente au niveau artériel mais aussi au niveau veineux. Il permet, chez les patients recevant de l'oxygène, d'évaluer l'oxygénation dans une plage d'hyperoxémie modérée (PaO₂ comprise entre 100 et 200 mmHg) lorsque la SpO₂ est $\geq 97\%$. Il s'exprime sous la forme d'un indice sans unité compris entre 0,00 et 1,00, qui est un indicateur relatif des variations de la PaO₂ dans la plage d'hyperoxémie modérée. En combinant les équations de Fick et de contenu en oxygène, les variations de l'absorption de la lumière résultant de cette plage de PaO₂ constituent la base du calcul de cet indice. Schématiquement, lorsque l'on administre de l'oxygène pur à un patient, la SaO₂ atteint 100% lorsque la PaO₂ atteint 100 mmHg. Au-delà, la PaO₂ va continuer à augmenter tandis que la SaO₂ restera à 100%. En revanche, à partir de ce seuil, la SvO₂ va commencer à augmenter et atteindra son maximum (80%) lorsque la PaO₂ aura atteint 200 mmHg (figure 2) (34).

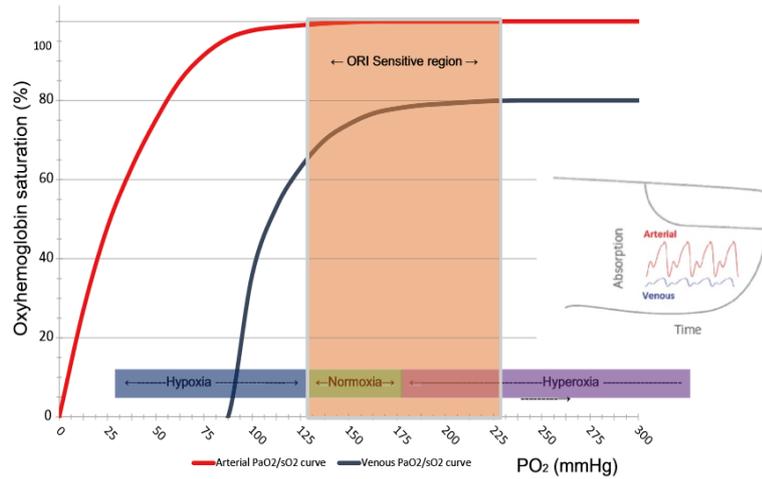


Figure 2 : Relation entre SvO2 et PaO2

Cette relation proportionnelle entre SvO2 et PaO2 explique que l'ORI évalue l'oxygénation dans une plage d'hyperoxémie modérée comprise entre 100 et 200 mmHg et qu'il n'a d'intérêt que lorsque la SpO2 est $\geq 97\%$ (figure 3). Cette relation entre SvO2 et PaO2 (et donc entre PaO2 et ORI) n'existe que lorsque la consommation en oxygène (VO2), le débit cardiaque et l'hémoglobine sont stables. Autrement dit, lorsque la SaO2 est à 100%, la SvO2 augmentera à mesure que la PaO2 augmente à condition que la VO2, le débit cardiaque et l'hémoglobine soient constants.

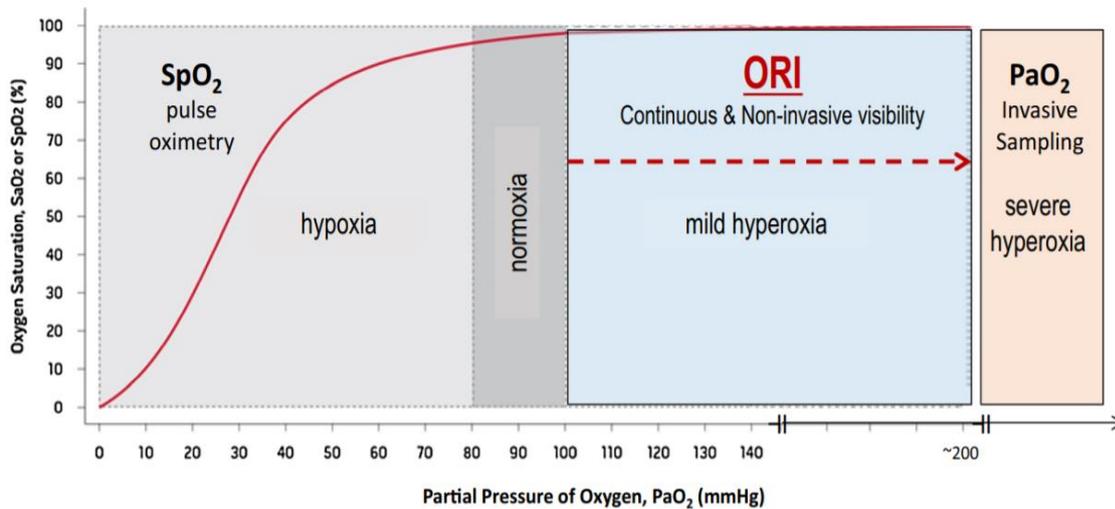


Figure 3 : Evaluation de l'oxygénation selon le paramètre utilisé

Ainsi, nous avons cherché à évaluer l'intérêt de l'ORI pour la détection précoce de l'hypoxémie pendant l'intubation en réanimation à travers une étude pilote prospective

observationnelle menée au sein du service de médecine intensive et réanimation du CHU de Nantes. L'objectif principal de notre étude était de déterminer si l'ORI permettait de détecter plus précocement une hypoxémie que la SpO2 pendant l'intubation.

II. Matériels et Méthodes

A. Design

Le recrutement a été réalisé au sein du service de médecine intensive et réanimation du CHU de Nantes. Tous les patients admis en réanimation et nécessitant une intubation orotrachéale étaient potentiellement éligibles. Chaque patient nécessitant une intubation orotrachéale et respectant les critères d'inclusions et de non inclusion était inclus, après la remise de la lettre d'information et le recueil de la non opposition du patient ou, à défaut, de ses proches, ou par le biais d'une procédure d'inclusion en urgence. Dans les deux derniers cas, la non-opposition du patient était collectée rétrospectivement et dès que possible, après lecture de la lettre d'information. La participation à l'étude prenait fin en cas d'opposition secondaire du patient ou de ses proches. Les patients sortant du protocole continuaient le suivi habituel.

B. Critères de sélection des patients

Les critères d'inclusion étaient une admission en réanimation avec nécessité d'intubation orotrachéale associée à un rapport SpO2/FiO2 supérieur à 214. Le rapport SpO2/FiO2 était mesuré sous VNI ou HFNC, et calculé sous oxygénothérapie conventionnelle ($FiO_2 = 0,21 + \text{débit d'oxygène} \times 0,03$ (32)).

Les critères de non inclusion étaient un age inférieur à 18 ans, une contre-indication à l'intubation orotrachéale (lésion médullaire instable par exemple), un délai insuffisant pour pouvoir inclure le patient (arrêt cardiaque par exemple), une femme enceinte ou allaitante, un patient détenu, sous tutelle ou sans assurance maladie, et enfin le refus du patient ou de ses proches de participer à l'étude.

Les patients étaient secondairement exclus en cas de défaut de fonctionnement du système ORI, en cas d'échec de l'enregistrement de l'ORI par l'ordinateur, en cas d'ORI restant constant à 1 tout au long de la préoxygénation et en cas de SpO2 < 97% tout au long de la préoxygénation.

C. Critères de jugement

Le critère de jugement principal correspondait au délai, en secondes, entre la diminution de l'ORI en-dessous de 0,4 et la diminution de la SpO2 en-dessous de 97% pendant l'intubation (entre la fin de la préoxygénation et la confirmation du caractère endotrachéal de l'intubation). La valeur de 0,4 pour l'ORI a été choisie en accord avec la seule étude disponible (35). De plus, elle correspond à la valeur d'alarme par défaut sur le moniteur Radical7.

L'objectif secondaire de notre étude était de déterminer si l'évolution de l'ORI au cours de la préoxygénation permettait de prédire la survenue d'une hypoxémie légère (définie par une SpO2 < 97%) pendant l'intubation.

D. Considérations éthiques

L'étude a reçu l'autorisation du comité de protection des personnes le 17 juillet 2018 (CPP Ile de France 1, ID-RCB : 2018-A01288-47) et a été enregistrée sur le registre ClinicalTrial.gov le 24 juillet 2018 (numéro NCT03600181).

E. Financement

Le CHU de Nantes a reçu un soutien matériel de Masimo (Irvine, Etats-Unis) pour la réalisation de cette étude (prêt d'un Moniteur Radical7 et don de 60 consommables).

F. Déroulement

Dans chaque cas, une fois la décision d'intubation prise et le consentement du patient ou de ses proches obtenu, un capteur non invasif capable de mesurer l'ORI (capteur Rainbow®, R2-25, révision L, Masimo Corp, Irvine, Etats-Unis) était appliqué au 3^{ème} ou au 4^{ème} doigt du patient, du côté controlatéral au dispositif de monitoring non invasif de la pression artérielle. Le capteur était couvert afin d'être protégé de l'exposition à la lumière. Les valeurs de SpO2 et d'ORI, affichées sur le moniteur Radical7, étaient enregistrées toutes les 2 secondes, puis transférées sur un ordinateur portable au décours de la procédure via une clé USB. Les médecins en charge du patient n'avaient pas connaissance des valeurs d'ORI pendant la procédure d'intubation.

La procédure d'intubation était réalisée selon le protocole standardisé du service de médecine intensive et réanimation du CHU de Nantes. Le choix du dispositif de

préoxygénation, des agents d'induction de l'anesthésie et du dispositif d'intubation était laissé à la discrétion du médecin en charge. La durée de préoxygénation recommandée était de 3 minutes.

Le début de la procédure commençait avec le début de la préoxygénation et se terminait avec la confirmation du caractère endotrachéal de l'intubation. La fin de la préoxygénation était définie par l'induction de l'anesthésie. Le caractère endotrachéal de l'intubation était confirmé par l'apparition de la première inflexion de la courbe de CO₂ expiré suivie par la présence de 5 cycles de courbe de CO₂ expiré sur la capnographie. L'intubation correspondait à la période comprise entre la fin de la préoxygénation et la confirmation du caractère endotrachéal de l'intubation.

G. Données recueillies

Après inclusion dans notre étude, nous avons recueillis les données démographiques ainsi que les antécédents des patients, le motif d'admission en réanimation, le motif principal d'intubation, l'IMC, les critères prédictifs d'intubation et de ventilation au masque facial difficiles, la gazométrie artérielle à l'admission, le score SOFA à l'admission, le score IGS II (calculé sur les 24 premières heures de l'admission en réanimation), le score Mac Cabe (dans les 3 mois précédant l'admission en réanimation), le score Knaus (dans les 6 mois précédant l'admission en réanimation) et enfin le score de Charlson.

Les données hémodynamiques (PAS, PAD, PAM, FC, nécessité ou non d'amines vaso-actives) et respiratoires (SpO₂, FR, FiO₂, rapport SpO₂/FiO₂, ORI, EtCO₂, PEP et volume courant) ont été recueillies à l'inclusion, tout au long de la procédure (en début de préoxygénation, en fin de préoxygénation et à l'intubation), à 1 heure puis à 2 heures de l'intubation. La valeur maximale de l'ORI pendant la préoxygénation, la SpO₂ minimale pendant l'intubation et la PAS minimale pendant l'intubation ont aussi été rapportées.

Nous avons également recueillis le dispositif de préoxygénation utilisé, l'expérience de l'opérateur, les agents d'induction utilisés avec la dose administrée, la nécessité de réaliser une manœuvre de reventilation (masque facial ou dispositif supraglottique), les scores de Cormack et de POGO, le dispositif d'intubation utilisé, les causes et les moyens mis en œuvre en cas d'échec d'intubation, le nombre de tentatives et enfin les complications survenues pendant l'intubation.

Nous avons réalisé un suivi d'une durée de 28 jours avec une évaluation clinique basée sur le statut du patient (vivant ou décédé) et le score SOFA à J2, J3, J4, J5 et le jour de la sortie de réanimation. Les dates de l'extubation définitive, de la sortie de réanimation et de la sortie de l'hôpital étaient également colligées.

L'ensemble des données de chaque patient participant à l'étude étaient recueillies grâce à un formulaire de rapport de cas sur papier. Les données enregistrées par le moniteur Radical7 (SpO2 et ORI) ont été relues secondairement par un intervenant extérieur au service.

H. Analyses statistiques

Les données qualitatives étaient décrites en fréquence et en pourcentage. Les données quantitatives étaient décrites à l'aide de la moyenne, de l'écart type, de la médiane et des valeurs extrêmes.

Le délai médian entre la diminution de l'ORI en-dessous de 0,4 et la diminution de la SpO2 en-dessous de 97% pendant l'intubation a été estimé ainsi que son intervalle de confiance de 95%.

La capacité prédictive de l'ORI pour la survenue d'une hypoxémie légère (définie par une SpO2 < 97%) pendant l'intubation a été estimée par une aire sous la courbe ROC avec son intervalle de confiance de 95%. La meilleure valeur seuil d'ORI a été estimée par le test de Youden. La sensibilité, la spécificité ainsi que les valeurs prédictives positive et négative ont été calculées pour cette valeur.

Afin d'évaluer la valeur informative du signal ORI, une régression logistique multivariée avec comme variable prédite la survenue d'une hypoxémie légère a été construite. Les variables inclus dans le modèle de sélection pas à pas descendant était l'ORI et les variables jugées pertinentes cliniquement fixées à priori.

Tous les tests étaient bilatéraux avec un niveau de significativité de 0,05. Le logiciel statistique Stata® (version 13; StataCorp LP, College Station, TX) a été utilisé.

I. Effectif

En l'absence de données en soins critiques, nous avons estimé le délai avant la diminution de la SpO₂ à 60 ± 30 secondes (25, 30). En supposant que la diminution de l'ORI survienne 30 secondes avant la diminution de la SpO₂, nous cherchions à estimer le délai médian entre ces deux diminutions avec un intervalle de confiance de 95% et une précision de 10 secondes. En supposant un écart-type de 30 secondes, nous avons estimé qu'il était nécessaire d'inclure 35 patients. Selon Szmuk *et al* (35), il était prévu que 28% des patients présentent un critère d'exclusion secondaire, nous avons donc décidé d'inclure 50 patients.

III. Résultats

A. Caractéristiques des patients à l'admission

Entre septembre 2018 et août 2020, 56 patients ont été inclus et 51 patients ont été analysés, 5 patients ayant été secondairement exclus (figure 4). Il s'agissait de patients jeunes avec un âge médian de 59 ans (IQR [43-66]). Le sex-ratio était approximativement de 1 homme pour 1 femme (56,86% vs 43,14%).

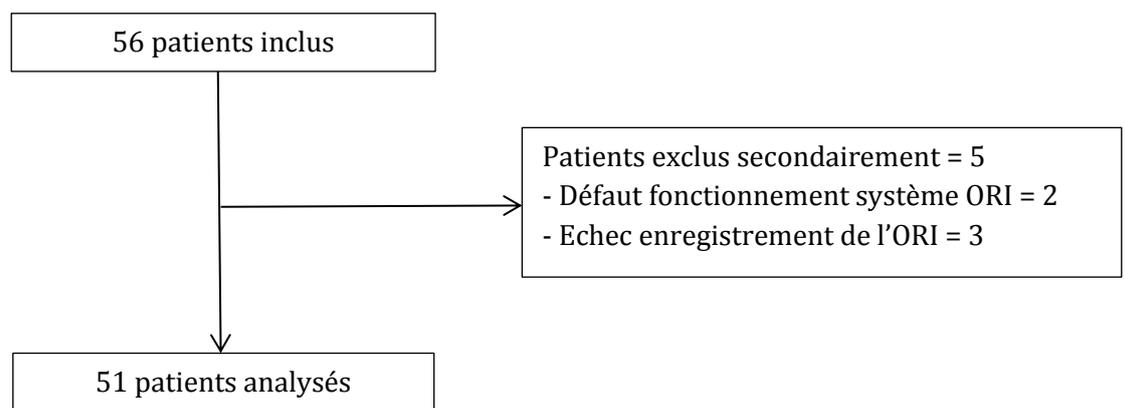


Figure 4 : Flowchart

Le motif d'admission en réanimation le plus fréquent était une défaillance neurologique aiguë (54,90%). Le motif principal d'intubation le plus fréquent était une intoxication médicamenteuse et/ou alcoolique volontaire (17,65%). 19 patients (37,25%) ne

présentaient aucun antécédent. Les caractéristiques de notre population sont présentées dans le tableau 1.

Age en années	59 [43-66]
Sexe	
- Masculin	29 (56,86%)
- Féminin	22 (43,14%)
IMC en kg/m²	24,22 [20,81-29,73]
Antécédents	
- Tabagisme actif	13 (25,49%)
- Hypertension artérielle	12 (23,52%)
- Diabète traité par ADO et/ou insuline	7 (13,72%)
- Cancer et/ou immunodépression	9 (17,64%)
- Cirrhose	9 (17,64%)
- SAOS appareillé	4 (7,84%)
- ATCD hémorragie digestive et/ou hypertension portale	4 (7,84%)
- ATCD encéphalopathie hépatique	3 (5,88%)
- Insuffisance respiratoire chronique (dyspnée III ou IV)	2 (3,92%)
- Maladie neuromusculaire (myasthénie...)	2 (3,92%)
- Cardiopathie ischémique	2 (3,92%)
- Artériopathie périphérique	2 (3,92%)
- Insuffisance cardiaque chronique (NYHA IV)	1 (1,96%)
- Autres antécédents	9 (17,64%)
Motif d'admission en réanimation	
- Défaillance neurologique aiguë	28 (54,90%)
- Insuffisance respiratoire aiguë	10 (19,61%)
- Etat de choc	7 (13,73%)
- Insuffisance rénale aiguë	5 (9,80%)
- Autres	1 (1,96%)
Motif principal d'intubation	
- Intoxication médicamenteuse et/ou alcoolique	9 (17,65%)
- Encéphalopathie hépatique	5 (9,80%)
- Détresse respiratoire post-extubation	5 (9,80%)
- Epuisement respiratoire	4 (7,84%)
- Choc septique	4 (7,84%)
- Etat de mal épileptique	3 (5,88%)
- Syndrome de Guillain-Barré	3 (5,88%)
- Myasthénie	2 (3,92%)
- Encéphalite	2 (3,92%)
- Choc hémorragique	2 (3,92%)
- Pancréatite aiguë	2 (3,92%)
- Delirium tremens	1 (1,96%)
- Méningite	1 (1,96%)
- Pneumopathie d'inhalation	1 (1,96%)
- AVC hémorragique	1 (1,96%)
- Autres	6 (11,76%)
IGS II à 24 heures	46,50 [30-62]
SOFA à l'admission	6 [3-10]
Gazométrie artérielle à l'admission	
- pH	7,39 [7,27-7,45]
- PaCO ₂ en mmHg	37,13 [28,50-43,50]

- PaO2 en mmHg	101,38 [76-145,50]
- PaO2 / FiO2	323 [233-479]
- SaO2 en %	97,75 [95,25-99,15]
- CO2 total en mmol/L	24,50 [17,40-27,40]
Lactatémie artérielle à l'admission en mmol/L	2,10 [1,50-4,60]

Tableau 1 : Caractéristiques des patients à l'admission

B. Caractéristiques prédites de la ventilation et de l'intubation

Sur les 51 patients inclus, 22 (43%) ne présentaient pas de critères de ventilation au masque facial difficile ni de critères d'intubation difficile. Aucun patient ne présentait un antécédent connu d'intubation difficile. Le score de Mallampati était coté à 1/4 dans 70,59% des cas.

C. Caractéristiques de la procédure d'intubation

Les dispositifs utilisés pour la préoxygénation étaient le BAVU et la VNI (78,43% vs 21,57%). Les dispositifs utilisés pour l'intubation étaient le laryngoscope standard et le vidéolaryngoscope (94,12% vs 5,88%). A noter qu'un mandrin long béquillé (Frova®) a été utilisé dans 31,37% des cas. Les agents anesthésiques utilisés pour l'induction étaient l'Etomidate dans 84,31% des cas pour l'hypnotique et la Succinylcholine dans 80,39% des cas pour le curare. Le Propofol, la Kétamine et le Rocuronium ont été utilisés de façon minoritaire. La dose médiane de l'hypnotique était de 40 mg (IQR [30-40]) et la dose médiane du curare était de 80 mg (IQR [70-100]).

L'opérateur était un junior dans 94,12% des cas. Il s'agissait, par ordre de fréquence, d'un DES de médecine dans 52,94% des cas, d'un DES d'anesthésie-réanimation dans 25,49% des cas, d'un DES de médecine intensive et réanimation dans 7,84% des cas et d'un DESC de médecine d'urgence dans 7,84% des cas. Ils étaient systématiquement supervisés par un médecin sénior du service.

Lors de l'exposition, une surélévation de la tête a été nécessaire chez 7 patients (13,73%), une manœuvre BURP a été nécessaire chez 14 patients (27,45%) et une manœuvre de Sellick a été réalisée chez 3 patients (5,88%). La vision glottique était masquée par des sécrétions chez 9 patients (17,65%). Le score de Cormack a été coté à I ou II chez 45 patients (88,23%) et à III ou IV chez 6 patients (11,76%). Le score de POGO médian était de 80 (IQR [70-100]).

Chez 6 patients (11,76%), une reventilation au masque facial avant l'intubation a été nécessaire en raison soit d'une désaturation (3 patients), soit d'un échec d'intubation à la première tentative (3 patients). La SpO2 minimale médiane avant reventilation était de 72% (IQR [55-82]). La ventilation au masque facial a été facile dans 100% des cas. Aucun patient n'a nécessité la mise en place d'un dispositif supraglottique.

Chez 38 patients (74,51%), l'intubation a été réussie dès la première tentative. Chez 13 patients (25,49%), au moins une tentative supplémentaire a été nécessaire. L'intubation a été difficile chez 3 patients (5,88%) lorsque l'on prend comme définition la nécessité d'au moins 3 tentatives d'intubation. Un seul patient a nécessité plus de 3 tentatives (7 au total). Le nombre total médian de tentatives avant succès de l'intubation était de 1 (IQR [1-2]). Il n'y a eu aucun cas d'intubation impossible. La SpO2 minimale médiane pendant l'intubation était de 98% (IQR [91-99]).

Les causes d'échec d'intubation lors de la première tentative étaient une glotte mal vue chez 5 patients (38,46%) et un échec de cathétérisation de la trachée chez 8 patients (61,54%). En cas d'échec d'intubation, la prise en charge a consisté en un changement de l'opérateur dans 100% des cas. Le dispositif utilisé pour la première tentative était conservé dans 92,31% des cas, parfois en association avec un mandrin long béquillé (Frova®). La reventilation préalable au masque facial, de même que la ré-induction de la sédation et/ou de la curarisation n'étaient pas la règle.

Une complication liée à l'intubation est survenue chez 24 patients (47,06%). On retrouvait, par ordre de fréquence, une hypotension artérielle (PAS < 90 mmHg) dans 35,29% des cas, une hypoxémie légère (SpO2 < 97%) dans 39,22% des cas, une hypoxémie modérée (SpO2 < 90%) dans 17,65% des cas, une hypoxémie sévère (SpO2 < 80%) dans 7,84% des cas, une intubation œsophagienne dans 3,92% des cas et une inhalation dans 1,96% des cas. Il n'y a pas eu d'arrêt cardiorespiratoire ni de décès imputable à l'intubation dans notre cohorte.

Le taux de mortalité globale en réanimation était de 17,65%, soit 9 patients. Les causes de décès étaient un arrêt des thérapeutiques actives dans 60% des cas, un syndrome de défaillance multiviscérale dans 30% des cas et un état de mort encéphalique dans 10% des cas. Au 28^{ème} jour, 82,35% des patients de notre cohorte étaient vivants. La durée médiane d'hospitalisation en réanimation était de 5,36 jours (IQR [2,93-15,78]).

D. Critère de jugement principal

Dans notre cohorte, 10 patients ont présenté à la fois une diminution de l'ORI < 0,4 suivie d'une diminution de la SpO2 < 97% entre la fin de la préoxygénation et l'intubation. Le délai médian entre la diminution de l'ORI < 0,4 et la diminution de la SpO2 < 97% était de 81 secondes (IQR [34-146]). La durée médiane de l'intubation était de 303 secondes (IQR [180-648]).

E. Critères de jugement secondaires

Parmi les 51 patients inclus, 20 patients (39,22%) ont présenté une désaturation légère définie par la survenue d'une SpO2 < 97% pendant l'intubation.

Il n'existait pas de différence dans les valeurs de SpO2 en début et en fin de préoxygénation entre le groupe de patients avec désaturation et celui sans. La SpO2 médiane à l'intubation était significativement plus basse dans le groupe avec désaturation (93% ; IQR [85,50-97] vs 100% ; [99-100], $p < 0,0001$) (tableau 2, figure 5). Il n'y avait pas de différence dans la valeur médiane d'ORI en début de préoxygénation entre les deux groupes (0,05 ; IQR [0,02-0,20] vs 0,04 ; IQR [0,01-0,12], $p = 0,2891$). La valeur médiane d'ORI en fin de préoxygénation était significativement plus élevée dans le groupe sans désaturation (0,71 ; IQR [0,54-0,94] vs 0,39 ; IQR [0,15-0,65], $p = 0,0082$). La valeur médiane d'ORI à l'intubation était plus élevée dans le groupe sans désaturation (0,15 ; IQR [0-0,43] vs 0,00 ; IQR [0-0], $p < 0,0001$) (tableau 2, figure 6).

	Non N = 31	Oui N = 20	Total N = 51	p-value
SpO2 début de préO2, médiane [IQR]	98,00 [95,00;100,00]	97,00 [95,00;97,00]	97,00 [95,00;99,00]	0,0951
SpO2 fin de préO2, médiane [IQR]	100,00 [99,00;100,00]	100,00 [99,00;100,00]	100,00 [99,00;100,00]	0,5931
SpO2 IOT, médiane [IQR]	100,00 [99,00;100,00]	93,00 [85,50;97,00]	99,00 [95,00;100,00]	< 0,0001
ORI début préO2, médiane [IQR]	0,05 [0,02;0,20]	0,04 [0,01;0,12]	0,04 [0,01;0,13]	0,2891
ORI fin préO2, médiane [IQR]	0,71 [0,54;0,94]	0,39 [0,15;0,65]	0,62 [0,26;0,83]	0,0082

ORI IOT, médiane [IQR]	0,15 [0,00;0,43]	0,00 [0,00;0,00]	0,00 [0,00;0,24]	< 0,0001
------------------------	---------------------	---------------------	---------------------	----------

Tableau 2 : Valeurs de SpO2 et d'ORI selon la survenue ou non d'une SpO2 < 97%

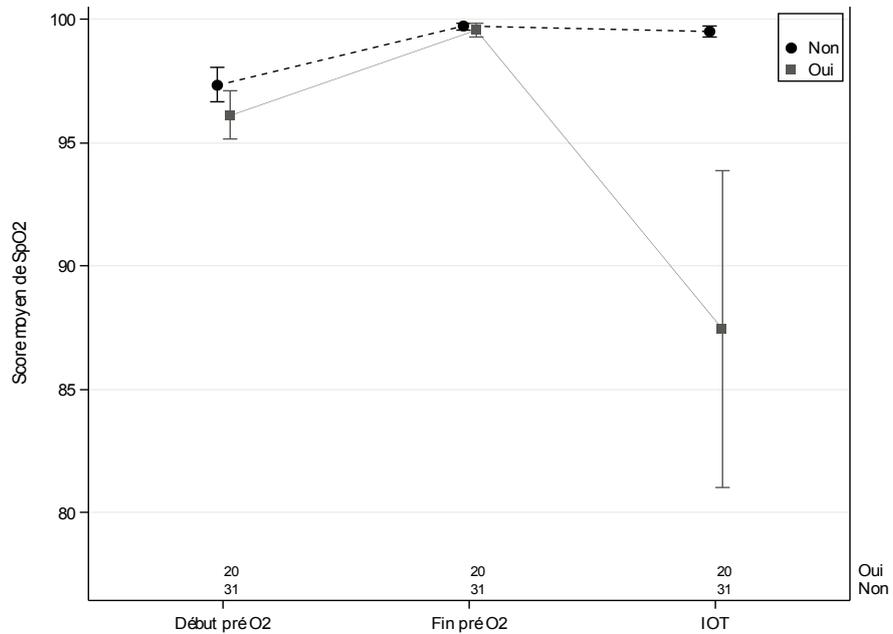


Figure 5 : Evolution de la SpO2 selon la survenue ou non d'une SpO2 < 97%

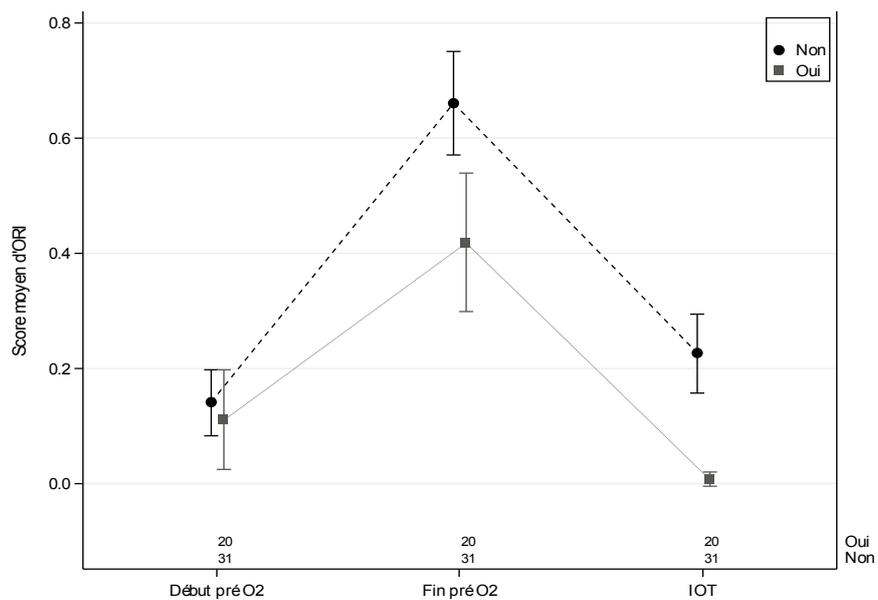


Figure 6 : Evolution de l'ORI selon la survenue ou non d'une SpO2 < 97%

La valeur médiane d'ORI entre le début et la fin de la préoxygénation augmentait de façon significativement plus importante dans le groupe sans désaturation (0,52 ; IQR [0,23-0,82] vs 0,17 ; IQR [0,10-0,50], p = 0,0191). La valeur maximale médiane d'ORI obtenue pendant la préoxygénation était significativement plus élevée dans le groupe sans désaturation (0,77 ; IQR [0,59-1,00] vs 0,49 ; IQR [0,22-0,77], p = 0,0212). Il n'y avait pas de différence dans l'évolution de la valeur médiane de la SpO2 entre le début et la fin de la préoxygénation entre les deux groupes (2 ; IQR [0-4] vs 3 ; IQR [2-5], p = 0,1181) (tableau 3). La durée médiane d'intubation était significativement plus longue dans le groupe avec désaturation (291 ; IQR [143-408] secondes vs 106 ; IQR [70-180] secondes, p = 0,0030).

	Non N = 31	Oui N = 20	Total N = 51	p-value
Evolution ORI début - fin de la préO2, médiane [IQR]	0,52 [0,23;0,82]	0,17 [0,10;0,50]	0,46 [0,15;0,64]	0,0191
ORI max préO2, médiane [IQR]	0,77 [0,59;1,00]	0,49 [0,22;0,77]	0,67 [0,31;0,94]	0,0212
Evolution SpO2 début - fin de la préO2, médiane [IQR]	2,00 [0,00;4,00]	3,00 [2,00;5,00]	3,00 [1,00;4,00]	0,1181

Tableau 3 : Evolution de la SpO2 et de l'ORI pendant la préoxygénation selon la survenue ou non d'une SpO2 < 97%

L'aire sous la courbe ROC de l'ORI en fin de préoxygénation et celle de la valeur maximale de l'ORI pendant la préoxygénation étaient prédictives de la survenue d'une SpO2 < 97% pendant l'intubation avec des AUC respectivement à 0,73 [0,58-0,88] et à 0,70 [0,54-0,85]. En revanche, l'aire sous la courbe ROC de la SpO2 en fin de préoxygénation était peu prédictive de la survenue d'une SpO2 < 97% pendant l'intubation avec une AUC à 0,54 [0,40-0,67].

Les facteurs associés à la survenue d'une désaturation légère pendant l'intubation étaient, en analyse univariée, la durée de l'intubation, l'IMC > 25 kg/m² ainsi que la valeur maximale de l'ORI obtenue pendant la préoxygénation (tableau 4). La valeur maximale de l'ORI obtenue pendant la préoxygénation restait significativement associée

à la survenue d'une désaturation légère pendant l'intubation après ajustement sur la durée de l'intubation et l'IMC (OR : 0,06 [0,01-0,57] ; p = 0,0141) (tableau 5).

Variable	N	OR	IC 95%	p-value
Age (années)	51	1,03	[0,99 ; 1,07]	0,1554
Durée de l'intubation (secondes)	51	1,00	[1,00 ; 1,01]	0,0474
Durée de l'intubation entre 2 et 5 min	51	3,09	[0,75 ; 12,78]	0,0209
Durée de l'intubation > 5 min	51	11,33	[2,04 ; 63,08]	
IMC	51	1,08	[1,00 ; 1,16]	0,0665
IMC > 25 kg/m ²	51	4,31	[1,29 ; 14,36]	0,0173
ORI max préO ₂	51	0,09	[0,01 ; 0,69]	0,0199

Tableau 4 : Analyse univariée

Variable	N	OR	IC 95%	p-value
Durée de l'intubation (secondes)	51	1,00	[1,00 ; 1,01]	0,0494
IMC	51	1,07	[0,98 ; 1,16]	0,1295
ORI max préO ₂	51	0,06	[0,01 ; 0,57]	0,0141

Tableau 5 : Analyse multivariée

IV. Discussion

Le délai médian entre la diminution de l'ORI < 0,4 et la diminution de la SpO₂ < 97% était de 81 secondes (IQR [34-146]). Cela signifie que, lorsque l'alarme ORI se déclenche, le clinicien peut disposer, en médiane, de 81 secondes avant que ne survienne une désaturation. Ainsi, l'ORI permet de détecter la survenue d'une hypoxémie légère pendant l'intubation plus précocement que la SpO₂.

La valeur médiane de l'ORI en fin de préoxygénation était plus élevée dans le groupe sans désaturation (0,71 vs 0,39, p = 0,0082). La valeur médiane de l'ORI entre le début et la fin de la préoxygénation augmentait de façon plus importante dans le groupe sans désaturation (0,52 vs 0,17, p = 0,0191). La valeur maximale médiane de l'ORI pendant la préoxygénation était plus élevée dans le groupe sans désaturation (0,77 vs 0,49, p = 0,0212). Il n'y avait pas de différence dans les valeurs de SpO₂ en début et en fin de préoxygénation, ni dans l'évolution de la valeur de SpO₂ entre le début et la fin de la préoxygénation entre les deux groupes. L'ORI en fin de préoxygénation ainsi que la

valeur maximale de l'ORI pendant la préoxygénation étaient, contrairement à la SpO₂, prédictifs de la survenue d'une SpO₂ < 97% pendant l'intubation. Ainsi, l'augmentation de l'ORI pendant la préoxygénation s'associe à moins d'hypoxémie légère pendant l'intubation.

La valeur maximale de l'ORI pendant la préoxygénation restait associée à la survenue d'une désaturation pendant l'intubation y compris après ajustement sur l'IMC et la durée de l'intubation (OR: 0,06 [0,01-0,57]; p = 0,0141). Ainsi, l'ORI constitue un facteur protecteur indépendant sur la survenue d'une hypoxémie légère pendant l'intubation.

Nos résultats sont similaires à ceux retrouvés dans les travaux réalisés au bloc opératoire. Il s'agissait d'études prospectives observationnelles conduites sur de petits effectifs de patients dans le cadre d'une chirurgie programmée. Szmuk *et al* (35) ont montré que le monitoring de l'ORI permettait de détecter la survenue d'une hypoxémie (définie par une SpO₂ < 98%) en médiane 31,5 secondes (IQR [19-34,3]) avant que des changements significatifs de SpO₂ ne soient constatés. Yoshida *et al* (36) ont mis en évidence que, dans 77% des cas, la diminution de l'ORI (baisse de l'ORI de 0,05 par rapport au plateau) survenait en médiane 32,5 secondes avant la diminution de la SpO₂ (baisse de la SpO₂ de 1% ou plus par rapport à la valeur maximale). Neal *et al* (37) ont montré que, comparativement à la SpO₂, l'ORI apportait un délai supplémentaire de 48,4 secondes (IC95%, 40,4-62 secondes, p < 0,0001) avant la survenue d'une désaturation (définie par une SpO₂ < 94%). Dans ces études, le délai médian était plus court alors qu'il ne s'agissait pas de patients critiques. Cela peut s'expliquer par la valeur de la borne inférieure de SpO₂ utilisée pour le calcul du délai. Il est aussi possible que l'oxygénation ait été poursuivie pendant la période apnéique et/ou que les patients non intubés dès la première tentative aient été reventilés avant que l'ORI et la SpO₂ ne diminuent, allongeant ainsi notre délai médian. La durée médiane de l'intubation était assez longue (303 secondes, IQR [180-648]), ce qui peut témoigner de l'inexpérience des opérateurs et/ou de la nécessité de plus d'une tentative d'intubation. Applegate *et al* (38) ont montré dans une étude prospective observationnelle qu'il existait une relation significative entre la PaO₂ et l'ORI pour des valeurs de PaO₂ allant jusqu'à 240 mmHg (r² = 0,536). Il existait également une relation significative entre les variations de PaO₂ et les variations d'ORI (r² = 0,421) pour la même plage de valeurs de PaO₂. Par ailleurs, lorsque l'ORI était > 0,24, 100% des mesures de PaO₂ étaient ≥ 100 mmHg et lorsque

l'ORI était $> 0,55$, 96,6% des mesures de PaO₂ étaient ≥ 150 mmHg. Enfin, la diminution de l'ORI avait une sensibilité de 77,7% et une spécificité de 76,7% pour détecter une diminution de la PaO₂ (AUC = 0,821). Ces résultats suggèrent qu'il existe une relation entre les variations de PaO₂ et les variations d'ORI dans la plage d'hyperoxémie modérée lorsque la SpO₂ est $\geq 97\%$. Ainsi, lorsque la SpO₂ est $\geq 97\%$, l'augmentation de l'ORI traduit l'augmentation de la PaO₂ et donc l'allongement du temps d'apnée sans désaturation. Ceci permet d'expliquer pourquoi l'ORI permet de détecter la survenue d'une désaturation plus précocement que la SpO₂ et pourquoi l'augmentation de l'ORI pendant la préoxygénation s'associe à moins de désaturation pendant l'intubation.

Nos résultats montrent que, contrairement à l'ORI, la SpO₂ ne permet pas d'évaluer les réserves en oxygène ni de prédire la survenue d'une désaturation. Elle peut même être faussement rassurante. En effet, dans notre étude, la valeur médiane de la SpO₂ en fin de préoxygénation était de 100% (IQR [99-100]) dans les deux groupes. La FeO₂ pourrait constituer une alternative pour évaluer les réserves en oxygène. En effet, elle permet de monitorer l'efficacité de la dénitrogénéation. On considère que lorsqu'elle atteint 90%, la CRF est dénitrogénée, c'est-à-dire saturée en oxygène. Au bloc opératoire, une durée de préoxygénation de 3 minutes est le plus souvent suffisante pour atteindre ce seuil. Mais cette technique présente des limites dans le cadre de l'urgence (sensibilité aux fuites) et n'est pas disponible en réanimation. De plus, chez les patients critiques et notamment ceux en insuffisance respiratoire aiguë hypoxémique, ce paramètre est théoriquement inadapté pour évaluer l'efficacité de la préoxygénation. En effet, la réduction du volume pulmonaire fonctionnel entraîne d'une part une réduction de la CRF et, d'autre part, un shunt qui réduit l'efficacité de l'interface alvéolo-capillaire. Ce shunt limite la capacité de la CRF à saturer en continu l'hémoglobine en oxygène pendant la période apnéique, et ce malgré une dénitrogénéation adéquate reflétée par une FeO₂ maximale. La PaO₂ permet d'évaluer ce shunt et constitue donc un bon reflet de l'efficacité de l'interface alvéolo-capillaire. En résumé, la SpO₂ et la FeO₂ peuvent toutes deux être élevées alors que la PaO₂ est basse. Cela indique que le temps d'apnée sans désaturation sera court, la CRF dénitrogénée n'étant pas accessible à la circulation capillaire pulmonaire du fait de l'existence d'un shunt pulmonaire (25). Cette analyse est toutefois à mettre en balance avec les données de la littérature. En effet, une étude publiée en 2019 (39) s'est intéressée à l'utilisation de la FeO₂ dans le cadre du monitoring de la préoxygénation chez 100 patients nécessitant une intubation en service d'urgences. Dans ce travail, seuls

25% des patients ont atteint un seuil de $FeO_2 > 85\%$. 18% des patients ont présenté une désaturation pendant l'intubation (définie par une $SpO_2 < 90\%$). Parmi eux, 14 (78%) n'avaient pas atteint un seuil de $FeO_2 > 85\%$ en fin de préoxygénation. Ainsi, la FeO_2 pourrait constituer une alternative intéressante pour optimiser la préoxygénation chez les patients critiques, mais elle nécessite des évaluations complémentaires.

A notre connaissance, il n'existe pas d'autre paramètre que l'ORI permettant d'évaluer de façon non invasive l'oxygénation dans la plage d'hyperoxémie modérée lorsque la SpO_2 est $\geq 97\%$. Son monitoring est tout aussi facile à mettre en place que celui de la SpO_2 , sa mesure s'effectuant de façon continue grâce à un cooximètre de pouls placé sur la pulpe d'un doigt. Il est cependant nécessaire de protéger le capteur contre la lumière, celle-ci pouvant fausser la mesure de l'ORI (36).

L'impact de nos résultats pourrait être important. En effet, connaître le temps qu'il reste avant la survenue d'une désaturation permettrait au clinicien de mettre en place des mesures visant à prévenir sa survenue. Elles peuvent comprendre, en fonction de la situation clinique, une intubation immédiate, une reventilation au masque facial précoce, la mise en place d'un dispositif supraglottique ou encore un appel à l'aide en cas de difficultés d'intubation. L'impact clinique d'une stratégie de gestion des voies aériennes guidée par l'ORI reste à évaluer prospectivement. Par ailleurs, l'ORI peut permettre d'identifier les patients qui n'augmentent pas leurs réserves en oxygène malgré la préoxygénation et donc qui sont à risque de désaturer pendant l'intubation. Sachant cela, le clinicien pourrait optimiser la préoxygénation en prolongeant sa durée et/ou en changeant de dispositif (du BAVU à la VNI par exemple). Un autre intérêt serait de dépister une technique de préoxygénation défectueuse (débit d'oxygène trop faible ou absent, fuites importantes...). L'impact clinique d'une stratégie de préoxygénation basée sur le monitoring de l'ORI reste à évaluer prospectivement.

Nous avons choisi le rapport SpO_2/FiO_2 comme critère d'inclusion car il était plus simple à utiliser que le rapport PaO_2/FiO_2 . En effet, le calcul du rapport PaO_2/FiO_2 aurait nécessité la réalisation d'une gazométrie artérielle, ce qui n'est pas toujours aisé en situation d'urgence. La valeur seuil de 214 a également été choisie. En effet, il fallait que les patients ne soient pas trop hypoxémiques afin que l'ORI puisse augmenter dans les deux groupes pendant la préoxygénation.

Nous avons choisi un seuil de SpO₂ à 97%. En effet, c'est à partir de ce seuil que la SpO₂ commence à diminuer rapidement pendant la période apnéique (37). C'est aussi à partir de ce seuil de SpO₂ que l'ORI atteint une valeur de 0, témoignant d'une absence de réserves en oxygène (34).

Notre travail présente plusieurs limites. Premièrement, la petite taille de notre échantillon. En effet, nous avons estimé que, pour le calcul du délai médian entre la diminution de l'ORI et la diminution de la SpO₂, au moins 35 patients devaient être analysés. Or, dans notre cohorte, seuls 10 patients ont présenté à la fois une diminution de l'ORI < 0,4 puis une diminution de la SpO₂ < 97% pendant l'intubation ce qui peut limiter la pertinence de notre résultat. Dans les études conduites au bloc opératoire, le délai médian était mesuré après avoir déconnecté le patient du ventilateur d'anesthésie ce qui impliquait qu'il soit préalablement intubé. Dans notre travail, la mesure du délai médian était réalisée en conditions réelles, c'est-à-dire pendant la période apnéique qui suit l'induction en séquence rapide et qui précède l'intubation d'un patient critique estomac plein. L'objectif restait d'intuber les patients le plus rapidement possible avant que ne survienne une inhalation ou une désaturation. Par ailleurs, 17 patients (33,3%) augmentaient leur SpO₂ au-delà de 97% mais sans augmenter leur ORI au-delà de 0,4 pendant la préoxygénation. Ils n'ont donc pas été pris en compte dans le calcul du délai médian. A noter que, parmi ces 17 patients, 10 (58,8%) ont présenté une désaturation légère pendant l'intubation. Deuxièmement, 5 patients ont été secondairement exclus (9% du total des patients inclus initialement) soit du fait d'un défaut de fonctionnement du système ORI, soit du fait d'un échec d'enregistrement de l'ORI par le moniteur Radical7. Troisièmement, la valeur d'ORI mesurée en début de préoxygénation correspondait en réalité à la valeur d'ORI lorsque celui-ci commençait à augmenter. En effet, il existait un décalage entre le début de la préoxygénation et l'augmentation de l'ORI. Ce décalage était d'autant plus marqué que le patient était hypoxémique. Ceci explique pourquoi l'ORI en début de préoxygénation n'était pas égal à 0 dans les deux groupes. Il n'y avait toutefois pas de différence significative dans les valeurs d'ORI en début de préoxygénation entre les deux groupes (0,05 ; IQR [0,02-0,20] vs 0,04 ; IQR [0,01-0,12], p = 0,2891). Quatrièmement, nos résultats ne sont pas généralisables à tous les patients de réanimation. En effet, il s'agissait de patients peu hypoxémiques et sans défaillance hémodynamique intubés principalement sur des critères neurologiques afin de protéger les voies aériennes supérieures. Or, l'incidence de l'hypoxémie pendant

l'intubation est plus faible dans cette population (26). Ainsi, la reproductibilité de nos résultats devra être testée chez les patients hypoxémiques. Le délai médian entre la diminution de l'ORI et la diminution de la SpO2 pourrait être plus court. L'ORI en fin de préoxygénation et la valeur maximale de l'ORI pendant la préoxygénation pourraient également être plus bas. Aussi, le taux d'intubation difficile était faible, près de 95% des patients ayant été intubés dès la seconde tentative. Or, l'intubation difficile est associée à un taux plus élevé d'hypoxémie (2, 3, 14). Cinquièmement, tout comme avec l'oxymétrie de pouls, la mesure de l'ORI peut être prise en défaut dans les situations où la perfusion périphérique est altérée comme dans les états de choc ou au cours d'un traitement par amine vasoactive à forte dose. La fiabilité de la mesure de l'ORI devra être évaluée dans cette situation. Sixièmement, il existe probablement une variabilité interindividuelle significative, certains facteurs pouvant affecter le calcul de l'ORI et donc modifier la relation entre la PaO2 et l'ORI. Il s'agit de la VO2, du débit cardiaque, de la température, du pH, de la PaCO2, de la présence d'une hémoglobine anormale et de la pulsatilité veineuse. L'impact de ces différents facteurs sur le calcul de l'ORI devra être analysé. Il est probable que, plus que la valeur absolue d'ORI elle-même, ce soit les variations de cet ORI en réponse à l'administration d'oxygène qu'il faille prendre en compte.

V. Conclusion

Le délai médian entre la diminution de l'ORI en-dessous de 0,4 et la diminution de la SpO2 en-dessous de 97% pendant la période apnéique était de 81 secondes (IQR [34-146]). La valeur maximale de l'ORI pendant la préoxygénation est un facteur protecteur y compris après ajustement sur la survenue d'une hypoxémie légère (SpO2 < 97%) lors de l'intubation en réanimation. La reproductibilité de ces résultats chez les patients hypoxémiques de même que l'impact clinique d'une stratégie de préoxygénation basée sur le monitoring de l'ORI restent à évaluer de façon prospective.

VI. Bibliographie

- [1] Jaber S, Amraoui J, Lefrant JY, Arich C, Cohendy R, Landreau L, et al. Clinical practice and risk factors for immediate complications of endotracheal intubation in the intensive care unit: a prospective, multiple-center study. *Critical care medicine*. 2006;34:2355-61.
- [2] Heuer JF, Barwing TA, Barwing J, Russo SG, Bleckmann E, Quintel M, et al. Incidence of difficult intubation in intensive care patients: analysis of contributing factors. *Anaesth Intensive Care*. 2012;40:120-7.
- [3] Schwartz DE, Matthay MA, Cohen NH. Death and other complications of emergency airway management in critically ill adults. A prospective investigation of 297 tracheal intubations. *Anesthesiology*. 1995;82:367-76.
- [4] Mort TC. Emergency tracheal intubation: complications associated with repeated laryngoscopic attempts. *Anesth Analg* 2004;99:607–613.
- [5] Griesdale DE, Bosma TL, Kurth T, Isac G, Chittock DR. Complications of endotracheal intubation in the critically ill. *Intensive Care Med* 2008; 34: 1835-42.
- [6] De Jong A, Rolle A, Molinari N, et al. Cardiac arrest and mortality related to intubation procedure in critically ill adult patients: a multicenter cohort study. *Crit Care Med* 2017; 46: 532–39.
- [7] Davis DP, Dunford JV, Poste JC, et al: The impact of hypoxia and hyperventilation on outcome after paramedic rapid sequence intubation of severely head-injured patients. *J Trauma* 2004; 57:1–8.
- [8] Jaber S, Jung B, Corne P, Sebbane M, Muller L, Chanques G, et al. An intervention to decrease complications related to endotracheal intubation in the intensive care unit: a prospective, multiple-center study. *Intensive care medicine*. 2010;36:248-55.
- [9] Jabre P, Combes X, Lapostolle F, Dhaouadi M, Ricard-Hibon A, Vivien B, et al. Etomidate versus ketamine for rapid sequence intubation in acutely ill patients: a multicentre randomised controlled trial. *Lancet (London, England)*. 2009;374:293-300.

- [10] Experts' guidelines of intubation and extubation of the ICU patient of French Society of Anaesthesia and Intensive Care Medicine (SFAR) and French-speaking Intensive Care Society (SRLF). *Ann Intensive Care*. 2019 Jan 22;9(1):13.
- [11] Di Filippo A, Gonnelli C. Rapid sequence intubation: a review of recent evidences. *Rev Recent Clin Trials*. 2009;4:175-8.
- [12] Langeron O, Bourgain JL, Laccoureye O, Legras A, Orliaguet G. [Difficult airway algorithms and management: question 5. Societe Francaise d'Anesthesie et de Reanimation]. *Ann Fr Anesth Reanim*. 2008;27:41-5.
- [13] Adnet F, Borron SW, Racine SX, Clemessy JL, Fournier JL, Plaisance P, et al. The intubation difficulty scale (IDS): proposal and evaluation of a new score characterizing the complexity of endotracheal intubation. *Anesthesiology*. 1997;87:1290-7.
- [14] De Jong A, Molinari N, Terzi N, Mongardon N, Arnal JM, Guitton C, et al. Early identification of patients at risk for difficult intubation in the intensive care unit: development and validation of the MACOCHA score in a multicenter cohort study. *Am J Respir Crit Care Med*. 2013;187:832-9.
- [15] O'Shea JK, Pinchalk ME, Wang HE. Reliability of paramedic ratings of laryngoscopic views during endotracheal intubation. *Prehosp Emerg Care*. 2005;9:167-71.
- [16] Rosenstock CV, Thogersen B, Afshari A, Christensen AL, Eriksen C, Gatke MR. Awake fiberoptic or awake video laryngoscopic tracheal intubation in patients with anticipated difficult airway management: a randomized clinical trial. *Anesthesiology*. 2012;116:1210-6.
- [17] Walker L, Brampton W, Halai M. Randomized controlled trial of intubation with the McGrathw Series 5 videolaryngoscope by inexperienced anaesthetists.
- [18] Aziz MF, Dillman D, Fu R, Brambrink AM. Comparative effectiveness of the C-MAC video laryngoscope versus direct laryngoscopy in the setting of the predicted difficult airway. *Anesthesiology*. 2012;116:629-36.
- [19] Ng I, Sim XL, Willians D, Segal R. A randomised controlled trial comparing the McGrath(®) videolaryngoscope with the straight blade laryngoscope when used in adult patients with potential difficult airways.

- [20] Mosier JM, Whitmore SP, Bloom JW, Snyder LS, Graham LA, Carr GE, et al. Video laryngoscopy improves intubation success and reduces esophageal intubations compared to direct laryngoscopy in the medical intensive care unit. *Crit Care*. 2013;17:R237.
- [21] De Jong A, Clavieras N, Conseil M, Coisel Y, Moury PH, Pouzeratte Y, et al. Implementation of a combo videolaryngoscope for intubation in critically ill patients: a before-after comparative study. *Intensive care medicine*. 2013;39:2144-52.
- [22] Noppens RR, Geimer S, Eisel N, David M, Piepho T. Endotracheal intubation using the C-MAC(R) video laryngoscope or the Macintosh laryngoscope: a prospective, comparative study in the ICU. *Crit Care*. 2012;16:R103.
- [23] Lascarrou JB, Boisrame-Helms J, Bailly A, Le Thuaut A, Kamel T, Mercier E, et al. Video Laryngoscopy vs Direct Laryngoscopy on Successful First-Pass Orotracheal Intubation Among ICU Patients: A Randomized Clinical Trial. *Jama*. 2017;317:483-93.
- [24] Griesdale DE, Chau A, Isac G, Ayas N, Foster D, Irwin C, et al. Video-laryngoscopy versus direct laryngoscopy in critically ill patients: a pilot randomized trial. *Canadian journal of anaesthesia = Journal canadien d'anesthesie*. 2012;59:1032-9.
- [25] Mosier JM, Hypes CD, Sakles JC. Understanding preoxygenation and apneic oxygenation during intubation in the critically ill. *Intensive care medicine*. 2017;43:226-8.
- [26] Mort TC. Preoxygenation in critically ill patients requiring emergency tracheal intubation. *Critical care medicine*. 2005;33:2672-5.
- [27] Mort TC, Waberski BH, Clive J. Extending the preoxygenation period from 4 to 8 mins in critically ill patients undergoing emergency intubation. *Critical care medicine*. 2009;37:68-71.
- [28] Baillard C, Fosse JP, Sebbane M, Chanques G, Vincent F, Courouble P, et al. Noninvasive ventilation improves preoxygenation before intubation of hypoxic patients. *Am J Respir Crit Care Med*. 2006;174:171-7.

- [29] Ricard JD. Hazards of intubation in the ICU: role of nasal high flow oxygen therapy for preoxygenation and apneic oxygenation to prevent desaturation. *Minerva Anesthesiol.* 2016;82:1098-106.
- [30] Miguel-Montanes R, Hajage D, Messika J, Bertrand F, Gaudry S, Rafat C, et al. Use of high-flow nasal cannula oxygen therapy to prevent desaturation during tracheal intubation of intensive care patients with mild-to-moderate hypoxemia. *Critical care medicine.* 2015;43:574-83.
- [31] Vourc'h M, Asfar P, Volteau C, Bachoumas K, Clavieras N, Egreteau PY, et al. High-flow nasal cannula oxygen during endotracheal intubation in hypoxemic patients: a randomized controlled clinical trial. *Intensive care medicine.* 2015;41:1538-48.
- [32] Frat JP, Ricard JD, Coudroy R, Robert R, Ragot S, Thille AW. Preoxygenation with non-invasive ventilation versus high-flow nasal cannula oxygen therapy for intubation of patients with acute hypoxaemic respiratory failure in ICU: the prospective randomised controlled FLORALI-2 study protocol. *BMJ open.* 2017;7:e018611.
- [33] Jubran A. Pulse oximetry. *Critical Care.* 2015;19:272.
- [34] Scheeren TWL, Belda FJ, Perel A. The oxygen reserve index (ORI): a new tool to monitor oxygen therapy. *Journal of clinical monitoring and computing.* 2018;32:379-89.
- [35] Szmuk P, Steiner JW, Olomu PN, Ploski RP, Sessler DI, Ezri T. Oxygen Reserve Index: A Novel Noninvasive Measure of Oxygen Reserve--A Pilot Study. *Anesthesiology.* 2016;124:779-84.
- [36] Yoshida, K., Isosu, T., Noji, Y. *et al.* Usefulness of oxygen reserve index (ORi™), a new parameter of oxygenation reserve potential, for rapid sequence induction of general anesthesia. *J Clin Monit Comput* **32**, 687–691 (2018).
- [37] Fleming NW, Singh A, Lee L, Applegate RL 2nd. Oxygen Reserve Index: Utility as an Early Warning for Desaturation in High-Risk Surgical Patients [published online ahead of print, 2020 Aug 12]. *Anesth Analg.* 2020;10.1213/ANE.0000000000005109. doi:10.1213/ANE.0000000000005109.

[38] Applegate RL 2nd, Dorotta IL, Wells B, Juma D, Applegate PM. The relationship between oxygen reserve index and arterial partial pressure of oxygen during surgery. *Anesth Analg.* 2016;123(3):626-33.

[39] Caputo ND, Oliver M, West JR, Hackett R, Sakles JC. Use of End Tidal Oxygen Monitoring to Assess Preoxygenation During Rapid Sequence Intubation in the Emergency Department. *Ann Emerg Med.* 2019 Sep;74(3):410-415. doi: 10.1016/j.annemergmed.2019.01.038. Epub 2019 Mar 14. PMID: 30879700.

NOM : HILLE

PRENOM : HUGO

Titre de Thèse : Non-invasive technology for Early Signal detection of hypoxemia with ORI during Intubation (NESOI)

RESUME (10 lignes)

L'hypoxémie sévère constitue la complication la plus fréquente et la plus grave liée à l'intubation en réanimation. L'Index de Réserve en Oxygène (ORI) est un paramètre de monitoring évaluant l'oxygénation dans la plage d'hyperoxémie modérée. Nous l'avons évalué au cours de la préoxygénation avant intubation chez 51 patients de réanimation. Le délai médian entre la baisse de l'ORI $< 0,4$ et la baisse de la SpO₂ $< 97\%$ pendant l'intubation était de 81 secondes (IQR [34-146]). La valeur maximale de l'ORI pendant la préoxygénation était un facteur protecteur, y compris après ajustement, sur la survenue d'une SpO₂ $< 97\%$ lors de l'intubation. La reproductibilité de ces résultats chez les patients hypoxémiques ainsi que l'impact clinique d'une stratégie de préoxygénation basée sur le monitoring de l'ORI restent à évaluer.

MOTS-CLES

ORI, PREOXYGENATION, INTUBATION, REANIMATION, MONITORAGE, HYPOXEMIE