

---

UNIVERSITE DE STRASBOURG  
FACULTE DE MEDECINE, MAÏEUTIQUE ET SCIENCES DE LA SANTE

ANNEE : 2020

N° : 290

**THESE**  
**PRESENTEE POUR LE DIPLOME DE**  
**DOCTEUR EN MEDECINE**

Diplôme d'Etat  
Mention Médecine d'Urgence

PAR

**KLEIN Laure**

Née le 01/05/1993 à Sarreguemines

---

**Intérêt de la mesure du gradient**  
**PaCO<sub>2</sub> - PETCO<sub>2</sub> dans la prise en charge**  
**de la dyspnée aux urgences**

---

Président de thèse : Monsieur Vincent CASTELAIN, Professeur

Directeur de thèse : Monsieur Sébastien HARSCOAT, Docteur

---



1  
**FACULTÉ DE MÉDECINE**  
(U.F.R. des Sciences Médicales)

Edition SEPTEMBRE 2020  
Année universitaire 2020-2021

**HOPITAUX UNIVERSITAIRES  
DE STRASBOURG (HUS)**  
**Directeur général :**  
M. GALY Michaël

- **Président de l'Université** M. DENEKEN Michel
- **Doyen de la Faculté** M. SIBILIA Jean
- Assesseur du Doyen (13.01.10 et 08.02.11)** M. GOICHOT Bernard
- Doyens honoraires :** (1976-1983) M. DORNER Marc
- (1983-1989) M. MANTZ Jean-Marie
- (1989-1994) M. VINCENDON Guy
- (1994-2001) M. GERLINGER Pierre
- (2001-2011) M. LUDES Bertrand
- **Chargé de mission auprès du Doyen** M. VICENTE Gilbert
- **Responsable Administratif** M. BITSCH Samuel



**A1 - PROFESSEUR TITULAIRE DU COLLEGE DE FRANCE**

MANDEL Jean-Louis      Chaire "Génétique humaine" (à compter du 01.11.2003)

**A2 - MEMBRE SENIOR A L'INSTITUT UNIVERSITAIRE DE FRANCE (I.U.F.)**

BAHRAM Séiamak      Immunologie biologique (01.10.2013 au 31.09.2018)  
DOLLFUS Hélène      Génétique clinique (01.10.2014 au 31.09.2019)

**A3 - PROFESSEUR(E)S DES UNIVERSITÉS - PRATICIENS HOSPITALIERS (PU-PH)**

PO218

NOM et Prénoms	CS*	Services Hospitaliers ou Institut / Localisation	Sous-section du Conseil National des Universités
ADAM Philippe P0001	NRP0 CS	• Pôle de l'Appareil locomoteur - Service d'Hospitalisation des Urgences de Traumatologie / HP	50.02    Chirurgie orthopédique et traumatologique
AKLADIOS Cherif P0191	NRP0 CS	• Pôle de Gynécologie-Obstétrique - Service de Gynécologie-Obstétrique/ HP	54.03    Gynécologie-Obstétrique ; gynécologie médicale Option : <b>Gynécologie-Obstétrique</b>
ANDRES Emmanuel P0002	RP0 CS	• Pôle de Médecine Interne, Rhumatologie, Nutrition, Endocrinologie, Diabétologie (MIRNED) - Service de Médecine Interne, Diabète et Maladies métaboliques / HC	53.01    Option : médecine Interne
ANHEIM Mathieu P0003	NRP0 NCS	• Pôle Tête et Cou-CETD - Service de Neurologie / Hôpital de Hautepierre	49.01    Neurologie
ARNAUD Laurent P0186	NRP0 NCS	• Pôle MIRNED - Service de Rhumatologie / Hôpital de Hautepierre	50.01    Rhumatologie
BACHELLIER Philippe P0004	RP0 CS	• Pôle des Pathologies digestives, hépatiques et de la transplantation - Serv. de chirurgie générale, hépatique et endocrinienne et Transplantation / HP	53.02    Chirurgie générale
BAHRAM Seiamak P0005	NRP0 CS	• Pôle de Biologie - Laboratoire d'Immunologie biologique / Nouvel Hôpital Civil - Institut d'Hématologie et d'Immunologie / Hôpital Civil / Faculté	47.03    Immunologie (option biologique)
BALDAUF Jean-Jacques P0006	NRP0 NCS	• Pôle de Gynécologie-Obstétrique - Service de Gynécologie-Obstétrique / Hôpital de Hautepierre	54.03    Gynécologie-Obstétrique ; gynécologie médicale Option : <b>Gynécologie-Obstétrique</b>
BAUMERT Thomas P0007	NRP0 CS	• Pôle Hépatodigestif de l'Hôpital Civil - Institut de Recherche sur les Maladies virales et hépatiques / Faculté	52.01    Gastro-entérologie ; <b>hépatologie</b> Option : hépatologie
Mme BEAU-FALLER Michèle M0007 / P0170	NRP0 NCS	• Pôle de Biologie - Laboratoire de Biochimie et de Biologie moléculaire / HP	44.03    Biologie cellulaire (option biologique)
BEAUJEUX Rémy P0008	NRP0 CS	• Pôle d'Imagerie - CME / Activités transversales • Unité de Neuroradiologie interventionnelle / Hôpital de Hautepierre	43.02    Radiologie et imagerie médicale (option clinique)
BECMEUR François P0009	NRP0 NCS	• Pôle médico-chirurgical de Pédiatrie - Service de Chirurgie Pédiatrique / Hôpital Hautepierre	54.02    Chirurgie infantile
BERNA Fabrice P0192	NRP0 CS	• Pôle de Psychiatrie, Santé mentale et Addictologie - Service de Psychiatrie I / Hôpital Civil	49.03    Psychiatrie d'adultes ; Addictologie Option : <b>Psychiatrie d'Adultes</b>
BERTSCHY Gilles P0013	RP0 CS	• Pôle de Psychiatrie et de santé mentale - Service de Psychiatrie II / Hôpital Civil	49.03    Psychiatrie d'adultes
BIERRY Guillaume P0178	NRP0 NCS	• Pôle d'Imagerie - Service d'Imagerie II - Neuroradiologie-imagerie ostéoarticulaire-Pédiatrie / Hôpital Hautepierre	43.02    Radiologie et Imagerie médicale (option clinique)
BILBAULT Pascal P0014	RP0 CS	• Pôle d'Urgences / Réanimations médicales / CAP - Service des Urgences médico-chirurgicales Adultes / Hôpital de Hautepierre	48.02    Réanimation ; <b>Médecine d'urgence</b> Option : médecine d'urgence
BLANC Frédéric P0213	NRP0 NCS	- Pôle de Gériatrie - Service Evaluation - Gériatrie - Hôpital de la Robertsau	53.01    Médecine interne ; addictologie Option : gériatrie et biologie du vieillissement
BODIN Frédéric P0187	NRP0 NCS	• Pôle de Chirurgie Maxillo-faciale, morphologie et Dermatologie - Service de Chirurgie Plastique et maxillo-faciale / Hôpital Civil	50.04 <b>Chirurgie Plastique, Reconstructrice et Esthétique</b> ; Brûlologie
BONNEMAINS Laurent M0099 / P0215	NRP0 NCS	• Pôle médico-chirurgical de Pédiatrie - Service de Pédiatrie 1 - Hôpital de Hautepierre	54.01    Pédiatrie
BONNOMET François P0017	NRP0 CS	• Pôle de l'Appareil locomoteur - Service d'Orthopédie-Traumatologie du Membre inférieur / HP	50.02    Chirurgie orthopédique et traumatologique
BOURCIER Tristan P0018	NRP0 NCS	• Pôle de Spécialités médicales-Ophthalmologie / SMO - Service d'Ophthalmologie / Nouvel Hôpital Civil	55.02    Ophthalmologie
BOURGIN Patrice P0020	NRP0 CS	• Pôle Tête et Cou - CETD - Service de Neurologie - Unité du Sommeil / Hôpital Civil	49.01    Neurologie
Mme BRIGAND Cécile P0022	NRP0 NCS	• Pôle des Pathologies digestives, hépatiques et de la transplantation - Service de Chirurgie générale et Digestive / HP	53.02    Chirurgie générale

NOM et Prénoms	CS*	Services Hospitaliers ou Institut / Localisation	Sous-section du Conseil National des Universités	
BRUANT-RODIER Catherine P0023	NRP0 CS	• Pôle de l'Appareil locomoteur - Service de Chirurgie Plastique et Maxillo-faciale / HP	50.04	Option : chirurgie plastique, reconstructrice et esthétique
Mme CAILLARD-OHLMANN Sophie P0171	NRP0 NCS	• Pôle de Spécialités médicales-Ophtalmologie / SMO - Service de Néphrologie-Transplantation / NHC	52.03	Néphrologie
CASTELAIN Vincent P0027	NRP0 NCS	• Pôle Urgences - Réanimations médicales / Centre antipoison - Service de Réanimation médicale / Hôpital Hautepierre	48.02	Réanimation
CHAKFE Nabil P0029	NRP0 CS	• Pôle d'activité médico-chirurgicale Cardio-vasculaire - Service de Chirurgie Vasculaire et de transplantation rénale / NHC	51.04	<b>Chirurgie vasculaire</b> ; médecine vasculaire / Option : chirurgie vasculaire
CHARLES Yann-Philippe M0013 / P0172	NRP0 NCS	• Pôle de l'Appareil locomoteur - Service de Chirurgie du rachis / Chirurgie B / HC	50.02	Chirurgie orthopédique et traumatologique
Mme CHARLDOUX Anne P0028	NRP0 NCS	• Pôle de Pathologie thoracique - Service de Physiologie et d'Explorations fonctionnelles / NHC	44.02	Physiologie (option biologique)
Mme CHARPIOT Anne P0030	NRP0 NCS	• Pôle Tête et Cou - CETD - Serv. d'Oto-rhino-laryngologie et de Chirurgie cervico-faciale / HP	55.01	Oto-rhino-laryngologie
Mme CHENARD-NEU Marie-Pierre P0041	NRP0 CS	• Pôle de Biologie - Service de Pathologie / Hôpital de Hautepierre	42.03	Anatomie et cytologie pathologiques (option biologique)
CLAVERT Philippe P0044	NRP0 CS	• Pôle de l'Appareil locomoteur - Service d'Orthopédie-Traumatologie du Membre supérieur / HP	42.01	Anatomie (option clinique, orthopédie traumatologique)
COLLANGE Olivier P0193	NRP0 NCS	• Pôle d'Anesthésie / Réanimations chirurgicales / SAMU-SMUR - Service d'Anesthésiologie-Réanimation Chirurgicale / NHC	48.01	<b>Anesthésiologie-Réanimation</b> ; Médecine d'urgence (option Anesthésiologie-Réanimation - Type clinique)
CRIBIER Bernard P0045	NRP0 CS	• Pôle d'Urologie, Morphologie et Dermatologie - Service de Dermatologie / Hôpital Civil	50.03	Dermato-Vénérologie
de BLAY de GAIX Frédéric P0048	RP0 CS	• Pôle de Pathologie thoracique - Service de Pneumologie / Nouvel Hôpital Civil	51.01	Pneumologie
de SEZE Jérôme P0057	NRP0 CS	• Pôle Tête et Cou - CETD - Centre d'Investigation Clinique (CIC) - AX5 / Hôpital de Hautepierre	49.01	Neurologie
DEBRY Christian P0049	RP0 CS	• Pôle Tête et Cou - CETD - Serv. d'Oto-rhino-laryngologie et de Chirurgie cervico-faciale / HP	55.01	Oto-rhino-laryngologie
DERUELLE Philippe P0199	RP0 NCS	• Pôle de Gynécologie-Obstétrique - Service de Gynécologie-Obstétrique / Hôpital de Hautepierre	54.03	Gynécologie-Obstétrique; gynécologie médicale: option gynécologie-obstétrique
DIEMUNSCHE Pierre P0051	NRP0 NCS	• Pôle d'Anesthésie / Réanimations chirurgicales / SAMU-SMUR - Service d'Anesthésie-Réanimation Chirurgicale / Hôpital de Hautepierre	48.01	Anesthésiologie-réanimation (option clinique)
Mme DOLLFUS WALTMANN Hélène P0054	NRP0 CS	• Pôle de Biologie - Service de Génétique Médicale / Hôpital de Hautepierre	47.04	Génétique (type clinique)
ÉHLINGER Matthieu P0188	NRP0 NCS	• Pôle de l'Appareil Locomoteur - Service d'Orthopédie-Traumatologie du membre inférieur / Hautepierre	50.02	Chirurgie Orthopédique et Traumatologique
Mme ENTZ-WERLE Natacha P0059	NRP0 NCS	• Pôle médico-chirurgical de Pédiatrie - Service de Pédiatrie III / Hôpital de Hautepierre	54.01	Pédiatrie
Mme FACCA Sybille P0179	NRP0 CS	• Pôle de l'Appareil locomoteur - Service de Chirurgie de la Main - SOS Main / Hôpital de Hautepierre	50.02	Chirurgie orthopédique et traumatologique
Mme FAFI-KREMER Samira P0060	NRP0 CS	• Pôle de Biologie - Laboratoire (Institut) de Virologie / PTM HUS et Faculté	45.01	<b>Bactériologie-Virologie</b> ; Hygiène Hospitalière Option Bactériologie-Virologie biologique
FAITOT François P0218	NRP0 NCS	• Pôle de Pathologie digestives, hépatiques et de la transplantation - Serv. de chirurgie générale, hépatique et endocrinienne et Transplantation / HP	53.02	Chirurgie générale
FALCOZ Pierre-Emmanuel P0052	NRP0 NCS	• Pôle de Pathologie thoracique - Service de Chirurgie Thoracique / Nouvel Hôpital Civil	51.03	Chirurgie thoracique et cardio-vasculaire
FORNECKER Luc-Matthieu P0208	NRP0 NCS	• Pôle d'Oncologie-Hématologie - Service d'hématologie / ICANS	47.01	<b>Hématologie</b> ; Transfusion Option : Hématologie
GALLIX Benoit P0214	NCS	• IHU - Institut Hospitalo-Universitaire - Hôpital Civil	43.02	Radiologie et imagerie médicale
GANGI Afshin P0062	RP0 CS	• Pôle d'Imagerie - Service d'Imagerie A interventionnelle / Nouvel Hôpital Civil	43.02	Radiologie et imagerie médicale (option clinique)
GAUCHER David P0063	NRP0 NCS	• Pôle des Spécialités Médicales - Ophtalmologie / SMO - Service d'Ophtalmologie / Nouvel Hôpital Civil	55.02	Ophtalmologie
GENY Bernard P0064	NRP0 CS	• Pôle de Pathologie thoracique - Service de Physiologie et d'Explorations fonctionnelles / NHC	44.02	Physiologie (option biologique)
GEORG Yannick P0200	NRP0 NCS	• Pôle d'activité médico-chirurgicale Cardio-vasculaire - Service de Chirurgie Vasculaire et de transplantation rénale / NHC	51.04	<b>Chirurgie vasculaire</b> ; médecine vasculaire / Option : chirurgie vasculaire
GICQUEL Philippe P0065	NRP0 CS	• Pôle médico-chirurgical de Pédiatrie - Service de Chirurgie Pédiatrique / Hôpital Hautepierre	54.02	Chirurgie infantile
GOICHOT Bernard P0066	NRP0 CS	• Pôle de Médecine Interne, Rhumatologie, Nutrition, Endocrinologie, Diabétologie (MIRNED) - Service de Médecine interne et de nutrition / HP	54.04	Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques
Mme GONZALEZ Maria P0067	NRP0 CS	• Pôle de Santé publique et santé au travail - Service de Pathologie Professionnelle et Médecine du Travail / HC	46.02	Médecine et santé au travail Travail
GOTTENBERG Jacques-Eric P0068	NRP0 CS	• Pôle de Médecine Interne, Rhumatologie, Nutrition, Endocrinologie, Diabétologie (MIRNED) - Service de Rhumatologie / Hôpital Hautepierre	50.01	Rhumatologie

NOM et Prénoms	CS*	Services Hospitaliers ou Institut / Localisation	Sous-section du Conseil National des Universités
HANNEDOUCHE Thierry P0071	NRP0 CS	• Pôle de Spécialités médicales - Ophtalmologie / SMO - Service de Néphrologie - Dialyse / Nouvel Hôpital Civil	52.03 Néphrologie
HANSMANN Yves P0072	RP0 NCS	• Pôle de Spécialités médicales - Ophtalmologie / SMO - Service des Maladies infectieuses et tropicales / Nouvel Hôpital Civil	45.03 Option : Maladies infectieuses
Mme HELMS Julie M0114 / P0209	NRP0 NCS	• Pôle Urgences - Réanimations médicales / Centre antipoison - Service de Réanimation Médicale / Nouvel Hôpital Civil	48.02 Médecine Intensive-Réanimation
HERBRECHT Raoul P0074	NRP0 CS	• Pôle d'Oncolo-Hématologie - Service d'hématologie / ICANS	47.01 <b>Hématologie</b> ; Transfusion
HIRSCH Edouard P0075	NRP0 NCS	• Pôle Tête et Cou - CETD - Service de Neurologie / Hôpital de Haute-pierre	49.01 Neurologie
IMPERIALE Alessio P0194	NRP0 NCS	• Pôle d'Imagerie - Service de Médecine Nucléaire et Imagerie Moléculaire / ICANS	43.01 Biophysique et médecine nucléaire
ISNER-HOROBETI Marie-Eve P0189	RP0 CS	• Pôle de Médecine Physique et de Réadaptation - Institut Universitaire de Réadaptation / Clémenceau	49.05 <b>Médecine Physique et Réadaptation</b>
JAULHAC Benoît P0078	NRP0 CS	• Pôle de Biologie - Institut (Laboratoire) de Bactériologie / PTM HUS et Faculté de Méd.	45.01 Option : <b>Bactériologie</b> -virologie (biologique)
Mme JEANDIDIER Nathalie P0079	NRP0 CS	• Pôle de Médecine Interne, Rhumatologie, Nutrition, Endocrinologie, Diabétologie (MIRNED) - Service d'Endocrinologie, diabète et nutrition / HC	54.04 Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques
Mme JESEL-MOREL Laurence P0261	NRP0 NCS	• Pôle d'activité médico-chirurgicale Cardio-vasculaire - Service de Cardiologie / Nouvel Hôpital Civil	51.02 Cardiologie
KALTENBACH Georges P0081	RP0 CS	• Pôle de Gériatrie - Service de Médecine Interne - Gériatrie / Hôpital de la Robertsau - Secteur Evaluation - Gériatrie / Hôpital de la Robertsau	53.01 Option : gériatrie et biologie du vieillissement
Mme KESSLER Laurence P0084	NRP0 NCS	• Pôle de Médecine Interne, Rhumatologie, Nutrition, Endocrinologie, Diabétologie (MIRNED) - Service d'Endocrinologie, Diabète, Nutrition et Addictologie / Méd. B / HC	54.04 Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques
KESSLER Romain P0085	NRP0 NCS	• Pôle de Pathologie thoracique - Service de Pneumologie / Nouvel Hôpital Civil	51.01 Pneumologie
KINDO Michel P0195	NRP0 NCS	• Pôle d'activité médico-chirurgicale Cardio-vasculaire - Service de Chirurgie Cardio-vasculaire / Nouvel Hôpital Civil	51.03 Chirurgie thoracique et cardio-vasculaire
Mme KORGANOW Anne-Sophie P0087	NRP0 CS	• Pôle de Spécialités médicales - Ophtalmologie / SMO - Service de Médecine Interne et d'Immunologie Clinique / NHC	47.03 Immunologie (option clinique)
KREMER Stéphane M0038 / P0174	NRP0 CS	• Pôle d'Imagerie - Service Imagerie II - Neuroradio Ostéoarticulaire - Pédiatrie / HP	43.02 Radiologie et imagerie médicale (option clinique)
KUHN Pierre P0175	NRP0 CS	• Pôle médico-chirurgical de Pédiatrie - Service de Néonatalogie et Réanimation néonatale (Pédiatrie II) / HP	54.01 Pédiatrie
KURTZ Jean-Emmanuel P0009	RP0 NCS	• Pôle d'Onco-Hématologie - Service d'hématologie / ICANS	47.02 Option : Cancérologie (clinique)
Mme LALANNE-TONGIO Laurence P0202	NRP0 CS	• Pôle de Psychiatrie, Santé mentale et Addictologie - Service de Psychiatrie I / Hôpital Civil	49.03 Psychiatrie d'adultes ; <b>Addictologie</b> (Option : Addictologie)
LANG Hervé P0090	NRP0 NCS	• Pôle de Chirurgie plastique reconstructrice et esthétique, Chirurgie maxillo-faciale, Morphologie et Dermatologie - Service de Chirurgie Urologique / Nouvel Hôpital Civil	52.04 Urologie
LAUGEL Vincent P0092	RP0 CS	• Pôle médico-chirurgical de Pédiatrie - Service de Pédiatrie 1 / Hôpital Haute-pierre	54.01 Pédiatrie
Mme LEJAY Anne M0102 / P0217	NRP0 NCS	• Pôle d'activité médico-chirurgicale cardiovasculaire - Service de Chirurgie vasculaire et de Transplantation rénale / NHC	51.04 Option : Chirurgie vasculaire
LE MINOR Jean-Marie P0190	NRP0 NCS	• Pôle d'Imagerie - Institut d'Anatomie Normale / Faculté de Médecine - Service de Neuroradiologie, d'imagerie Ostéoarticulaire et interventionnelle / Hôpital de Haute-pierre	42.01 <b>Anatomie</b>
LESSINGER Jean-Marc P0	RP0 CS	• Pôle de Biologie - Laboratoire de Biochimie générale et spécialisée / LBGS / NHC - Laboratoire de Biochimie et de Biologie moléculaire / Hôp. de Haute-pierre	82.00 Sciences Biologiques de Pharmacie
LIPSKER Dan P0093	NRP0 NCS	• Pôle de Chirurgie plastique reconstructrice et esthétique, Chirurgie maxillo-faciale, Morphologie et Dermatologie - Service de Dermatologie / Hôpital Civil	50.03 Dermato-vénérologie
LIVERNEAUX Philippe P0094	RP0 NCS	• Pôle de l'Appareil locomoteur - Service de Chirurgie de la Main - SOS Main / Hôpital de Haute-pierre	50.02 Chirurgie orthopédique et traumatologique
MALOUF Gabriel P0203	NRP0 NCS	• Pôle d'Onco-hématologie - Service d'Oncologie médicale / ICANS	47.02 <b>Cancérologie</b> ; Radiothérapie Option : Cancérologie
MARK Manuel P0098	NRP0 NCS	• Pôle de Biologie - Département Génomique fonctionnelle et cancer / IGBMC	54.05 Biologie et médecine du développement et de la reproduction (option biologique)
MARTIN Thierry P0099	NRP0 NCS	• Pôle de Spécialités médicales - Ophtalmologie / SMO - Service de Médecine Interne et d'Immunologie Clinique / NHC	47.03 Immunologie (option clinique)
Mme MASCAUX Céline P0210	NRP0 NCS	• Pôle de Pathologie thoracique - Service de Pneumologie / Nouvel Hôpital Civil	51.01 <b>Pneumologie</b> ; Addictologie
Mme MATHELIN Carole P0101	NRP0 CS	• Pôle de Gynécologie-Obstétrique - Unité de Sénologie / ICANS	54.03 <b>Gynécologie-Obstétrique</b> ; Gynécologie Médicale

NOM et Prénoms	CS*	Services Hospitaliers ou Institut / Localisation	Sous-section du Conseil National des Universités
MAUVIEUX Laurent P0102	NRPô CS	• Pôle d'Onco-Hématologie - Laboratoire d'Hématologie Biologique - Hôpital de Haute-pierre - Institut d'Hématologie / Faculté de Médecine	47.01 <b>Hématologie</b> ; Transfusion Option Hématologie Biologique
MAZZUCOTELLI Jean-Philippe P0103	NRPô CS	• Pôle d'activité médico-chirurgicale Cardio-vasculaire - Service de Chirurgie Cardio-vasculaire / Nouvel Hôpital Civil	51.03 Chirurgie thoracique et cardio-vasculaire
MERTES Paul-Michel P0104	RPô CS	• Pôle d'Anesthésiologie / Réanimations chirurgicales / SAMU-SMUR - Service d'Anesthésiologie-Réanimation chirurgicale / Nouvel Hôpital Civil	48.01 Option : Anesthésiologie-Réanimation (type mixte)
MEYER Nicolas P0105	NRPô NCS	• Pôle de Santé publique et Santé au travail - Laboratoire de Biostatistiques / Hôpital Civil • Biostatistiques et Informatique / Faculté de médecine / Hôpital Civil	46.04 Biostatistiques, Informatique Médicale et Technologies de Communication (option biologique)
MEZIANI Ferhat P0106	NRPô CS	• Pôle Urgences - Réanimations médicales / Centre antipoison - Service de Réanimation Médicale / Nouvel Hôpital Civil	48.02 Réanimation
MONASSIER Laurent P0107	NRPô CS	• Pôle de Pharmacie-pharmacologie - Labo. de Neurobiologie et Pharmacologie cardio-vasculaire- EA7295 / Fac	48.03 Option : Pharmacologie fondamentale
MOREL Olivier P0108	NRPô NCS	• Pôle d'activité médico-chirurgicale Cardio-vasculaire - Service de Cardiologie / Nouvel Hôpital Civil	51.02 Cardiologie
MOULIN Bruno P0109	NRPô CS	• Pôle de Spécialités médicales - Ophtalmologie / SMO - Service de Néphrologie - Transplantation / Nouvel Hôpital Civil	52.03 Néphrologie
MUTTER Didier P0111	RPô NCS	• Pôle Hépato-digestif de l'Hôpital Civil - Service de Chirurgie Viscérale et Digestive / NHC	52.02 Chirurgie digestive
NAMER Izzie Jacques P0112	NRPô CS	• Pôle d'Imagerie - Service de Médecine Nucléaire et Imagerie Moléculaire / ICANS	43.01 Biophysique et médecine nucléaire
NOËL Georges P0114	NRPô NCS	• Pôle d'Imagerie - Service de radiothérapie / ICANS	47.02 Cancérologie ; <b>Radiothérapie</b> Option Radiothérapie biologique
NOLL Eric M0111 / P0218	NRPô NCS	• Pôle d'Anesthésie Réanimation Chirurgicale SAMU-SMUR - Service Anesthésiologie et de Réanimation Chirurgicale - HP	48.01 Anesthésiologie-Réanimation
OHANA Mickael P0211	NRPô NCS	• Pôle d'Imagerie - Serv. d'Imagerie B - Imagerie viscérale et cardio-vasculaire / NHC	43.02 Radiologie et imagerie médicale (option clinique)
OHLMANN Patrick P0115	RPô CS	• Pôle d'activité médico-chirurgicale Cardio-vasculaire - Service de Cardiologie / Nouvel Hôpital Civil	51.02 Cardiologie
Mme OLLAND Anne P0204	NRPô NCS	• Pôle de Pathologie Thoracique - Service de Chirurgie thoracique / Nouvel Hôpital Civil	51.03 Chirurgie thoracique et cardio-vasculaire
Mme PAILLARD Catherine P0180	NRPô CS	• Pôle médico-chirurgical de Pédiatrie - Service de Pédiatrie III / Hôpital de Haute-pierre	54.01 Pédiatrie
PFI ACCIA Thierry P0205	NRPô NCS	• Pôle d'Anesthésie / Réanimations chirurgicales / SAMU-SMUR - Centre de formation et de recherche en pédagogie des sciences de la santé / Faculté	48.05 Réanimation ; <b>Médecine d'urgence</b> Option : Médecine d'urgences
Mme PERRÉ I A Silvana P0117	NRPô NCS	• Pôle Hépato digestif de l'Hôpital Civil - Service de Chirurgie Viscérale et Digestive / Nouvel Hôpital Civil	52.02 Chirurgie digestive
PESSAUX Patrick P0118	NRPô CS	• Pôle des Pathologies digestives, hépatiques et de la transplantation - Service de Chirurgie Viscérale et Digestive / Nouvel Hôpital Civil	52.02 Chirurgie Digestive
PETIT Thierry P0119	CDp	• ICANS - Département de médecine oncologique	47.02 <b>Cancérologie</b> ; Radiothérapie Option : Cancérologie Clinique
PIVOT Xavier P0206	NRPô NCS	• ICANS - Département de médecine oncologique	47.02 <b>Cancérologie</b> ; Radiothérapie Option : Cancérologie Clinique
POTTECHER Julien P0181	NRPô CS	• Pôle d'Anesthésie / Réanimations chirurgicales / SAMU-SMUR - Service d'Anesthésie et de Réanimation Chirurgicale / Hôpital de Haute-pierre	48.01 <b>Anesthésiologie-réanimation</b> ; Médecine d'urgence (option clinique)
PRADIGNAC Alain P0123	NRPô NCS	• Pôle de Médecine Interne, Rhumatologie, Nutrition, Endocrinologie, Diabétologie (MIRNED) - Service de Médecine interne et nutrition / HP	44.04 Nutrition
PROUST François P0182	NRPô CS	• Pôle Tête et Cou - Service de Neurochirurgie / Hôpital de Haute-pierre	49.02 Neurochirurgie
Pr RAUL Jean-Sébastien P0125	NRPô CS	• Pôle de Biologie - Service de Médecine Légale, Consultation d'Urgences médico-judiciaires et l'aboratoire de Toxicologie / Faculté et NHC • Institut de Médecine Légale / Faculté de Médecine	46.03 Médecine Légale et droit de la santé
REIMUND Jean-Marie P0126	NRPô NCS	• Pôle des Pathologies digestives, hépatiques et de la transplantation - Service d'Hépto-Gastro-Entérologie et d'Assistance Nutritive / HP	52.01 Option : Gastro-entérologie
Pr RICCI Roméo P0127	NRPô NCS	• Pôle de Biologie - Département Biologie du développement et cellules souches / IGBMC	44.01 Biochimie et biologie moléculaire
ROHR Serge P0128	NRPô CS	• Pôle des Pathologies digestives, hépatiques et de la transplantation - Service de Chirurgie générale et Digestive / HP	53.02 Chirurgie générale
Mme ROSSIGNOL-BERNARD Sylvie P0196	NRPô NCS	• Pôle médico-chirurgical de Pédiatrie - Service de Pédiatrie I / Hôpital de Haute-pierre	54.01 Pédiatrie
ROUL Gérard P0129	NRPô NCS	• Pôle d'activité médico-chirurgicale Cardio-vasculaire - Service de Cardiologie / Nouvel Hôpital Civil	51.02 Cardiologie
Mme ROY Catherine P0140	NRPô CS	• Pôle d'Imagerie - Serv. d'Imagerie B - Imagerie viscérale et cardio-vasculaire / NHC	43.02 Radiologie et imagerie médicale (opt clinique)

NOM et Prénoms	CS*	Services Hospitaliers ou Institut / Localisation	Sous-section du Conseil National des Universités
SANANES Nicolas P0212	NRPô NCS	• Pôle de Gynécologie-Obstétrique - Service de Gynécologie-Obstétrique/ HP	54.03 <b>Gynécologie-Obstétrique</b> ; gynécologie médicale Option : Gynécologie-Obstétrique
SAUER Arnaud P0183	NRPô NCS	• Pôle de Spécialités médicales - Ophtalmologie / SMO - Service d'Ophtalmologie / Nouvel Hôpital Civil	55.02 Ophtalmologie
SAULEAU Erik-André P0184	NRPô NCS	• Pôle de Santé publique et Santé au travail - Service de Santé Publique / Hôpital Civil • Biostatistiques et Informatique / Faculté de médecine / HC	46.04 Biostatistiques, Informatique médicale et Technologies de Communication (option biologique)
SAUSSINE Christian P0143	RPô CS	• Pôle d'Urologie, Morphologie et Dermatologie - Service de Chirurgie Urologique / Nouvel Hôpital Civil	52.04 Urologie
Mme SCHATZ Claude P0147	NRPô CS	• Pôle de Spécialités médicales - Ophtalmologie / SMO - Service d'Ophtalmologie / Nouvel Hôpital Civil	55.02 Ophtalmologie
SCHNEIDER Francis P0144	NRPô CS	• Pôle Urgences - Réanimations médicales / Centre antipoison - Service de Réanimation médicale / Hôpital de Hautepierre	48.02 Réanimation
Mme SCHRÖDER Carmen P0185	NRPô CS	• Pôle de Psychiatrie et de santé mentale - Service de Psychothérapie pour Enfants et Adolescents / Hôpital Civil	49.04 <b>Pédopsychiatrie</b> ; Addictologie
SCHULTZ Philippe P0145	NRPô NCS	• Pôle Tête et Cou - CETD - Serv. d'Oto-rhino-laryngologie et de Chirurgie cervico-faciale / HP	55.01 Oto-rhino-laryngologie
SERFATY Lawrence P0107	NRPô CS	• Pôle des Pathologies digestives, hépatiques et de la transplantation - Service d'Hépatogastro-Entérologie et d'Assistance Nutritive / HP	52.01 Gastro-entérologie; Hépatologie; Addictologie Option : <b>Hépatologie</b>
SIBILIA Jean P0146	NRPô NCS	• Pôle de Médecine Interne, Rhumatologie, Nutrition, Endocrinologie, Diabétologie (MIRNED) - Service de Rhumatologie / Hôpital Hautepierre	50.01 Rhumatologie
STEIB Jean-Paul P0149	NRPô CS	• Pôle de l'Appareil locomoteur - Service de Chirurgie du rachis / Hôpital de Hautepierre	50.02 Chirurgie orthopédique et traumatologique
STEPHAN Dominique P0150	NRPô CS	• Pôle d'activité médico-chirurgicale Cardio-vasculaire - Service des Maladies vasculaires - HTA - Pharmacologie clinique / NHC	51.04 Option : Médecine vasculaire
THAVEAU Fabien P0152	NRPô NCS	• Pôle d'activité médico-chirurgicale Cardio-vasculaire - Service de Chirurgie vasculaire et de transplantation rénale / NHC	51.04 Option : Chirurgie vasculaire
Mme TRANCHANT Christine P0153	NRPô CS	• Pôle Tête et Cou - CETD - Service de Neurologie / Hôpital de Hautepierre	49.01 Neurologie
VEILLON Francis P0155	NRPô CS	• Pôle d'Imagerie - Service d'Imagerie 1 - Imagerie viscérale, ORL et mammaire / HP	43.02 Radiologie et imagerie médicale (option clinique)
VELTEN Michel P0156	NRPô NCS	• Pôle de Santé publique et Santé au travail - Département de Santé Publique / Secteur 3 - Epidémiologie et Economie de la Santé / Hôpital Civil • Laboratoire d'Epidémiologie et de santé publique / HC / Fac de Médecine	46.01 Epidémiologie, économie de la santé et prévention (option biologique)
VETTER Denis P0157	NRPô NCS	• Pôle de Médecine Interne, Rhumatologie, Nutrition, Endocrinologie, Diabétologie (MIRNED) - Service de Médecine Interne, Diabète et Maladies métaboliques/HC	52.01 Option : Gastro-entérologie
VIDAILHET Pierre P0158	NRPô CS	• Pôle de Psychiatrie et de santé mentale - Service de Psychiatrie I / Hôpital Civil	49.03 Psychiatrie d'adultes
VIVILLE Stéphane P0159	NRPô NCS	• Pôle de Biologie - Laboratoire de Parasitologie et de Pathologies tropicales / Fac. de Médecine	54.05 Biologie et médecine du développement et de la reproduction (option biologique)
VOGEL Thomas P0160	NRPô CS	• Pôle de Gériatrie - Service de soins de suite et réadaptation gériatrique / Hôpital de la Robertsau	51.01 Option : Gériatrie et biologie du vieillissement
WEBER Jean-Christophe Pierre P0162	NRPô CS	• Pôle de Spécialités médicales - Ophtalmologie / SMO - Service de Médecine Interne / Nouvel Hôpital Civil	53.01 Option : Médecine Interne
WOLF Philippe P0207	NRPô NCS	• Pôle des Pathologies digestives, hépatiques et de la transplantation - Service de Chirurgie Générale et de Transplantations multiorganes / HP - Coordonnateur des activités de prélèvements et transplantations des HLJ	53.02 Chirurgie générale
Mme WOLFF Valérie P0001	NRPô CS	• Pôle Tête et Cou - Unité Neurovasculaire / Hôpital de Hautepierre	49.01 Neurologie

HC : Hôpital Civil - HP : Hôpital de Hautepierre - NHC : Nouvel Hôpital Civil

\* : CS (Chef de service) ou NCS (Non Chef de service hospitalier) Cspi : Chef de service par intérim CSp : Chef de service provisoire (un an)

CJ : Chef d'unité fonctionnelle

Pô : Pôle RPô (Responsable de Pôle) ou NRPô (Non Responsable de Pôle)

Cons. : Consultanat hospitalier (poursuite des fonctions hospitalières sans chefferie de service) Dir : Directeur

(1) En surnombre universitaire jusqu'au 31.08.2018

(3)

(5) En surnombre universitaire jusqu'au 31.08.2019

(6) En surnombre universitaire jusqu'au 31.08.2017

(7) Consultant hospitalier (pour un an) éventuellement renouvelable -> 31.08.2017

(8) Consultant hospitalier (pour une 2ème année) -> 31.08.2017

(9) Consultant hospitalier (pour une 3ème année) -> 31.08.2017

---

**A4 - PROFESSEUR ASSOCIE DES UNIVERSITES**


---

<b>NOM et Prénoms</b>	<b>CS*</b>	<b>Services Hospitaliers ou Institut / Localisation</b>	<b>Sous-section du Conseil National des Universités</b>	
CALVEL Laurent	NRP0 CS	• Pôle Spécialités médicales - Ophtalmologie / SMO Service de Soins palliatifs / NHC	46.05	Médecine palliative
HABERSETZER François	CS	• Pôle Hépato-digestif Service de Gastro-Entérologie - NHC	52.01	Gastro-Entérologie
MIYAZAKI Toru		• Pôle de Biologie Laboratoire d'Immunologie Biologique / HC		
SALVAT Eric	CS	• Pôle Tête-Cou Centre d'Evaluation et de Traitement de la Douleur / HP		

---

**MO135 B1 - MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES - PRATICIENS HOSPITALIERS (MCU-PH)**

NOM et Prénoms	CS*	Services Hospitaliers ou Institut / Localisation	Sous-section du Conseil National des Universités	
AGIN Arnaud M0001		• Pôle d'Imagerie - Service de Médecine nucléaire et Imagerie Moléculaire / ICANS	43.01	Biophysique et Médecine nucléaire
Mme ANTAL Maria Cristina M0003		• Pôle de Biologie - Service de Pathologie / Haute-pierre • Institut d'Histologie / Faculté de Médecine	42.02	Histologie, Embryologie et Cytogénétique (option biologique)
Mme ANTONI Delphine M0109		• Pôle d'Imagerie - Service de Radiothérapie / ICANS	47.02	Cancérologie ; <b>Radiothérapie</b>
Mme AYME-DIETRICH Estelle M0117		• Pôle de Pharmacologie - Unité de Pharmacologie clinique / Faculté de Médecine	48.03	<b>Pharmacologie fondamentale</b> ; pharmacologie clinique ; addictologie Option : pharmacologie fondamentale
Mme BIANCALANA Valérie M0008		• Pôle de Biologie - Laboratoire de Diagnostic Génétique / Nouvel Hôpital Civil	47.04	Génétique (option biologique)
BLONDET Cyrille M0091		• Pôle d'Imagerie - Service de Médecine nucléaire et Imagerie Moléculaire / ICANS	43.01	Biophysique et médecine nucléaire (option clinique)
BOUSIGES Olivier M0092		• Pôle de Biologie - Laboratoire de Biochimie et de Biologie moléculaire / HP	44.01	Biochimie et biologie moléculaire
Mme BUND Caroline M0129		• Pôle d'Imagerie - Service de médecine nucléaire et imagerie moléculaire / ICANS	43.01	Biophysique et médecine nucléaire
CARAPITO Raphaël M0113		• Pôle de Biologie - Laboratoire d'Immunologie biologique / Nouvel Hôpital Civil	47.03	Immunologie
CAZZATO Roberto M0118		• Pôle d'Imagerie - Service d'Imagerie A interventionnelle / NHC	43.02	Radiologie et imagerie médicale (option clinique)
Mme CEBULA Héléne M0124		• Pôle Tête-Cou - Service de Neurochirurgie / HP	49.02	Neurochirurgie
CERALINE Jocelyn M0112		• Pôle de Biologie - Département de Biologie structurale Intégrative / IGBMC	47.02	<b>Cancérologie</b> ; Radiothérapie (option biologique)
CHOQUET Philippe M0014		• Pôle d'Imagerie - UF6237 - Imagerie Préclinique / HP	43.01	Biophysique et médecine nucléaire
COLLONGUES Nicolas M0016		• Pôle Tête et Cou-CETD - Centre d'Investigation Clinique / NHC et HP	49.01	Neurologie
DALI-YOUCHEF Ahmed Nassim M0017		• Pôle de Biologie - Laboratoire de Biochimie et Biologie moléculaire / NHC	44.01	Biochimie et biologie moléculaire
DELHORME Jean-Baptiste M0130		• Pôle des Pathologies digestives, hépatiques et de la transplantation - Service de Chirurgie générale et Digestive / HP	53.02	Chirurgie générale
DEVYS Didier M0019		• Pôle de Biologie - Laboratoire de Diagnostic génétique / Nouvel Hôpital Civil	47.04	Génétique (option biologique)
Mme DINKELACKER Vera M0131		• Pôle Tête et Cou - CETD - Service de Neurologie / Hôpital de Haute-pierre	49.01	Neurologie
DOLLÉ Pascal M0021		• Pôle de Biologie - Laboratoire de Biochimie et biologie moléculaire / NHC	44.01	Biochimie et biologie moléculaire
Mme ENACHE Irina M0024		• Pôle de Pathologie thoracique - Service de Physiologie et d'Explorations fonctionnelles / IGBMC	44.02	Physiologie
Mme FARRUGIA-JACAMON Audrey M0034		• Pôle de Biologie - Service de Médecine Légale, Consultation d'Urgences médico-judiciaires et Laboratoire de Toxicologie / Faculté et HC • Institut de Médecine Légale / Faculté de Médecine	46.03	Médecine Légale et droit de la santé
FILISSETTI Denis M0025	CS	• Pôle de Biologie - Labo. de Parasitologie et de Mycologie médicale / PTM HUS et Faculté	45.02	Parasitologie et mycologie (option biologique)
FOUCHER Jack M0027		• Institut de Physiologie / Faculté de Médecine • Pôle de Psychiatrie et de santé mentale - Service de Psychiatrie / Hôpital Civil	44.02	Physiologie (option clinique)
GANTNER Pierre M0132		• Pôle de Biologie - Laboratoire (Institut) de Virologie / PTM HUS et Faculté	45.01	<b>Bactériologie-Virologie</b> ; Hygiène Hospitalière Option Bactériologie- <b>Virologie</b> biologique
GRILLON Antoine M0133		• Pôle de Biologie - Institut (Laboratoire) de Bactériologie / PTM HUS et Faculté de Méd.	45.01	Option : <b>Bactériologie</b> -virologie (biologique)
GUERIN Eric M0032		• Pôle de Biologie - Laboratoire de Biochimie et de Biologie moléculaire / HP	44.03	Biologie cellulaire (option biologique)
GUFFROY Aurélien M0125		• Pôle de Spécialités médicales - Ophtalmologie / SMO - Service de Médecine interne et d'Immunologie clinique / NHC	47.03	Immunologie (option clinique)
Mme HARSAN-RASTEI Laura M0119		• Pôle d'Imagerie - Service de Médecine Nucléaire et Imagerie Moléculaire / ICANS	43.01	Biophysique et médecine nucléaire
HUBLEE Fabrice M0033		• Pôle d'Imagerie - Service de Médecine nucléaire et Imagerie Moléculaire / ICANS - Service de Biophysique et de Médecine Nucléaire / NHC	43.01	Biophysique et médecine nucléaire
JEHL François M0035		• Pôle de Biologie - Institut (Laboratoire) de Bactériologie / PTM HUS et Faculté	45.01	Option : <b>Bactériologie</b> -virologie (biologique)
KASTNER Philippe M0089		• Pôle de Biologie - Département Génomique fonctionnelle et cancer / IGBMC	47.04	Génétique (option biologique)

NOM et Prénoms	CS*	Services Hospitaliers ou Institut / Localisation	Sous-section du Conseil National des Universités
Mme KEMMEL Véronique M0036		• Pôle de Biologie - Laboratoire de Biochimie et de Biologie moléculaire / HP	44.01 Biochimie et biologie moléculaire
KOCH Guillaume M0126		- Institut d'Anatomie Normale / Faculté de Médecine	42.01 Anatomie (Option clinique)
Mme KRASNY-PACINI Agata M0134		• Pôle de Médecine Physique et de Réadaptation - Institut Universitaire de Réadaptation / Clémenceau	49.05 Médecine Physique et Réadaptation
Mme LAMOUR Valérie M0040		• Pôle de Biologie - Laboratoire de Biochimie et de Biologie moléculaire / HP	44.01 Biochimie et biologie moléculaire
Mme LANNES Béatrice M0041		• Institut d'Histologie / Faculté de Médecine • Pôle de Biologie - Service de Pathologie / Hôpital de Hautepierre	42.02 Histologie, Embryologie et Cytogénétique (option biologique)
LVAUX Thomas M0042		• Pôle de Biologie - Laboratoire de Biochimie et de Biologie moléculaire / HP	44.03 Biologie cellulaire
LENORMAND Cédric M0103		• Pôle de Chirurgie maxillo-faciale, Morphologie et Dermatologie - Service de Dermatologie / Hôpital Civil	50.03 Dermato-Vénérologie
Mme LETSCHER-BRU Valérie M0045		• Pôle de Biologie - Laboratoire de Parasitologie et de Mycologie médicale / PTM HUS • Institut de Parasitologie / Faculté de Médecine	45.02 Parasitologie et mycologie (option biologique)
LHERMITTE Benoît M0115		• Pôle de Biologie - Service de Pathologie / Hôpital de Hautepierre	42.03 Anatomie et cytologie pathologiques
LUTZ Jean-Christophe M0046		• Pôle de Chirurgie plastique reconstructrice et esthétique, Chirurgie maxillo-faciale, Morphologie et Dermatologie - Service de Chirurgie Plastique et Maxillo-faciale / Hôpital Civil	55.03 Chirurgie maxillo-faciale et stomatologie
MEYER Alain M0093		• Institut de Physiologie / Faculté de Médecine • Pôle de Pathologie thoracique - Service de Physiologie et d'Explorations fonctionnelles / NHC	44.02 Physiologie (option biologique)
MIGUET Laurent M0047		• Pôle de Biologie - Laboratoire d'Hématologie biologique / Hôpital de Hautepierre et NHC	44.03 Biologie cellulaire (type mixte : biologique)
Mme MOUTOU Céline ép. GUNTNER M0049	CS	• Pôle de Biologie - Laboratoire de Diagnostic préimplantatoire / CMCO Schiltigheim	54.05 Biologie et médecine du développement et de la reproduction (option biologique)
MULLER Jean M0050		• Pôle de Biologie - Laboratoire de Diagnostic génétique / Nouvel Hôpital Civil	47.04 Génétique (option biologique)
Mme NICOLAE Alina M0127		• Pôle de Biologie - Service de Pathologie / Hôpital de Hautepierre	42.03 Anatomie et Cytologie Pathologiques (Option Clinique)
Mme NOURRY Nathalie M0011		• Pôle de Santé publique et Santé au travail - Service de Pathologie professionnelle et de Médecine du travail - HC	46.02 Médecine et Santé au Travail (option clinique)
PENCREAC'H Erwan M0052		• Pôle de Biologie - Laboratoire de Biochimie et biologie moléculaire / Nouvel Hôpital Civil	44.01 Biochimie et biologie moléculaire
PFUFF Alexander M0053		• Pôle de Biologie - Laboratoire de Parasitologie et de Mycologie médicale / PTM HUS	45.02 Parasitologie et mycologie
Mme PITON Amélie M0094		• Pôle de Biologie - Laboratoire de Diagnostic génétique / NI IC	47.04 Génétique (option biologique)
Mme PORTER Louise M0135		• Pôle de Biologie - Service de Génétique Médicale / Hôpital de Hautepierre	47.04 Génétique (type clinique)
PREVOS I Gilles M0057		• Pôle de Biologie - Institut (Laboratoire) de Bactériologie / PTM HUS et Faculté	45.01 Option : <b>Bactériologie</b> -virologie (biologique)
Mme RADOSAVLJEVIC Mirjana M0058		• Pôle de Biologie - Laboratoire d'Immunologie biologique / Nouvel Hôpital Civil	47.03 Immunologie (option biologique)
Mme REIX Nathalie M0095		• Pôle de Biologie - Laboratoire de Biochimie et Biologie moléculaire / NHC - Service de Chirurgie / ICANS	43.01 Biophysique et médecine nucléaire
ROGUE Patrick (cf. A2) M0060		• Pôle de Biologie - Laboratoire de Biochimie Générale et Spécialisée / NHC	44.01 Biochimie et biologie moléculaire (option biologique)
Mme ROLLAND Delphine M0121		• Pôle de Biologie - Laboratoire d'Hématologie biologique / Hautepierre	47.01 <b>Hématologie</b> ; transfusion (type mixte : Hématologie)
ROMAIN Benoît M0061		• Pôle des Pathologies digestives, hépatiques et de la transplantation - Service de Chirurgie générale et Digestive / HP	53.02 Chirurgie générale
Mme RUPPERT Elisabeth M0106		• Pôle Tête et Cou - Service de Neurologie - Unité de Pathologie du Sommeil / Hôpital Civil	49.01 Neurologie
Mme SABOU Alina M0096		• Pôle de Biologie - Laboratoire de Parasitologie et de Mycologie médicale / PTM HUS - Institut de Parasitologie / Faculté de Médecine	45.02 Parasitologie et mycologie (option biologique)
Mme SCHEIDECKER Sophie M0122		• Pôle de Biologie - Laboratoire de Diagnostic génétique / Nouvel Hôpital Civil	47.04 Génétique
SCHRAMM Frédéric M0068		• Pôle de Biologie - Institut (Laboratoire) de Bactériologie / PTM HUS et Faculté	45.01 Option : <b>Bactériologie</b> -virologie (biologique)

NOM et Prénoms	CS*	Services Hospitaliers ou Institut / Localisation	Sous-section du Conseil National des Universités
Mme SOLIS Morgane M0123		• Pôle de Biologie - Laboratoire de Virologie / Hôpital de Haute-pierre	45.01 <b>Bactériologie-Virologie</b> ; hygiène hospitalière Option : Bactériologie-Virologie
Mme SORDET Christelle M0069		• Pôle de Médecine Interne, Rhumatologie, Nutrition, Endocrinologie, Diabétologie (MIRNED) - Service de Rhumatologie / Hôpital de Haute-pierre	50.01 Rhumatologie
TALHA Samy M0070		• Pôle de Pathologie thoracique - Service de Physiologie et explorations fonctionnelles / NHC	44.02 Physiologie (option clinique)
Mme TALON Isabelle M0039		• Pôle médico-chirurgical de Pédiatrie - Service de Chirurgie Pédiatrique / Hôpital Haute-pierre	54.02 Chirurgie infantile
TELETIN Marius M0071		• Pôle de Biologie - Service de Biologie de la Reproduction / CMCO Schilligheim	54.05 Biologie et médecine du développement et de la reproduction (option biologique)
VALLAT Laurent M0074		• Pôle de Biologie - Laboratoire d'Immunologie Biologique - Hôpital de Haute-pierre	47.01 <b>Hématologie</b> ; Transfusion Option Hématologie Biologique
Mme VELAY-RUSCH Aurélie M0128		• Pôle de Biologie - Laboratoire de Virologie / Hôpital Civil	45.01 <b>Bactériologie-Virologie</b> ; Hygiène Hospitalière Option Bactériologie-Virologie biologique
Mme VILLARD Odile M0076		• Pôle de Biologie - Labo. de Parasitologie et de Mycologie médicale / PTM HUS et Fac	45.02 Parasitologie et mycologie (option biologique)
Mme WOLF Michèle M0010		• Chargé de mission - Administration générale - Direction de la Qualité / Hôpital Civil	48.03 Option : Pharmacologie fondamentale
Mme ZALOSZYC Ariane ép. MARCANTONI M0116		• Pôle Médico-Chirurgical de Pédiatrie - Service de Pédiatrie I / Hôpital de Haute-pierre	54.01 Pédiatrie
ZOLL Joffrey M0077		• Pôle de Pathologie thoracique - Service de Physiologie et d'Explorations fonctionnelles / HC	44.02 Physiologie (option clinique)

## B2 - PROFESSEURS DES UNIVERSITES (monoappartenant)

Pr BONAH Christian	P0166	Département d'Histoire de la Médecine / Faculté de Médecine	72. Epistémologie - Histoire des sciences et des techniques
--------------------	-------	---	---

## B3 - MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES (monoappartenant)

Mr KESSEL Nils		Département d'Histoire de la Médecine / Faculté de Médecine	72. Epistémologie - Histoire des Sciences et des techniques
Mr LANDRE Lionel		ICUBE-UMR 7357 - Equipe IMIS / Faculté de Médecine	69. Neurosciences
Mme THOMAS Marion		Département d'Histoire de la Médecine / Faculté de Médecine	72. Epistémologie - Histoire des Sciences et des techniques
Mme SCARFONE Marianna	M0082	Département d'Histoire de la Médecine / Faculté de Médecine	72. Epistémologie - Histoire des Sciences et des techniques

---

**C - ENSEIGNANTS ASSOCIES DE MEDECINE GENERALE**  
**C1 - PROFESSEURS ASSOCIES DES UNIVERSITES DE M. G. (mi-temps)**

Pr Ass. GRIES Jean-Luc	M0084	Médecine générale (01.09.2017)
Pr GUILLOU Philippe	M0089	Médecine générale (01.11.2013 au 31.08.2016)
Pr HILD Philippe	M0090	Médecine générale (01.11.2013 au 31.08.2016)
Dr ROUGERIE Fabien	M0097	Médecine générale (01.09.2014 au 31.08.2017)

---

**C2 - MAITRE DE CONFERENCES DES UNIVERSITES DE MEDECINE GENERALE - TITULAIRE**

Dre CHAMBE Juliette	M0108	53.03 Médecine générale (01.09.2015)
Dr LORENZO Mathieu		

---

**C3 - MAITRES DE CONFERENCES ASSOCIES DES UNIVERSITES DE M. G. (mi-temps)**

Dre BREITWILLER-DUMAS Claire		Médecine générale (01.09.2016 au 31.08.2019)
Dre GROS-BERTHOU Anne	M0109	Médecine générale (01.09.2015 au 31.08.2018)
Dre SANSELME Anne-Elisabeth		Médecine générale
Dr SCHMITT Yannick		Médecine générale

---

**D - ENSEIGNANTS DE LANGUES ETRANGERES**  
**D1 - PROFESSEUR AGREGE, PRAG et PRCE DE LANGUES**

Mme ACKER-KESSLER Pia	M0085	Professeure certifiée d'Anglais (depuis 01.09.03)
Mme CANDAS Peggy	M0086	Professeure agrégée d'Anglais (depuis le 01.09.99)
Mme SIEBENBOUR Marie-Noëlle	M0087	Professeure certifiée d'Allemand (depuis 01.09.11)
Mme JUNGER Nicole	M0088	Professeure certifiée d'Anglais (depuis 01.09.09)
Mme MARTEN Susanne	M0098	Professeure certifiée d'Allemand (depuis 01.09.14)

---

**E - PRATICIENS HOSPITALIERS - CHEFS DE SERVICE NON UNIVERSITAIRES**

Dr ASTRUC Dominique	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pôle médico-chirurgical de Pédiatrie</li> <li>- Service de Réanimation pédiatrique spécialisée et de surveillance continue / Hôpital de Hautepierre</li> </ul>
Dr DE MARCHI Martin	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pôle Oncologie médico-chirurgicale et d'Hématologie</li> <li>- Service d'Oncologie Médicale / ICANS</li> </ul>
Mme Dre GERARD Bénédicte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pôle de Biologie</li> <li>- Laboratoire de Diagnostic Génétique / Nouvel Hôpital Civil</li> </ul>
Mme Dre GOURIEUX Bénédicte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pôle de Pharmacie-pharmacologie</li> <li>- Service de Pharmacie-Stérilisation / Nouvel Hôpital Civil</li> </ul>
Dr KARCHER Patrick	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pôle de Gériatrie</li> <li>- Service de Soins de suite de Longue Durée et d'hébergement gériatrique / EHPAD / Hôpital de la Robertsau</li> </ul>
Mme Dre LALLEMAN Lucie	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pôle Urgences - SAMU67 - Médecine Intensive et Réanimation</li> <li>- Permanence d'accès aux soins de santé - La Boussole (PASS)</li> </ul>
Dr LEFEBVRE Nicolas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pôle de Spécialités Médicales - Ophtalmologie - Hygiène (SMO)</li> <li>- Service des Maladies Infectieuses et Tropicales / Nouvel Hôpital Civil</li> </ul>
Mme Dre LICHTBLAU Isabelle	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pôle de Biologie</li> <li>- Laboratoire de biologie de la reproduction / CMCO de Schiltigheim</li> </ul>
Mme Dre MARTIN-HUNYADI Catherine	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pôle de Gériatrie</li> <li>- Secteur Evaluation / Hôpital de la Robertsau</li> </ul>
Dr NISAND Gabriel	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pôle de Santé Publique et Santé au travail</li> <li>- Service de Santé Publique - DIM / Hôpital Civil</li> </ul>
Mme Dre PETIT Fiore	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pôle de Spécialités Médicales - Ophtalmologie - Hygiène (SMO)</li> <li>- UCSA</li> </ul>
Dr PIRRELLO Olivier	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pôle de Gynécologie et d'Obstétrique</li> <li>- Service de Gynécologie-Obstétrique / CMCO</li> </ul>
Dr REY David	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pôle Spécialités médicales - Ophtalmologie / SMO</li> <li>- «Le trait d'union» - Centre de soins de l'infection par le VIH / Nouvel Hôpital Civil</li> </ul>
Mme Dre RONDE OUSTEAU Cécile	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pôle Locomax</li> <li>- Service de Chirurgie Septique / Hôpital de Hautepierre</li> </ul>
Mme Dre RONGIERES Catherine	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pôle de Gynécologie et d'Obstétrique</li> <li>- Centre Clinico Biologique d'AMP / CMCO</li> </ul>
Dr TCHOMAKOV Dimitar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pôle Médico-Chirurgical de Pédiatrie</li> <li>- Service des Urgences Médico-Chirurgicales pédiatriques / Hôpital de Hautepierre</li> </ul>
Mme Dre WEISS Anne	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pôle Urgences - SAMU67 - Médecine Intensive et Réanimation</li> <li>- SAMU</li> </ul>

---

---

## F1 - PROFESSEURS ÉMÉRITES

- o **de droit et à vie (membre de l'Institut)**
  - CHAMBON Pierre (Biochimie et biologie moléculaire)
  - MANDEL Jean-Louis (Génétique et biologie moléculaire et cellulaire)
- o **pour trois ans (1er septembre 2018 au 31 août 2021)**
  - Mme DANION-GRILLIAT Anne (Pédopsychiatrie, addictologie)
- o **pour trois ans (1er avril 2019 au 31 mars 2022)**
  - Mme STEIB Annick (Anesthésie, Réanimation chirurgicale)
- o **pour trois ans (1er septembre 2019 au 31 août 2022)**
  - DUFOUR Patrick (Cancérologie clinique)
  - NISAND Israël (Gynécologie-obstétrique)
  - PINGET Michel (Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques)
  - Mme QUOIX Elisabeth (Pneumologie)
- o **pour trois ans (1er septembre 2020 au 31 août 2023)**
  - DANION Jean-Marie (Psychiatrie)
  - KEMPF Jean-François (Chirurgie orthopédique et de la main)
  - KOPFERSCHMITT Jacques (Urgences médico-chirurgicales Adultes)

---

## F2 - PROFESSEUR des UNIVERSITES ASSOCIE (mi-temps)

M. SOLER Luc                      CNU-31                      IRCAD (01.09.2009 - 30.09.2012 / renouvelé 01.10.2012-30.09.2015-30.09.2021)

---

## F3 - PROFESSEURS CONVENTIONNÉS\* DE L'UNIVERSITE

Pr CHARRON Dominique	(2019-2020)
Pr KINTZ Pascal	(2019-2020)
Pr LAND Walter G.	(2019-2020)
Pr MAHE Antoine	(2019-2020)
Pr MASTELLI Antoine	(2019-2020)
Pr REIS Jacques	(2019-2020)
Pré RONGIERES Catherine	(2019-2020)

(\* 4 années au maximum)

---

## G1 - PROFESSEURS HONORAIRES

ADLOFF Michel (Chirurgie digestive) / 01.09.94	KUNTZMANN Francis (Gériatrie) / 01.09.07
BABIN Serge (Orthopédie et Traumatologie) / 01.09.01	KURTZ Daniel (Neurologie) / 01.09.98
BAREISS Pierre (Cardiologie) / 01.09.12	LANG Gabriel (Orthopédie et traumatologie) / 01.10.98
BATZENSCHLAGER André (Anatomie Pathologique) / 01.10.95	LANG Jean-Marie (Hématologie clinique) / 01.09.11
BAUMANN René (Hépatogastro-entérologie) / 01.09.10	LANGER Bruno (Gynécologie) / 01.11.19
BERGERAT Jean-Pierre (Cancérologie) / 01.01.16	LEVY Jean-Marc (Pédiatrie) / 01.10.95
BERTHEL Marc (Gériatrie) / 01.09.18	LONSDORFER Jean (Physiologie) / 01.09.10
BIENTZ Michel (Hygiène Hospitalière) / 01.09.04	LUTZ Patrick (Pédiatrie) / 01.09.16
BLICKLE Jean-Frédéric (Médecine Interne) / 15.10.17	MAILLOT Claude (Anatomie normale) / 01.09.03
BLOCH Pierre (Radiologie) / 01.10.95	MAITRE Michel (Biochimie et biol. moléculaire) / 01.09.13
BOEHM-BURGER Nelly (Histologie) / 01.09.20	MANDEL Jean-Louis (Génétique) / 01.09.16
BOURJAT Pierre (Radiologie) / 01.09.03	MANGIN Patrice (Médecine Légale) / 01.12.14
BOUSQUET Pascal (Pharmacologie) / 01.09.19	MANTZ Jean-Marie (Réanimation médicale) / 01.10.94
BRECHENMACHER Claude (Cardiologie) / 01.07.99	MARESCAUX Christian (Neurologie) / 01.09.19
BRETTES Jean-Philippe (Gynécologie-Obstétrique) / 01.09.10	MARESCAUX Jacques (Chirurgie digestive) / 01.09.16
BROGARD Jean-Marie (Médecine interne) / 01.09.02	MARK Jean-Joseph (Biochimie et biologie cellulaire) / 01.09.99
BURGHARD Guy (Pneumologie) / 01.10.86	MESSER Jean (Pédiatrie) / 01.09.07
BURSZTEJN Claude (Pédopsychiatrie) / 01.09.18	MEYER Christian (Chirurgie générale) / 01.09.13
CANTINEAU Alain (Médecine et Santé au travail) / 01.09.15	MEYER Pierre (Biostatistiques, informatique méd.) / 01.09.10
CAZENAVE Jean-Pierre (Hématologie) / 01.09.15	MINCK Raymond (Bactériologie) / 01.10.93
CHAMPY Maxime (Stomatologie) / 01.10.95	MONTEIL Henri (Bactériologie) / 01.09.11
CHAUVIN Michel (Cardiologie) / 01.09.18	MORAND Georges (Chirurgie thoracique) / 01.09.09
CHELLY Jameleddine (Diagnostic génétique) / 01.09.20	MOSSARD Jean-Marie (Cardiologie) / 01.09.09
CINQUALBRE Jacques (Chirurgie générale) / 01.10.12	OUDET Pierre (Biologie cellulaire) / 01.09.13
CLAVERT Jean-Michel (Chirurgie infantile) / 31.10.16	PASQUALI Jean-Louis (Immunologie clinique) / 01.09.15
COLLARD Maurice (Neurologie) / 01.09.00	PATRIS Michel (Psychiatrie) / 01.09.15
CONRAUX Claude (Oto-Rhino-Laryngologie) / 01.09.98	Mme PAULI Gabrielle (Pneumologie) / 01.09.11
CONSTANTINESCO André (Biophysique et médecine nucléaire) / 01.09.11	PINGET Michel (Endocrinologie) / 01.09.19
DIETEMANN Jean-Louis (Radiologie) / 01.09.17	POTTECHER Thierry (Anesthésie-Réanimation) / 01.09.18
DOFFOEL Michel (Gastroentérologie) / 01.09.17	REYS Philippe (Chirurgie générale) / 01.09.98
DUCLOS Bernard (Hépatogastro-Hépatologie) / 01.09.19	RITTER Jean (Gynécologie-Obstétrique) / 01.09.02
DUPEYRON Jean-Pierre (Anesthésiologie-Réa.Chir.) / 01.09.13	RUMPLER Yves (Biol. développement) / 01.09.10
EISENMANN Bernard (Chirurgie cardio-vasculaire) / 01.04.10	SANDNER Guy (Physiologie) / 01.09.14
FABRE Michel (Cytologie et histologie) / 01.09.02	SAUDER Philippe (Réanimation médicale) / 01.09.20
FISCHBACH Michel (Pédiatrie) / 01.10.16	SAUVAGE Paul (Chirurgie infantile) / 01.09.04
FLAMENT Jacques (Ophtalmologie) / 01.09.09	SCHAFF Georges (Physiologie) / 01.10.95
GAY Gérard (Hépatogastro-entérologie) / 01.09.13	SCHLAEDER Guy (Gynécologie-Obstétrique) / 01.09.01
GERLINGER Pierre (Biol. de la Reproduction) / 01.09.04	SCHLIENGER Jean-Louis (Médecine Interne) / 01.08.11
GRENIER Jacques (Chirurgie digestive) / 01.09.97	SCHRAUB Simon (Radiothérapie) / 01.09.12
GROSSHANS Edouard (Dermatologie) / 01.09.03	SCHWARTZ Jean (Pharmacologie) / 01.10.87
GRÜCKER Daniel (Biophysique) / 01.09.18	SICK Henri (Anatomie Normale) / 01.09.06
GUT Jean-Pierre (Virologie) / 01.09.14	STIERLE Jean-Luc (ORL) / 01.09.10
HASSELMANN Michel (Réanimation médicale) / 01.09.18	STOLL Claude (Génétique) / 01.09.09
HAUPTMANN Georges (Hématologie biologique) / 01.09.06	STOLL-KELLER Françoise (Virologie) / 01.09.15
HEID Ernest (Dermatologie) / 01.09.04	STORCK Daniel (Médecine interne) / 01.09.03
IMBS Jean-Louis (Pharmacologie) / 01.09.09	TEMPE Jean-Daniel (Réanimation médicale) / 01.09.06
IMLER Marc (Médecine interne) / 01.09.98	TONGIO Jean (Radiologie) / 01.09.02
JACQMIN Didier (Urologie) / 09.08.17	TREISSER Alain (Gynécologie-Obstétrique) / 24.03.08
JAECK Daniel (Chirurgie générale) / 01.09.11	VAUTRAVERS Philippe (Médecine physique et réadaptation) / 01.09.16
JAEGER Jean-Henri (Chirurgie orthopédique) / 01.09.11	VETTER Jean-Marie (Anatomie pathologique) / 01.09.13
JESEL Michel (Médecine physique et réadaptation) / 01.09.04	VINCENDON Guy (Biochimie) / 01.09.08
KAHN Jean-Luc (Anatomie) / 01.09.18	WALTER Paul (Anatomie Pathologique) / 01.09.09
KEHR Pierre (Chirurgie orthopédique) / 01.09.06	WEITZENBLUM Emmanuel (Pneumologie) / 01.09.11
KEMPF Jules (Biologie cellulaire) / 01.10.95	WIHLM Jean-Marie (Chirurgie thoracique) / 01.09.13
KREMER Michel / 01.05.98	WILK Astrid (Chirurgie maxillo-faciale) / 01.09.15
KRETZ Jean-Georges (Chirurgie vasculaire) / 01.09.18	WILLARD Daniel (Pédiatrie) / 01.09.96
KRIEGER Jean (Neurologie) / 01.01.07	WOLFRAM-GABEL Renée (Anatomie) / 01.09.96
KUNTZ Jean-Louis (Rhumatologie) / 01.09.08	

### Légende des adresses :

**FAC** : Faculté de Médecine : 4, rue Kirschleger - F - 67085 Strasbourg Cedex - Tél. : 03.68.85.35.20 - Fax : 03.68.85.35.18 ou 03.68.85.34.67

### HOPITAUX UNIVERSITAIRES DE STRASBOURG (HUS) :

- NHC : **Nouvel Hôpital Civil** : 1, place de l'Hôpital - BP 426 - F - 67091 Strasbourg Cedex - Tél. : 03 69 55 07 08

- HC : **Hôpital Civil** : 1, Place de l'Hôpital - B.P. 426 - F - 67091 Strasbourg Cedex - Tél. : 03.88.11.67.68

- HP : **Hôpital de Hautepierre** : Avenue Mollère - B.P. 49 - F - 67098 Strasbourg Cedex - Tél. : 03.88.12.80.00

- **Hôpital de La Robertsau** : 83, rue Himmerich - F - 67015 Strasbourg Cedex - Tél. : 03.88.11.55.11

- **Hôpital de l'Elsau** : 15, rue Cranach - 67200 Strasbourg - Tél. : 03.88.11.67.68

**CMCO** - Centre Médico-Chirurgical et Obstétrical : 19, rue Louis Pasteur - BP 120 - Schiltigheim - F - 67303 Strasbourg Cedex - Tél. : 03.88.62.83.00

**C.C.O.M.** - Centre de Chirurgie Orthopédique et de la Main : 10, avenue Baumann - B.P. 96 - F - 67403 Illkirch Graffenstaden Cedex - Tél. : 03.88.55.20.00

**E.F.S.** : Etablissement Français du Sang - Alsace : 10, rue Spielmann - BP N°36 - 67065 Strasbourg Cedex - Tél. : 03.88.21.25.25

**Centre Régional de Lutte contre le cancer "Paul Strauss"** - 3, rue de la Porte de l'Hôpital - F-67085 Strasbourg Cedex - Tél. : 03.88.25.24.24

**IURC** - Institut Universitaire de Réadaptation Clemenceau - CHU de Strasbourg et UGECAM (Union pour la Gestion des Etablissements des Caisses d'Assurance Maladie) - 45 boulevard Clemenceau - 67082 Strasbourg Cedex

## RESPONSABLE DE LA BIBLIOTHÈQUE DE MÉDECINE ET ODONTOLOGIE ET DU DÉPARTEMENT SCIENCES, TECHNIQUES ET SANTÉ DU SERVICE COMMUN DE DOCUMENTATION DE L'UNIVERSITÉ DE STRASBOURG

Monsieur Olivier DIVE, Conservateur

LA FACULTÉ A ARRÊTÉ QUE LES OPINIONS ÉMISES DANS LES DISSERTATIONS  
QUI LUI SONT PRÉSENTÉES DOIVENT ÊTRE CONSIDÉRÉES COMME PROPRES  
À LEURS AUTEURS ET QU'ELLE N'ENTEND NI LES APPROUVER, NI LES IMPROUVER

## SERMENT D'HIPPOCRATE

En présence des maîtres de cette école, de mes chers condisciples, je promets et je jure au nom de l'Être suprême d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité dans l'exercice de la médecine. Je donnerai mes soins gratuits à l'indigent et n'exigerai jamais un salaire au-dessus de mon travail.

Admise à l'intérieur des maisons, mes yeux ne verront pas ce qui s'y passe.

Ma langue taira les secrets qui me seront confiés et mon état ne servira pas à corrompre les mœurs ni à favoriser les crimes.

Respectueuse et reconnaissante envers mes maîtres je rendrai à leurs enfants l'instruction que j'ai reçue de leurs pères.

Que les hommes m'accordent leur estime si je suis restée fidèle à mes promesses. Que je sois couverte d'opprobre et méprisée de mes confrères si j'y manque.

## REMERCIEMENTS

Au cours de mes études, j'ai reçu l'aide, le soutien et la confiance de nombreuses personnes, j'aimerais profiter de la rédaction de cette thèse pour les remercier.

Tout d'abord, j'adresse tous mes remerciements à notre Président de thèse, Monsieur le Professeur Vincent Castelain pour avoir accepté de présider cette thèse. Merci pour votre disponibilité et pour l'intérêt que vous avez porté à ce sujet.

Je tiens à remercier notre juge, Monsieur le Professeur Pascal Bilbault. Je vous exprime toute ma gratitude pour votre encadrement et votre soutien tout au long de ce cursus.

Je remercie chaleureusement notre juge et directeur de thèse, Monsieur le Docteur Sébastien Harscoat de m'avoir encadrée et motivée tout au long de ce projet. Un immense merci pour tes conseils avisés, ta disponibilité et ta réactivité.

Un grand merci à mes parents, qui ont toujours été là pour moi, m'ont soutenue dans mes choix et réconfortée dans les moments difficiles. Je vous suis extrêmement reconnaissante d'avoir cru en moi, merci pour tous vos conseils et toutes vos petites attentions.

Je tiens à remercier toute ma famille, qui m'a soutenue de près ou de loin pendant tout mon cursus.

J'aimerais également remercier tous mes amis, que je côtoie depuis de nombreuses années, et particulièrement la famille Gangloff pour toutes ces parenthèses de détente et de bonne humeur.

Merci à l'ensemble de mes camarades de promotion pour votre solidarité et les moments de convivialité partagés.

## TABLE DES MATIERES

LISTE DES ABREVIATIONS .....	18
LISTE DES ILLUSTRATIONS .....	20
SOMMAIRE DES TABLEAUX .....	23
INTRODUCTION .....	24
PARTIE 1 : GENERALITES.....	26
I.    PHYSIOLOGIE RESPIRATOIRE .....	26
A.    Généralités .....	26
a.    Ventilation et notion d'espace mort .....	26
b.    Diffusion alvéolo-capillaire des gaz .....	28
B.    Rapports ventilation/perfusion .....	29
a.    Variations physiologiques.....	29
c.    Inégalités du rapport ventilation/perfusion.....	31
II.    CAPNOGRAPHIE.....	33
A.    Définitions .....	33
B.    Le CO <sub>2</sub> .....	33
C.    Techniques de capnographie .....	35
D.    Capnogramme « normal ».....	38
E.    Interprétation et principales utilisations.....	40
a.    Surveillance du patient ventilé.....	40
b.    Arrêt cardiaque.....	42
c.    Embolie pulmonaire .....	42
d.    Troubles ventilatoires obstructifs.....	43
e.    Autres utilisations de la capnographie décrites dans la littérature .....	44
III.    GRADIENT PaCO <sub>2</sub> - PETCO <sub>2</sub> .....	45
A.    Gradient augmenté par anomalies du rapport ventilation/perfusion .....	45
a.    Augmentation de l'espace mort alvéolaire .....	45
b.    Augmentation du shunt.....	47
B.    Absence de vidange des alvéoles .....	48
C.    Gradient négatif .....	48
PARTIE 2 : ETUDE EXPERIMENTALE.....	50
I.    MATERIELS ET METHODES .....	50
A.    TYPE D'ETUDE.....	50

B.	OBJECTIFS ET CRITERES D'EVALUATION.....	50
a.	Objectif et critère de jugement principal.....	50
b.	Objectifs et critères de jugement secondaires.....	51
C.	POPULATION ETUDIEE.....	52
a.	Critères d'inclusion.....	52
b.	Critères de non inclusion.....	53
D.	CONSIDERATIONS ETHIQUES.....	53
E.	DEROULEMENT PRATIQUE DE L'ESSAI.....	54
a.	Modalités de recrutement : lieu et période d'étude.....	54
b.	Modalités d'information et de recueil du consentement.....	54
c.	Chronologie des actes.....	55
d.	Actes pratiqués.....	55
F.	RECUEIL DE DONNEES.....	56
G.	ANALYSE STATISTIQUE.....	57
II.	RESULTATS.....	58
A.	Description de la population étudiée.....	58
a.	Sexe et âge.....	58
b.	Caractéristiques anthropométriques.....	59
c.	Constantes vitales.....	60
B.	Résultats des gazométries artérielles.....	62
C.	Pathologies retrouvées.....	63
D.	Valeur d'ETCO <sub>2</sub> .....	65
E.	Gradient PaCO <sub>2</sub> -PETCO <sub>2</sub> .....	67
F.	Autres données de l'analyse des courbes et du gradient.....	71
a.	Variabilité de la valeur d'ETCO <sub>2</sub> .....	71
b.	Rapport PaO <sub>2</sub> /FiO <sub>2</sub> et gradient PaCO <sub>2</sub> -PETCO <sub>2</sub> .....	72
c.	Déformation de la courbe et degré d'obstruction.....	74
d.	Aire sous la courbe du capnogramme.....	75
III.	DISCUSSION.....	78
A.	Analyse des résultats et comparaison par rapport à la littérature.....	78
B.	Forces et faiblesses.....	83
C.	Perspectives.....	85
	CONCLUSION.....	86
	ANNEXES.....	89
	BIBLIOGRAPHIE.....	90

## LISTE DES ABREVIATIONS

BPCO : BronchoPneumopathie Chronique Obstructive

CO<sub>2</sub> : Dioxyde de carbone

CRF : Capacité Résiduelle Fonctionnelle

ETCO<sub>2</sub> : End Tidal CO<sub>2</sub>

FC : Fréquence Cardiaque

HbO<sub>2</sub> : Oxyhémoglobine

IMC : Indice de Masse Corporelle

O<sub>2</sub> : Dioxygène

PACO<sub>2</sub> : Pression partielle alvéolaire en dioxyde de carbone

PaCO<sub>2</sub> : Pression partielle artérielle en dioxyde de carbone

PAD : Pression Artérielle Diastolique

PAM : Pression Artérielle Moyenne

PAO<sub>2</sub> : Pression partielle alvéolaire en O<sub>2</sub>

PaO<sub>2</sub> : Pression partielle artérielle en O<sub>2</sub>

PAS : Pression Artérielle Systolique

PETCO<sub>2</sub> : Pression partielle en dioxyde de carbone en fin d'expiration

PvCO<sub>2</sub> : Pression partielle veineuse en dioxyde de carbone

PvO<sub>2</sub> : Pression partielle veineuse en O<sub>2</sub>

Q1 : 1<sup>er</sup> quartile

Q3 : 3<sup>ème</sup> quartile

RCP : Réanimation Cardio-Pulmonaire

ROSC : Return Of Spontaneous Circulation

SaO<sub>2</sub> : Saturation artérielle en O<sub>2</sub>

SDRA : Syndrome de Détresse Respiratoire Aigue

SpO<sub>2</sub> : Saturation pulsée en O<sub>2</sub>

V/Q : Rapport ventilation / perfusion

VA : Volume alvéolaire

$\dot{V}CO_2$  : Production de CO<sub>2</sub>

VD : Espace mort

VNI : Ventilation Non-Invasive

$\dot{V}O_2$  : Consommation d'O<sub>2</sub>

VT : Volume courant

## LISTE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Espace mort et volume alvéolaire .....	27
Figure 2 : Zones de West (25) .....	30
Figure 3 : Anomalies du rapport ventilation/perfusion (24) .....	31
Figure 4 : Echanges d'O <sub>2</sub> et de CO <sub>2</sub> dans les capillaires pulmonaires (27) .....	34
Figure 5 : Capnomètre de type « mainstream » (A) et de type « sidestream » (B) (33) .....	36
Figure 6 : Principe de la méthode « microstream » .....	37
Figure 7 : Aspect « normal » d'un capnogramme .....	39
Figure 8 : Capnographie en cas d'intubation œsophagienne .....	41
Figure 9 : Capnographie en cas de déconnexion du ventilateur ou obstruction de sonde d'intubation .....	41
Figure 10 : Capnographie témoignant d'un ROSC .....	42
Figure 11 : Déformation du capnogramme en cas de trouble ventilatoire obstructif .....	43
Figure 12 : Diminution aiguë de la perfusion alvéolaire - exemple d'effet espace mort (4) .	46
Figure 13 : Diminution aiguë de la ventilation pulmonaire - exemple de shunt intra- pulmonaire (4) .....	47
Figure 14 : Déformation du capnogramme par vidange tardive d'alvéoles bien perfusées ..	49
Figure 15 : Analyse informatique des capnogrammes – Aspect de la courbe de capnographie chez un patient ayant réalisé quelques expirations prolongées en fin d'enregistrement .....	52
Figure 16 : Exemple de courbe de capnographie non exploitable .....	58
Figure 17 : Répartition de la population par tranches d'âge .....	59
Figure 18 : Représentation des valeurs du débit d'oxygène des patients inclus .....	61
Figure 19 : Représentation des valeurs de la PaCO <sub>2</sub> des patients inclus .....	62

Figure 20 : Valeur de la PaO <sub>2</sub> en fonction de la PaCO <sub>2</sub> .....	63
Figure 21 : Effectifs des différentes pathologies retrouvées .....	64
Figure 22 : Répartition des valeurs d'ETCO <sub>2</sub> .....	65
Figure 23 : Représentation des valeurs d'ETCO <sub>2</sub> .....	65
Figure 24 : Représentation de la valeur d'ETCO <sub>2</sub> par pathologie .....	66
Figure 25 : Répartition des valeurs du gradient PaCO <sub>2</sub> -PETCO <sub>2</sub> .....	67
Figure 26 : Gradient PaCO <sub>2</sub> -PETCO <sub>2</sub> dans les pathologies cardio-pulmonaires .....	69
Figure 27 : Répartition des valeurs du gradient PaCO <sub>2</sub> -PETCO <sub>2</sub> en fonction de la PaCO <sub>2</sub> .....	69
Figure 28 : Valeurs du gradient rapporté à la PaCO <sub>2</sub> en fonction de la PaCO <sub>2</sub> .....	70
Figure 29 : Représentation du gradient PaCO <sub>2</sub> -PETCO <sub>2</sub> chez les patients emphysémateux ..	70
Figure 30 : Représentation de la variabilité de la valeur d'ETCO <sub>2</sub> en fonction du diagnostic	72
Figure 31 : Répartition des valeurs du gradient PaCO <sub>2</sub> -PETCO <sub>2</sub> rapporté en fonction du rapport PaO <sub>2</sub> /FiO <sub>2</sub> .....	73
Figure 32 : Répartition des valeurs du gradient PaCO <sub>2</sub> -PETCO <sub>2</sub> rapporté à la PaCO <sub>2</sub> en fonction du rapport PaO <sub>2</sub> /FiO <sub>2</sub> .....	73
Figure 33 : Répartition des valeurs du ratio2 en fonction du gradient PaCO <sub>2</sub> -PETCO <sub>2</sub> .....	74
Figure 34 : Répartition des valeurs du ratio2 en fonction du gradient PaCO <sub>2</sub> -PETCO <sub>2</sub> rapporté à la PaCO <sub>2</sub> .....	75
Figure 35 : Répartition des valeurs de l'aire sous la courbe du capnogramme divisée par le temps en fonction du gradient PaCO <sub>2</sub> -PETCO <sub>2</sub> .....	76
Figure 36 : Répartition des valeurs de l'aire sous la courbe du capnogramme divisée par le temps en fonction du gradient PaCO <sub>2</sub> -PETCO <sub>2</sub> rapporté à la PaCO <sub>2</sub> .....	76
Figure 37 : Représentation du rapport gradient/PaCO <sub>2</sub> en fonction du rapport gradient PaCO <sub>2</sub> -PETCO <sub>2</sub> sur aire_temps .....	77
Figure 38 : Exemple de courbe de capnographie obstructive .....	79
Figure 39 : Exemple de courbe de capnographie d'un patient ayant une embolie pulmonaire proximale bilatérale .....	80

Figure 40 : Exemple de courbe de capnographie traduisant une hypoventilation puis modification après expirations prolongées .....	81
Figure 41 : Aspect de la courbe de capnographie en cas d'expiration prolongée avec gradient $\text{PaCO}_2\text{-PETCO}_2$ négatif .....	82

## SOMMAIRE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Age de la population .....	58
Tableau 2 : Poids, taille et IMC de la population .....	60
Tableau 3 : Caractéristiques des paramètres vitaux des patients .....	61
Tableau 4 : Caractéristiques des paramètres de gazométrie artérielle .....	62
Tableau 5 : Effectifs des différentes pathologies retrouvées .....	64
Tableau 6 : Caractéristiques des valeurs d'ETCO <sub>2</sub> .....	65
Tableau 7 : Caractéristiques des valeurs d'ETCO <sub>2</sub> dans les pathologies cardio-pulmonaires.	66
Tableau 8 : Caractéristiques du gradient PaCO <sub>2</sub> -PETCO <sub>2</sub> de la population .....	67
Tableau 9 : Valeur et caractéristiques du gradient PaCO <sub>2</sub> -PETCO <sub>2</sub> dans les pathologies cardio-pulmonaires .....	68
Tableau 10 : Caractéristiques du gradient PaCO <sub>2</sub> -PETCO <sub>2</sub> chez les emphysémateux .....	71
Tableau 11 : Caractéristiques de la déviation standard en fonction de la pathologie .....	71

## INTRODUCTION

La dyspnée est un motif fréquent de consultation aux urgences, elle est décrite comme une expérience subjective de gêne respiratoire. Ses causes sont variées et de gravité variable, allant de l'attaque de panique à l'insuffisance cardiaque aiguë. Les principales étiologies sont cardio-pulmonaires et souvent intriquées : insuffisance cardiaque aiguë, exacerbation d'asthme, décompensation de BPCO, broncho-pneumopathies, embolie pulmonaire ... (1). La dyspnée aiguë présente donc un enjeu diagnostique majeur avec l'importance d'instaurer rapidement une thérapeutique adaptée.

L'anamnèse et l'examen clinique d'un patient présentant une dyspnée ont une valeur diagnostique limitée. Les modalités non invasives de surveillance et de diagnostic utilisées en pratique clinique sont limitées à l'évaluation clinique et au monitoring de la SpO<sub>2</sub> qui permet seulement d'évaluer l'oxygénation du patient. Des outils complémentaires seraient par conséquent intéressants afin de guider la prise en charge à la fois diagnostique et thérapeutique en tenant compte des mécanismes physiopathologiques en cause.

La capnométrie (et par extension la capnographie) est une technique non invasive qui donne à la fois des informations sur les statuts métabolique, cardio-vasculaire et respiratoire du patient. Le monitoring du CO<sub>2</sub> expiré est obligatoire en France pour les patients intubés dans le cadre d'une anesthésie se déroulant dans un bloc opératoire (2) mais il présente également un intérêt chez le patient non ventilé (3) (4). La capnométrie est de plus en plus utilisée chez les patients en ventilation spontanée mais reste néanmoins sous-utilisée en pratique clinique. La valeur de l'ETCO<sub>2</sub> est un reflet de la perfusion pulmonaire (et par extension du débit cardiaque), de la production de CO<sub>2</sub> et de la ventilation alvéolaire, elle est donc modifiée par

toute variation d'une de ces trois entités. Son interprétation peut par conséquent s'avérer difficile, puisque la mesure de l'ETCO<sub>2</sub> ne reflète pas toujours de manière fiable la PaCO<sub>2</sub> : le gradient PaCO<sub>2</sub>-PETCO<sub>2</sub> peut varier de manière très importante (5) (6) (7) (8).

En dehors des erreurs techniques, le gradient PaCO<sub>2</sub>-PETCO<sub>2</sub> est augmenté en cas d'anomalie du rapport ventilation/perfusion (7) (9) ou de profil respiratoire avec absence de vidange complète des alvéoles (10). Il existe une bonne corrélation entre ce gradient et le rapport VD/VT permettant ainsi une estimation rapide de l'espace mort (11) (12). En effet, de nombreuses études ont montré l'intérêt de la capnographie (13) et plus particulièrement du gradient alvéolo-artériel de CO<sub>2</sub> (14) (15) comme outil d'aide au dépistage et au diagnostic des embolies pulmonaires. La différence entre l'ETCO<sub>2</sub> et la PaCO<sub>2</sub> serait également augmentée en cas de trouble ventilatoire obstructif, pathologie fréquemment rencontrée aux urgences (16) (17). Plusieurs études suggèrent cependant que l'augmentation du gradient liée aux pathologies obstructives se normalise après expiration complète (18) (19) (20) (21) (22).

Grace à la double analyse que sont le gradient PaCO<sub>2</sub>-ETCO<sub>2</sub> et déformation de la courbe de capnographie, 3 profils semblent se distinguer :

- Gradient non augmenté
- Gradient augmenté avec profil de la courbe de capnographie de type obstructif (plateau expiratoire en en pente ascendante) en faveur d'un trouble de ventilation prédominant, avec comme pathologies attendues les pathologies obstructives (asthme et BPCO).
- Gradient augmenté sans profil obstructif (courbe de capnographie carrée en créneau) en faveur d'un trouble des rapports ventilation/perfusion, majoritairement d'une augmentation de l'espace mort physiologique, avec comme pathologies attendues l'embolie pulmonaire mais également les patients hypovolémiques.

L'objectif de cette étude expérimentale est d'évaluer l'intérêt de la mesure du gradient alvéolo-artériel en CO<sub>2</sub> dans la prise en charge de la dyspnée aux urgences.

## PARTIE 1 : GENERALITES

### I. PHYSIOLOGIE RESPIRATOIRE

#### A. Généralités

La principale fonction des poumons est d'assurer l'hématose c'est-à-dire l'oxygénation du sang veineux mêlé et l'élimination du dioxyde de carbone produit par les tissus. Ce processus se fait en 2 étapes : la ventilation permet d'abord le renouvellement de l'air au sein du système respiratoire puis les échanges de gaz à travers la membrane alvéolo-capillaire se font par diffusion.

##### *a. Ventilation et notion d'espace mort*

A chaque cycle ventilatoire, le volume de gaz mobilisé s'appelle volume courant dont l'abréviation est VT.

Les voies aériennes sont divisées en voies aériennes de conduction et zone respiratoire. Le volume des voies de conduction est d'environ 150 mL, elles ne participent pas aux échanges gazeux et correspondent à l'espace mort anatomique (23). La zone respiratoire est composée des bronchioles respiratoires et alvéoles, son volume est d'environ 2,5 à 3 L au repos chez le sujet sain. (24).

Certaines alvéoles pulmonaires ne sont pas ou mal perfusées bien que le gaz qu'elles contiennent soit renouvelé lors de chaque mouvement ventilatoire. Le volume de gaz contenu dans ces alvéoles est, lui aussi, exclu des échanges gazeux, c'est l'espace mort alvéolaire. Il vient s'ajouter à l'espace mort anatomique pour constituer l'espace mort physiologique noté VD. (25). L'espace mort physiologique est ainsi le volume de gaz qui ne participe pas aux échanges gazeux, il est quasiment égal à l'espace mort anatomique (150 mL) chez le sujet normal mais peut être augmenté dans de nombreuses affections pulmonaires.

La différence entre VD et VT est appelée « volume alvéolaire » et s'écrit VA, il correspond au volume de gaz alvéolaire qui participe aux échanges gazeux.

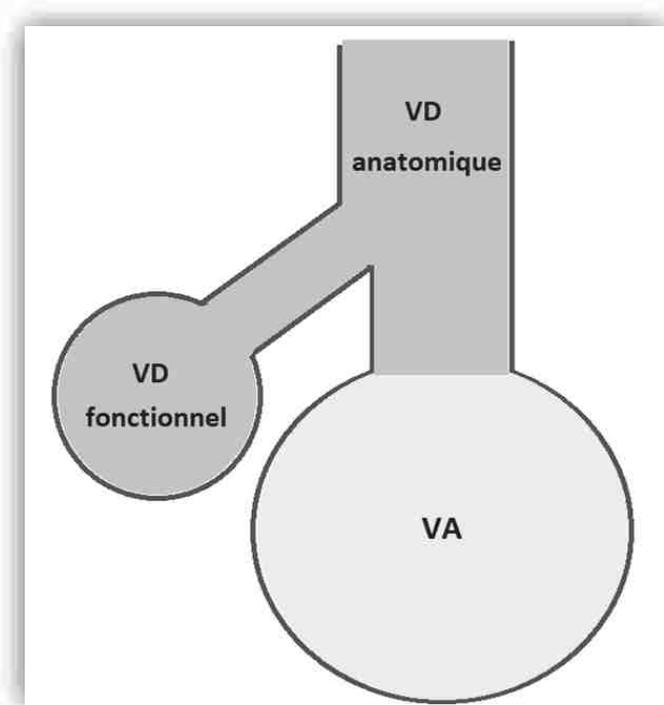


Figure 1 : Espace mort et volume alvéolaire

b. Diffusion alvéolo-capillaire des gaz

Les capillaires pulmonaires forment un réseau très dense au sein des parois alvéolaires. La barrière alvéolo-capillaire est extrêmement fine ( $< 1 \mu\text{m}$ ) et de très grande surface (environ 80 à 100  $\text{m}^2$ ), ce qui en fait une structure idéale pour les échanges par diffusion passive (25).

Les échanges par diffusion se font conformément à la loi de Fick qui stipule que la quantité de gaz qui diffuse à travers une membrane est proportionnelle à la surface de celle-ci, au gradient de pression et à une constante de diffusion propre à chaque gaz et inversement proportionnelle à son épaisseur.

Le gradient de pression de l' $\text{O}_2$  est d'environ 60 mmHg en conditions normales ( $\text{PAO}_2$  100 mmHg et  $\text{PvO}_2$  40 mmHg). Au repos, le temps de passage des globules rouges dans les capillaires pulmonaires est d'environ 0,75 s, les pressions partielles d' $\text{O}_2$  s'équilibrent de part et d'autre de la membrane ( $\text{PaO}_2 = \text{PAO}_2$ ) alors que les globules rouges n'ont parcouru qu'un tiers de la longueur du capillaire (soit environ 0,25 s). En cas d'altération de la membrane alvéolo-capillaire, une hypoxémie (baisse de la  $\text{PaO}_2$ ) apparaît dans un premier temps à l'effort (temps de passage des globules rouges dans les capillaires diminué) puis au repos lorsque la diffusion alvéolo-capillaire est très diminuée.

Le gradient de pression du  $\text{CO}_2$  entre l'alvéole et le sang veineux mêlé est plus faible ( $\text{PACO}_2$  d'environ 40 mmHg et  $\text{PvCO}_2$  d'environ 47 mmHg). Les pressions partielles s'équilibrent également alors que le globule rouge n'a parcouru qu'un tiers de la longueur du capillaire. Il est intéressant de noter que la constante de diffusion à travers la membrane alvéolocapillaire est 20 fois plus élevée pour le  $\text{CO}_2$  que pour l' $\text{O}_2$ , la diffusion du  $\text{CO}_2$  est par conséquent moins

impactée par une altération de la membrane alvéolo-capillaire malgré un gradient de pression plus faible.

## B. Rapports ventilation/perfusion

Une unité pulmonaire idéale, composée schématiquement d'une alvéole et d'un capillaire, a un rapport ventilation/perfusion égal à 1, c'est-à-dire que l'alvéole est aussi bien ventilée que perfusée. La pression partielle des gaz ( $O_2$  et  $CO_2$ ) dans le sang à la sortie du capillaire s'équilibre alors avec la pression partielle des gaz dans l'alvéole.

### a. Variations physiologiques

Il existe des différences régionales physiologiques dans les rapports ventilation/perfusion (25). Chez un sujet assis ou debout, le débit sanguin est distribué façon inégale dans le poumon lorsque le sujet est en position verticale : il est plus élevé aux bases qu'aux apex sous l'effet de la pesanteur.

Cette constatation a amené West (24) à établir une modélisation pulmonaire en 3 zones :

- Dans la zone 1 située au sommet du poumon, la pression artérielle pulmonaire des capillaires est inférieure à la pression alvéolaire. Le débit sanguin est nul par collapsus capillaire. Cette zone n'existe pas dans le poumon normal mais elle peut exister si la pression artérielle est diminuée (choc hémorragique par exemple) ou si la pression alvéolaire s'élève (ventilation en pression positive par exemple), elle correspond alors à un espace mort alvéolaire, inefficace pour les échanges gazeux.

- Dans la zone 2, plus bas dans le poumon, la pression capillaire augmente (effet hydrostatique) et dépasse la pression alvéolaire. Le débit sanguin est déterminé entre la différence entre pressions artérielle et alvéolaire.
- Dans la zone 3 qui correspond aux bases, la pression veineuse excède la pression alvéolaire et le débit est déterminé par la différence entre pressions artérielle et veineuse.

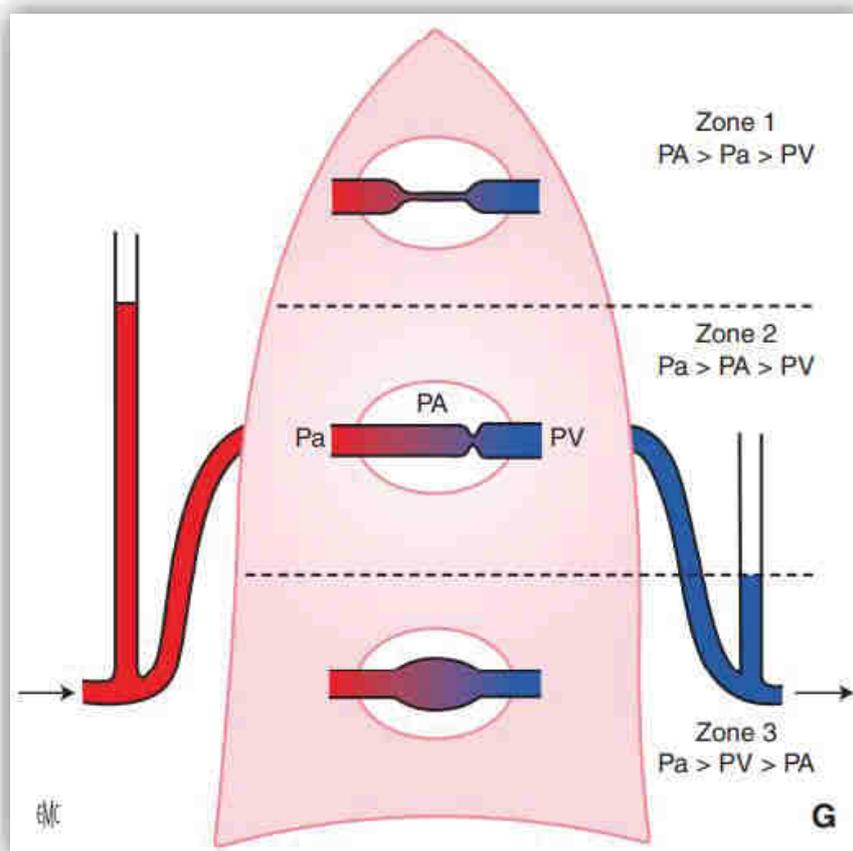


Figure 2 : Zones de West (25)

La ventilation alvéolaire est également plus importante à la base du poumon qu'à son sommet sous l'effet de la pesanteur. Cette différence entre base et sommet est cependant plus

marquée pour la perfusion de sorte que le rapport ventilation/perfusion est plus élevé au sommet qu'à la base. Ces variations régionales de ventilation/perfusion aboutissent à un ratio V/Q du poumon normal d'environ 0,8 à 0,9 (10).

Enfin, un autre phénomène physiologique, la vasoconstriction pulmonaire hypoxique, diminue le débit sanguin des zones pulmonaires mal ventilées (dont la  $PAO_2$  est inférieure à 60 mmHg). (25). Ce mécanisme d'auto-adaptation permet, dans un territoire donné, d'ajuster la perfusion alvéolaire à la ventilation et de maintenir ainsi un rapport V/Q proche de la valeur optimale.

c. Inégalités du rapport ventilation/perfusion

A partir d'une modélisation utilisant une unité pulmonaire, il est possible de décrire les 2 principales anomalies du rapport V/Q engendrées par les pathologies respiratoires. On distingue ainsi deux situations extrêmes : d'une part, l'effet shunt, lorsque la ventilation est absente et la perfusion conservée, et d'autre part l'effet espace mort, lorsque la ventilation alvéolaire est présente mais la perfusion absente (26).

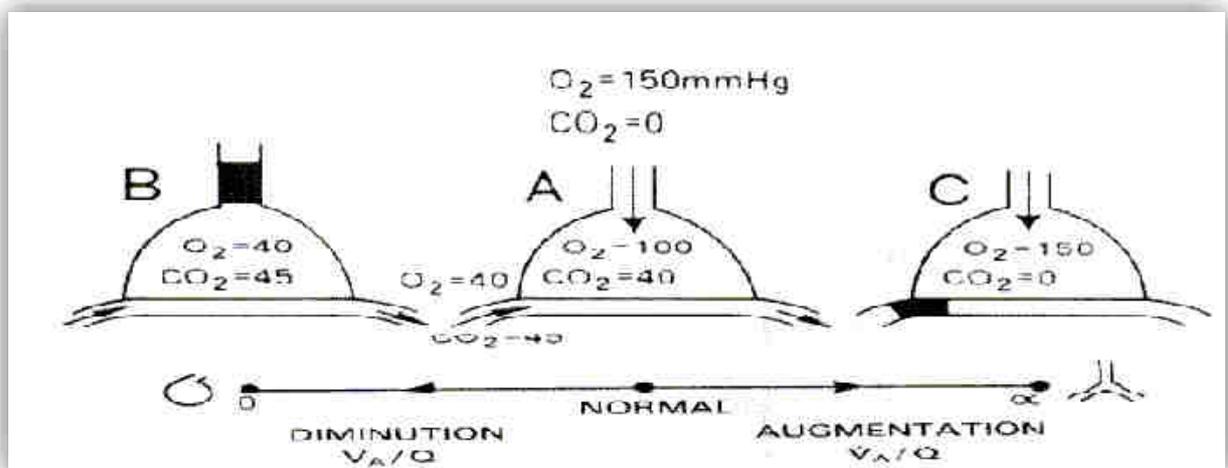


Figure 3 : Anomalies du rapport ventilation/perfusion (24)

L'espace mort (C) résulte de la diminution de la perfusion alors que l'alvéole demeure bien ventilée, le rapport V/Q est augmenté. Le volume de gaz contenu dans l'alvéoles ne participe pas aux échanges gazeux (espace mort alvéolaire décrit précédemment).

Les principales causes d'augmentation de l'espace mort alvéolaire sont l'embolie pulmonaire, le collapsus cardio-vasculaire (arrêt cardiaque, hypovolémie et états de chocs) ou encore l'emphysème avec destruction de capillaires.

L'effet shunt (B) se définit par une perfusion normale ou augmentée avec une ventilation inférieure à la normale, le rapport V/Q est abaissé. Les principales situations pourvoyeuses d'effet shunt sont les atélectasies (liées à un pneumothorax notamment) et les pathologies responsables d'un comblement alvéolaire (pneumopathies, œdème pulmonaire) ou d'une obstruction bronchique (BPCO, intubation sélective...).

## II. CAPNOGRAPHIE

### A. Définitions

La capnographie est la mesure non invasive de la pression partielle du CO<sub>2</sub> dans l'air expiré.

Un capnomètre est un moniteur de CO<sub>2</sub> affichant une valeur numérique (l'ETCO<sub>2</sub>) et un capnographe est un moniteur de CO<sub>2</sub> affichant à la fois une valeur numérique (l'ETCO<sub>2</sub>) et une courbe représentant les changements de la concentration en CO<sub>2</sub> au cours du cycle respiratoire, le capnogramme.

### B. Le CO<sub>2</sub>

La production et l'élimination du CO<sub>2</sub> sont étroitement liées à l'état métabolique, circulatoire et ventilatoire du patient.

Le CO<sub>2</sub> est produit dans toutes les cellules de l'organisme via le métabolisme cellulaire aérobie.

Il est ensuite transporté par le sang sous 3 formes principales (10) :

- 60 - 70 % sous ions bicarbonates après conversion par l'anhydrase carbonique dans les globules rouges, ( $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{H}_2\text{CO}_3 \leftrightarrow \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$ )
- 20 - 30% lié aux protéines plasmatiques (composés carbaminés), avec l'hémoglobine ayant la capacité de fixation la plus importante
- 5 - 10 % sous forme dissoute dans le plasma, reflétés par la pression partielle en CO<sub>2</sub> (PCO<sub>2</sub>)

La quantité de CO<sub>2</sub> qui peut être transportée dans le sang dépend de la saturation de l'hémoglobine en oxygène : plus la quantité d'oxyhémoglobine (HbO<sub>2</sub>) est faible, plus la

capacité de transport de  $\text{CO}_2$  du sang est importante, il s'agit de l'effet Haldane (27). Cette capacité de transport du  $\text{CO}_2$  augmentée est liée à deux phénomènes : (1) La désoxyhémoglobine peut fixer davantage de  $\text{CO}_2$  sous forme de composés carbaminés que l'oxyhémoglobine ; (2) La désoxyhémoglobine tamponne plus d'ions  $\text{H}^+$  que l'oxyhémoglobine (production de bicarbonates via l'anhydrase carbonique). L'effet Haldane favorise ainsi la prise en charge du  $\text{CO}_2$  dans le sang périphérique (présence de désoxyhémoglobine) et son relargage au niveau des alvéoles pulmonaires (via l'oxygénation de l'hémoglobine).

La totalité du  $\text{CO}_2$  est éliminée par la ventilation alvéolaire. Le sang désoxygéné qui retourne aux capillaires pulmonaires contient du  $\text{CO}_2$  dissous, du  $\text{CO}_2$  combiné à l'hémoglobine et des ions bicarbonates  $\text{HCO}_3^-$ . Les molécules dissoutes et le  $\text{CO}_2$  qui se dissocie de l'hémoglobine diffusent vers l'air alvéolaire avec une constante de diffusion environ 20 fois plus grande que celle de l'oxygène. Au même moment, la liaison de l' $\text{O}_2$  avec l'hémoglobine libère des ions hydrogènes qui vont se lier aux ions bicarbonates, libérant de l'acide carbonique ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ). Ce dernier va à nouveau se dissocier en eau +  $\text{CO}_2$  qui va lui aussi diffuser du sang vers l'air alvéolaire (27).

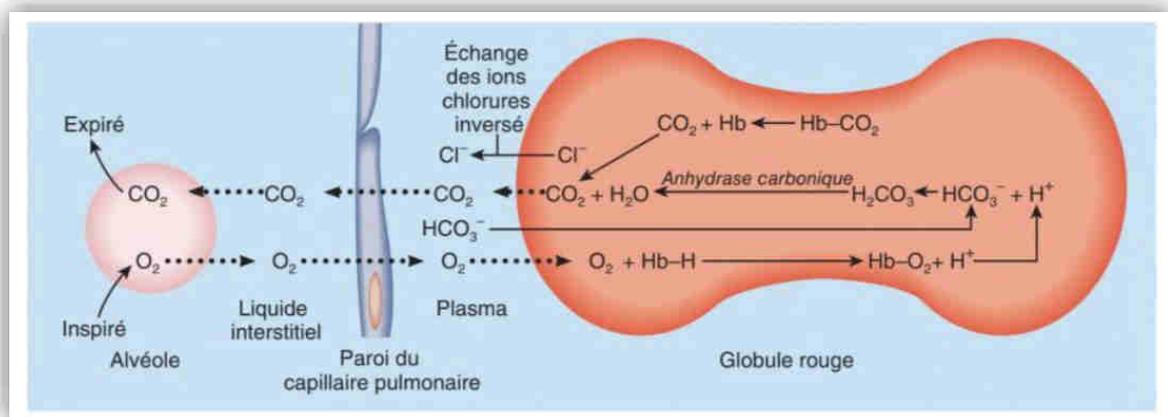


Figure 4 : Echanges d' $\text{O}_2$  et de  $\text{CO}_2$  dans les capillaires pulmonaires (27)

### C. Techniques de capnographie

Il y a de nombreuses façons de détecter le CO<sub>2</sub> expiré.

La manière la plus simple est la méthode colorimétrique qui est semi-quantitative : un détecteur (révélateur sensible au pH) change de couleur au contact du CO<sub>2</sub>. Sa seule indication est la vérification du bon positionnement de la sonde d'intubation endotrachéale sans en garantir l'absence de faux positifs (28) et faux négatifs (arrêt cardiaque). Cette méthode, qui doit être abandonnée en raison des importants risques d'erreurs (29), ne permet ni acquisition graphique ni monitoring en continu des variations de CO<sub>2</sub>.

La technique de capnographie la plus utilisée actuellement en médecine est la spectrophotométrie par rayonnement infrarouge (4), du fait de sa simplicité et de son faible coût. Elle utilise les propriétés du CO<sub>2</sub> à absorber l'infrarouge. Le principal inconvénient de cette méthode est l'interférence par d'autres molécules dans le mélange de gaz, notamment le protoxyde d'azote en anesthésie, le monoxyde de carbone et la vapeur d'eau (30).

Classiquement, on distingue deux méthodes selon le site de mesure (23) (30) :

- Le système aspiratif (ou sidestream) où le CO<sub>2</sub> est transféré pour analyse dans une cellule à distance du respirateur : un capillaire prélève les gaz expiratoires à environ 150 L/min et les achemine vers la cellule de mesure. Cette méthode présente l'avantage de la simplicité et de la flexibilité (utilisation aussi bien en respiration spontanée via un masque facial ou une canule nasale qu'en ventilation mécanique) mais elle impose un déphasage lié au temps de transit du gaz vers l'analyseur et expose au risque de condensation de la vapeur d'eau présente dans l'air expiré à 37 °C dans les tubulures à température plus basse.

- Le système non aspiratif ou mainstream quantifie le  $\text{CO}_2$  dans une cellule de mesure intégrée dans le circuit du ventilateur, permettant la mesure directe par transillumination continue des gaz respiratoires. Ses avantages sont l'absence de décalage temporel, la précision de la mesure y compris à fréquence respiratoire élevée et l'absence d'interférence par la vapeur d'eau. Ce système augmente cependant l'espace mort instrumental de quelques mL et ajoute un poids à la sonde d'intubation.

Ces deux méthodes sont plus ou moins comparables en termes de précision (31), la capnométrie non aspirative semble tout de même avoir un léger avantage dans des populations spécifiques, comme chez le patient obèse (32).

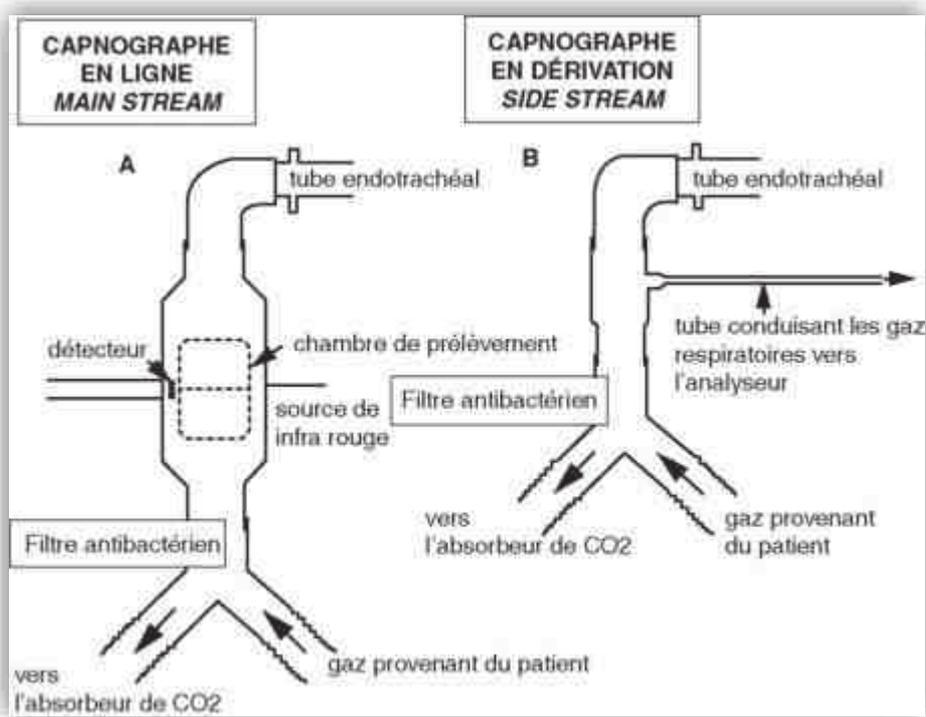


Figure 5 : Capnomètre de type « mainstream » (A) et de type « sidestream » (B) (33)

Une troisième méthode de mesure a été développée plus récemment, il s'agit du système microstream, un système aspiratif avec un échantillonnage faible (env 50 mL/min). La technique d'analyse repose sur le principe que les molécules de CO<sub>2</sub> absorbent les rayons infra-rouges à une longueur d'onde spécifique. Contrairement aux émetteurs des capnographe traditionnels qui produisent un large spectre infrarouge, le « microstream » génère un micro-rayon infrarouge correspondant à la longueur d'onde absorbée par le CO<sub>2</sub>. Cette technique évite ainsi le parasitage par d'autres gaz permettant une mesure plus précise pour une faible quantité de gaz expiratoires prélevée. Ce faible échantillonnage ainsi que l'absence d'encombrement des lignes par les sécrétions et l'humidité permettent une utilisation plus universelle, notamment en néonatalogie et pédiatrie, que le patient soit intubé, en ventilation spontanée ou sous VNI (34).

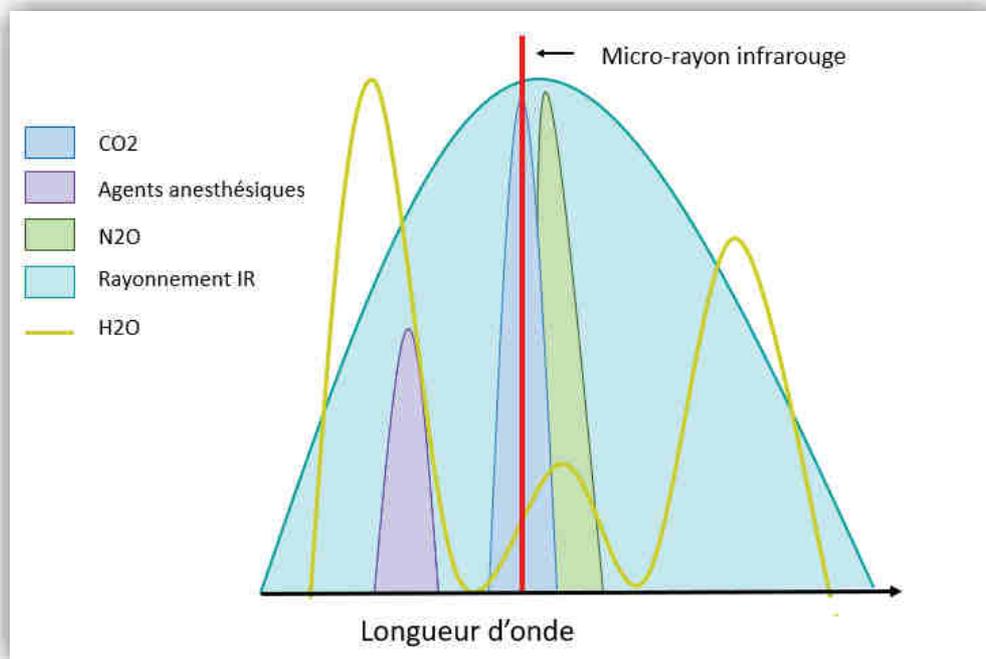


Figure 6 : Principe de la méthode « microstream »

Chez le patient intubé, le capnomètre se branche sur le raccord de la sonde d'intubation. En revanche, chez le patient en ventilation spontanée, l'interface pour la capnographie non invasive est en général une canule nasale qui permet le prélèvement de CO<sub>2</sub> et l'administration d'O<sub>2</sub> de manière concomitante (35), un embout buccal peut également être utilisé, notamment pour les patients réalisant une spirométrie dans le même temps.

#### D. Capnogramme « normal »

Une courbe de capnographie normale comprend 4 phases (4) (36) (37) :

Phase I ou base inspiratoire : elle représente la vidange de l'espace mort anatomique, la pression partielle en CO<sub>2</sub> est proche de 0 puisque le mélange gazeux de cet espace n'a pas été en contact avec les gaz alvéolaires.

Phase II ou montée expiratoire : l'augmentation rapide du CO<sub>2</sub> expiré sous forme d'une courbe sigmoïde correspond à la transition entre l'espace mort anatomique et l'arrivée des gaz alvéolaires. La verticalité de la phase II est en faveur d'une distinction nette entre l'espace mort anatomique et l'air alvéolaire. L'élimination de l'air alvéolaire est normalement synchrone, ce qui est prouvé par l'ascension soudaine de cette phase (38).

Phase III ou plateau expiratoire : le CO<sub>2</sub> expiré provient uniquement de l'air alvéolaire. Normalement la pente est nulle ou légèrement ascendante, une majoration de la pente correspond à une vidange asynchrone des alvéoles lors de l'expiration, ce qui est visible dans les pathologies obstructives comme l'asthme et la BPCO. La fin du plateau correspond à la PETCO<sub>2</sub>, affichée sur les écrans de monitoring.

Phase 0 (inspiration) : le mélange gazeux inspiré est quasiment dépourvu de  $\text{CO}_2$  d'où une chute brutale du  $\text{CO}_2$  jusqu'à la ligne de base (0 mmHg). La phase I succède à la phase 0 mais la distinction entre fin d'expiration et début d'inspiration n'est pas visible.

Les phases II et III sont séparées par un angle  $\alpha$  dont la norme est comprise entre  $100^\circ$  et  $110^\circ$ . Cet angle est un reflet indirect du rapport ventilation/perfusion (37)

L'angle  $\beta$  sépare les phases III et 0 et est normalement égal à  $90^\circ$  et peut augmenter jusqu'à  $180^\circ$  en cas de réinhalation de  $\text{CO}_2$  (30).

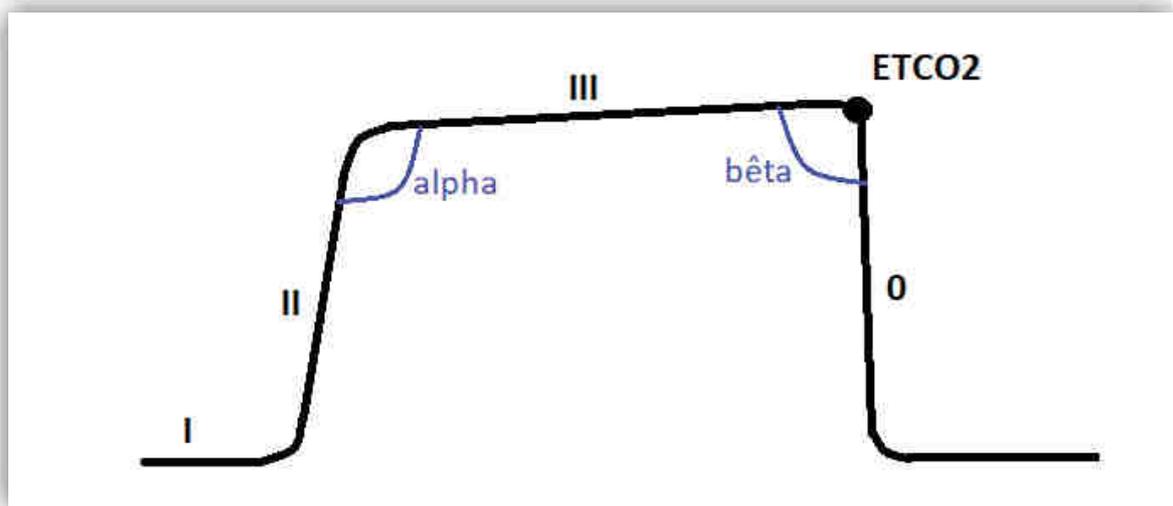


Figure 7 : Aspect « normal » d'un capnogramme

## E. Interprétation et principales utilisations

La capnographie permet une mesure indirecte de la perfusion pulmonaire (et par extension du débit cardiaque), de la production de CO<sub>2</sub> et de la ventilation alvéolaire (37).

L'interprétation repose sur 3 aspects (36) : l'ETCO<sub>2</sub> max ou valeur du plateau (valeur normale d'environ 35-40 mmHg), la forme du capnogramme et le gradient entre l'ETCO<sub>2</sub> et PaCO<sub>2</sub> (3 à 5 mmHg environ chez le sujet sain). Elle peut néanmoins être difficile en cas de mécanismes physiopathologiques multiples.

L'absence de CO<sub>2</sub> expiré correspond globalement à 3 situations : absence de ventilation pulmonaire, collapsus cardio-vasculaire complet ou dysfonction du capnomètre.

### a. Surveillance du patient ventilé

La surveillance de la capnographie au cours d'une anesthésie générale permet d'éviter de nombreux accidents, notamment respiratoires, elle constitue de ce fait une obligation légale dans ce type d'anesthésie, au même titre que l'usage de la SpO<sub>2</sub> (39).

La capnographie permet dans un premier temps la vérification du placement endotrachéal de la sonde d'intubation. En effet, affirmer que la sonde d'intubation se trouve dans la trachée peut s'avérer difficile et l'auscultation pulmonaire est souvent insuffisante, l'utilisation de la capnographie est devenue une pratique courante aussi bien en anesthésie qu'aux urgences (35).

En cas d'intubation œsophagienne, on observera soit l'absence de courbe de capnographie, soit quelques courbes de forme anormale et dont l'amplitude va décroître progressivement. (Figure 8). Ces quelques courbes témoignent alors de la présence de CO<sub>2</sub> dans l'estomac qui est rapidement évacué par ventilation de l'estomac et la PETCO<sub>2</sub> diminue, aboutissant à un capnogramme plat après quelques cycles (37). Un délai de six cycles ventilatoires permet classiquement de confirmer le bon positionnement de la sonde d'intubation (40).

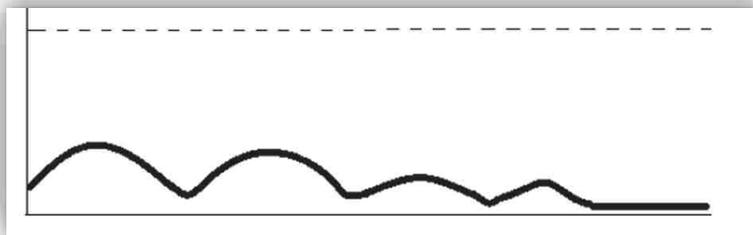


Figure 8 : Capnographie en cas d'intubation œsophagienne

La capnographie peut également permettre de suspecter une intubation sélective avec classiquement une diminution de la PETCO<sub>2</sub> ou une modification du capnogramme avec l'apparition d'un aspect biphasique (41).

Une chute de l'ETCO<sub>2</sub> permet de détecter de manière précoce une déconnexion du patient du ventilateur ainsi qu'une obstruction ou plicature de la sonde d'intubation (36) (10).

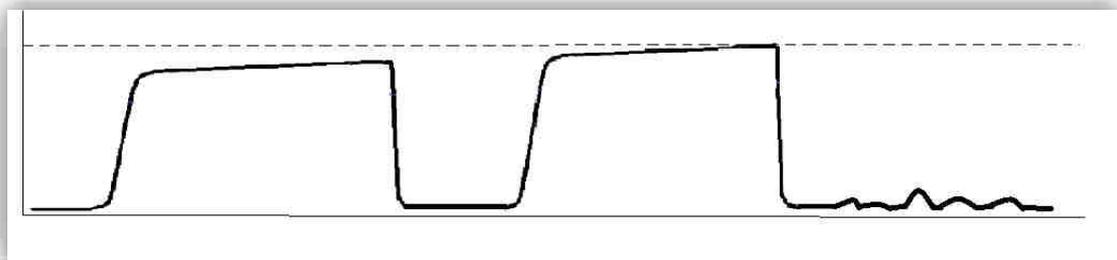


Figure 9 : Capnographie en cas de déconnexion ou d'obstruction de sonde d'intubation

Enfin, une hausse de la ligne de base correspond à une réinhalation de CO<sub>2</sub> (10).

b. Arrêt cardiaque

Le monitoring de la capnographie pendant la prise en charge de l'arrêt cardiaque présente plusieurs intérêts (36) :

- elle témoigne de l'efficacité des compressions pendant la RCP : optimales en cas d'ETCO<sub>2</sub> > 20 mmHg)
- elle peut être un argument pronostic : plutôt favorable si > 20 mmHg et péjoratif si < 10 mmHg (42)
- elle détecte de manière précoce le ROSC : augmentation de l'ETCO<sub>2</sub> traduisant le recrutement de tissus non perfusés auparavant (35) (Figure 10)
- elle permet dans certaines circonstances une orientation étiologique.

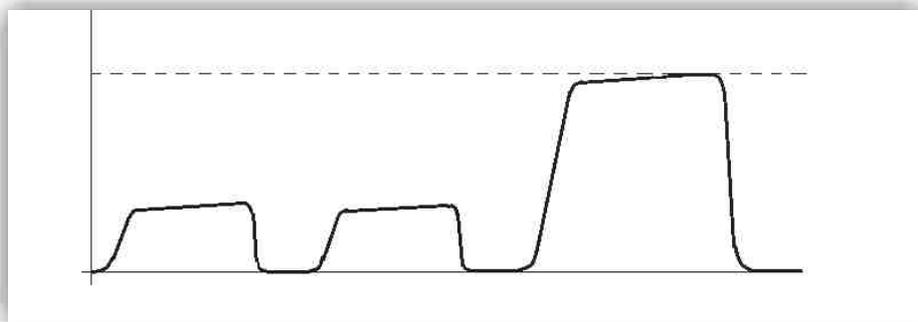


Figure 10 : Capnographie témoignant d'un ROSC

c. Embolie pulmonaire

L'embolie pulmonaire engendre une augmentation de l'espace mort avec par conséquent une diminution du CO<sub>2</sub> expiré par dilution. La capnographie n'est ainsi pas en mesure de diagnostiquer une embolie pulmonaire de façon fiable mais une PETCO<sub>2</sub> abaissée peut être un argument supplémentaire en faveur du diagnostic chez un patient présentant des symptômes compatibles (35).

d. Troubles ventilatoires obstructifs

En cas de pathologie pulmonaire obstructive (asthme, BPCO), la gêne à l'élimination du CO<sub>2</sub> durant l'expiration modifie la forme du capnogramme avec une diminution de la verticalité en phase II, un aspect en pente ascendante du plateau expiratoire et une augmentation de l'angle  $\alpha$  aboutissant à un aspect en aileron de requin ou « shark fin » pour les formes les plus sévères (35) (43)

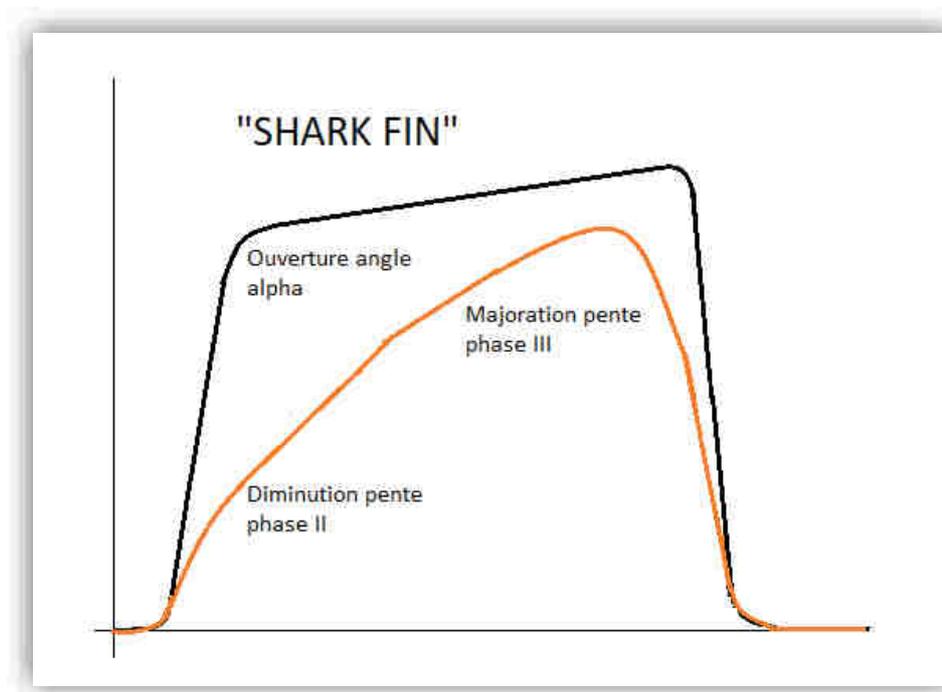


Figure 11 : Déformation du capnogramme en cas de trouble ventilatoire obstructif

La pente en phase III et l'angle alpha sont associés au degré de sévérité du bronchospasme. Leur mesure et leur monitoring permettraient ainsi de quantifier la spasticité de l'arbre bronchique et de guider l'efficacité des thérapeutiques (38) (44).

e. Autres utilisations de la capnographie décrites dans la littérature

Etats de choc

La valeur de l'ETCO<sub>2</sub> est abaissée en cas de baisse du débit cardiaque. On peut notamment observer une chute de l'ETCO<sub>2</sub> en cas de sepsis, cette chute est inversement proportionnelle à l'ascension des lactates (45). Le monitoring de l'ETCO<sub>2</sub> permet ainsi de suivre la réponse au remplissage. De même, la valeur de l'ETCO<sub>2</sub> apparaît diminuée dans les autres cas de baisse du débit cardiaque : traumatisés sévères, états de choc, induction anesthésique ... (36)

Sédation procédurale

Une des utilisations les plus courantes de la capnographie chez le patient non intubé est la surveillance durant une sédation procédurale. En effet, elle permet de détecter de façon précoce les hypoventilations (majoration de l'ETCO<sub>2</sub>) et apnées (absence de capnogramme) par rapport à la SpO<sub>2</sub>, surtout en cas d'oxygénothérapie concomitante (46) (47).

Acidose métabolique

Plusieurs études ont décrit une corrélation linéaire entre l'ETCO<sub>2</sub> et le pH et le taux de bicarbonates dans l'acidocétose diabétique avec une baisse de l'ETCO<sub>2</sub> en cas de dégradation de l'état du patient (48) (49).

### III. GRADIENT PaCO<sub>2</sub> - PETCO<sub>2</sub>

La PCO<sub>2</sub> de l'air alvéolaire diminue pendant l'expiration via la dilution par addition de l'air provenant de l'espace mort physiologique qui ne contient pas de CO<sub>2</sub> (alvéoles non perfusées ou espace mort alvéolaire et voies de conduction ou espace mort anatomique) (7). En l'absence de pathologie pulmonaire, les valeurs de PETCO<sub>2</sub> et la PaCO<sub>2</sub> sont très proches et le gradient PaCO<sub>2</sub>-PETCO<sub>2</sub> est d'environ 2 à 5 mmHg en ventilation spontanée. (37).

Le gradient est essentiellement augmenté par 3 causes : les anomalies du rapport ventilation/perfusion, les profils respiratoires avec absence de vidange complète des alvéoles et les erreurs techniques d'échantillonnage (10).

#### A. Gradient augmenté par anomalies du rapport ventilation/perfusion

Le gradient est augmenté par baisse de la PETCO<sub>2</sub> en cas de modification du rapport ventilation/perfusion via deux mécanismes essentiellement, qui sont souvent imbriqués : le shunt ou effet shunt et l'augmentation de l'espace mort alvéolaire (4) (7).

##### a. Augmentation de l'espace mort alvéolaire

On retrouve un gradient PaCO<sub>2</sub>-ETCO<sub>2</sub> augmenté en cas d'augmentation de l'espace mort alvéolaire, c'est-à-dire lorsqu'une zone est mal perfusée (rapport V/Q > 1). De nombreuses conditions et pathologies s'accompagnent d'une augmentation de l'espace mort : l'embolie

pulmonaire, les états de choc (alvéoles des zones non déclives non perfusées) et l'arrêt cardiaque, l'emphysème (destruction du lit capillaire vasculaire supérieure à la diminution de la ventilation), le SDRA (50) ...

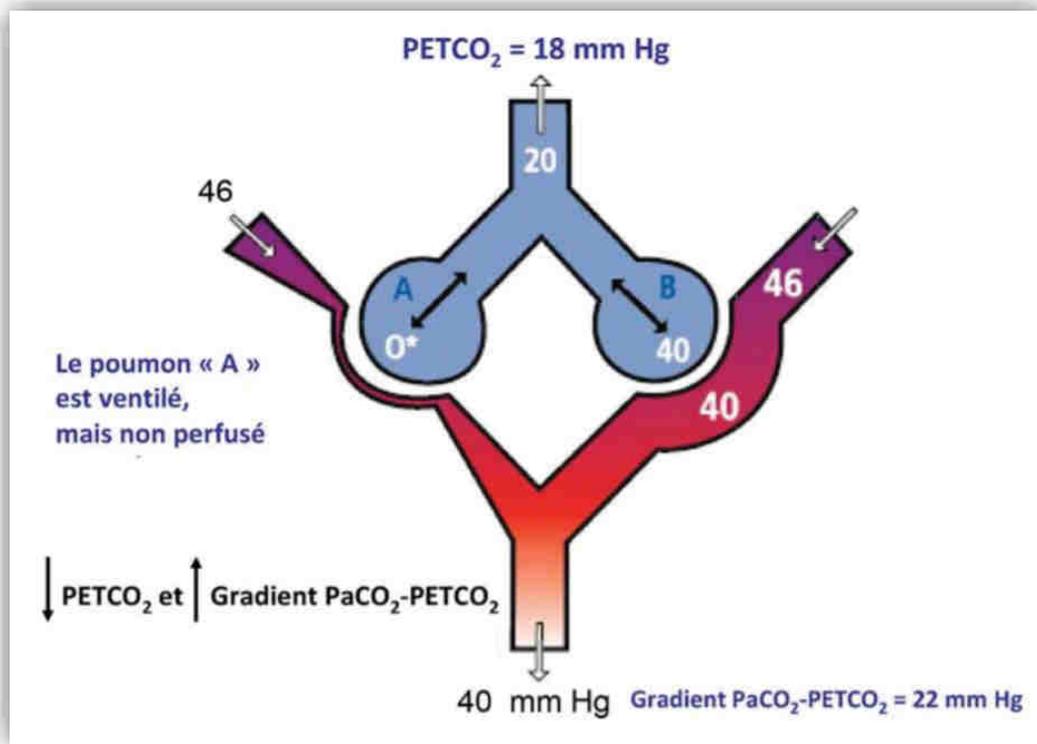


Figure 12 : Diminution aiguë de la perfusion alvéolaire - exemple d'effet espace mort (4)

Lors d'une augmentation de l'espace mort, une partie plus faible du VT participe aux échanges gazeux, autrement dit, le rapport VD/VT est augmenté. Ce rapport est d'environ 0,2-0,3 pour un poumon normal (10). Le gradient PaCO<sub>2</sub>-ETCO<sub>2</sub> est le reflet de VD/VT à ventilation et VCO<sub>2</sub> constants (23) d'où son intérêt pour estimer l'espace mort alvéolaire.

b. Augmentation du shunt

Le gradient  $\text{PaCO}_2\text{-ETCO}_2$  est également augmenté en cas de shunt vrai ou d'effet shunt, c'est-à-dire lorsqu'une zone est mal ventilée avec une perfusion normale ou augmentée (rapport  $V/Q < 1$ ). Le shunt vrai est rencontré dans certaines cardiopathies congénitales cyanogènes, l'effet shunt est retrouvé dans plusieurs situations pathologiques : atelectasie, intubation sélective, bronchopneumonie avec sécrétions bronchiques et alvéolaires importantes, BPCO...

L'impact du shunt sur l'augmentation du gradient a- $\text{ETCO}_2$  est habituellement faible même en cas de shunt important étant donné que la différence de  $\text{PCO}_2$  entre le sang veineux et artériel est faible et que la courbe de dissociation du  $\text{CO}_2$  linéaire (10).

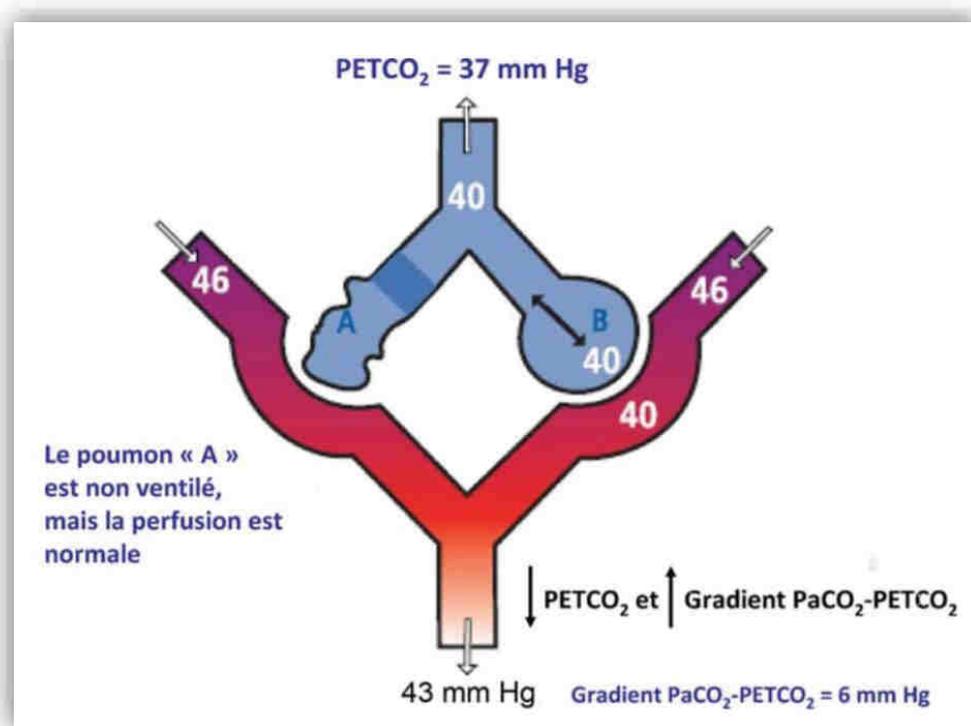


Figure 13 : Diminution aiguë de la ventilation pulmonaire - exemple de shunt intrapulmonaire (4)

## B. Absence de vidange des alvéoles

Certains profils respiratoires responsables d'une vidange incomplète des alvéoles peuvent aboutir à un gradient  $\text{PaCO}_2\text{-ETCO}_2$  élevé (10) par diminution de l' $\text{ETCO}_2$ , notamment l'hyperventilation sans expiration complète, certaines techniques de ventilation mécanique (VT inadapté, jet-ventilation à haute fréquence) et les troubles ventilatoires obstructifs (asthme (16), BPCO (17) (48), emphysème (51)).

Un plateau alvéolaire plus optimal peut en général être obtenu après expiration maximale prolongée ou expiration forcée et le gradient diminue voire se normalise (19) (20) (21) (22).

## C. Gradient négatif

Des gradients  $\text{PaCO}_2\text{-ETCO}_2$  négatifs sont fréquemment observés, notamment chez l'enfant et la femme enceinte ainsi que lors d'un exercice physique. Ce phénomène, bien que connu, reste encore mal compris. Plusieurs mécanismes, souvent intriqués, semblent néanmoins être à l'origine d'une diminution voire d'une négativation du gradient  $\text{PaCO}_2\text{-ETCO}_2$  (52) :

- La diminution de la CRF
- La vidange tardive d'alvéoles bien perfusées ayant une  $\text{PACO}_2$  élevée : en cas de volumes courants importants à faible fréquence, il y a une addition, à la fin de l'expiration, de  $\text{CO}_2$  provenant d'alvéoles qui se vidangent lentement et dans lesquelles le  $\text{CO}_2$  s'accumule (10). Ce phénomène a été observé par Lujan et al (53) en cas d'expiration prolongée chez le BPCO, avec une majoration chez les patients les plus sévères. Il semble refléter l'hétérogénéité des constantes de temps alvéolaires et peut être observé sur le

capnogramme (figure 14), d'où l'importance d'examiner le profil de la phase III avant d'interpréter la mesure de PETCO<sub>2</sub>.

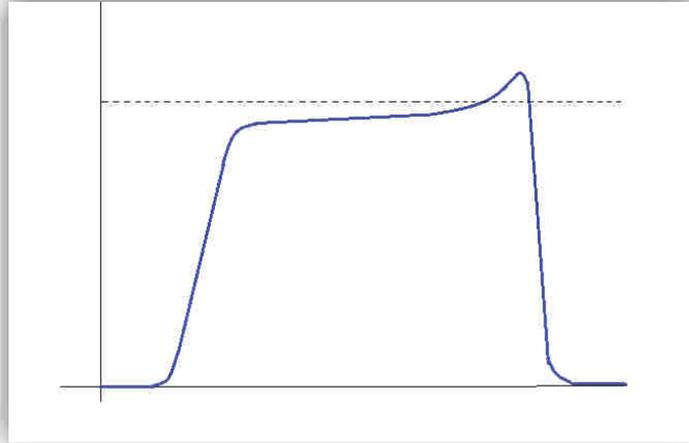


Figure 14 : Déformation du capnogramme par vidange tardive d'alvéoles bien perfusées

- L'augmentation de la production de CO<sub>2</sub>, responsable d'une augmentation de la différence de PCO<sub>2</sub> entre le sang veineux et artériel
- La diminution des inadéquations V/Q, en particulier de l'espace mort

Un gradient négatif est souvent observé lors à l'exercice (54) (55) puisqu'il y a à la fois une augmentation de la production de CO<sub>2</sub>, une diminution de l'espace mort alvéolaire par hausse du débit cardiaque (meilleure perfusion pulmonaire) et augmentation du VT et une expiration d'air riche en CO<sub>2</sub> contenu dans les alvéoles à faible constante de temps.

## PARTIE 2 : ETUDE EXPERIMENTALE

### I. MATERIELS ET METHODES

#### A. TYPE D'ETUDE

Il s'agit d'une étude expérimentale, transversale et monocentrique, chez les patients bénéficiant d'une gazométrie artérielle et d'une mesure de capnographie dans le cadre d'une consultation pour dyspnée au sein du Service d'Accueil des Urgences adultes du Pr Pascal BILBAULT, site du Nouvel Hôpital Civil des Hôpitaux Universitaires de Strasbourg.

#### B. OBJECTIFS ET CRITERES D'EVALUATION

##### a. Objectif et critère de jugement principal

L'objectif principal était d'évaluer l'intérêt de la mesure du gradient PaCO<sub>2</sub>-PETCO<sub>2</sub> et de l'analyse de la courbe de capnographie dans l'orientation diagnostique de la dyspnée aux urgences.

Pour ce faire, nous avons recueilli la valeur de PaCO<sub>2</sub> corrigée par la température mesurée sur gazométrie artérielle et la valeur d'ETCO<sub>2</sub> recueillie à l'aide d'un capnomètre avec embout buccal afin de calculer le gradient PaCO<sub>2</sub>-PETCO<sub>2</sub> pour chaque patient. Nous avons utilisé la valeur médiane d'ETCO<sub>2</sub> pour chaque patient afin de s'affranchir des valeurs extrêmes. Nous avons ensuite comparé les valeurs du gradient PaCO<sub>2</sub>-PETCO<sub>2</sub> ainsi calculé aux diagnostics retenus.

b. Objectifs et critères de jugement secondaires

Un des objectifs secondaires était de rechercher une modification du gradient après expiration complète, notamment pour les patients ayant un profil obstructif. Nous avons donc demandé aux patients qui en étaient capables d'effectuer quelques expirations plus prolongées en fin d'enregistrement pour observer une éventuelle variation de la valeur d'ETCO<sub>2</sub>.

Nous avons recueilli l'écart-type de la valeur d'ETCO<sub>2</sub> afin d'évaluer la variabilité de la valeur d'ETCO<sub>2</sub> d'un capnogramme à l'autre pour un même patient.

Nous avons également analysé informatiquement l'ensemble des courbes de chaque patient pour recueillir un certain nombre de données complémentaires (figure 15). Nous avons retenu la valeur médiane de chaque patient pour chacune des variables détaillées ci-dessous.

- Nous avons d'abord délimité le temps correspondant aux phases II et III pour chaque capnogramme qui correspond au temps expiratoire (tempscap).
- Nous avons ensuite tracé un cadre (cadre vert) dont la longueur correspond à ce temps expiratoire et la largeur à la valeur d'ETCO<sub>2</sub>.
- Afin de quantifier la déformation de la courbe (notamment obstructive), nous avons soustrait à l'aire du cadre vert l'aire sous la courbe du capnogramme à l'intérieur du cadre puis nous avons rapporté cette valeur à la moitié du cadre correspondant (ratio2).
- Enfin, nous avons mesuré l'aire sous la courbe du capnogramme divisée par le temps expiratoire (aire\_temps) pour avoir un reflet de la  $\dot{V}CO_2$ .

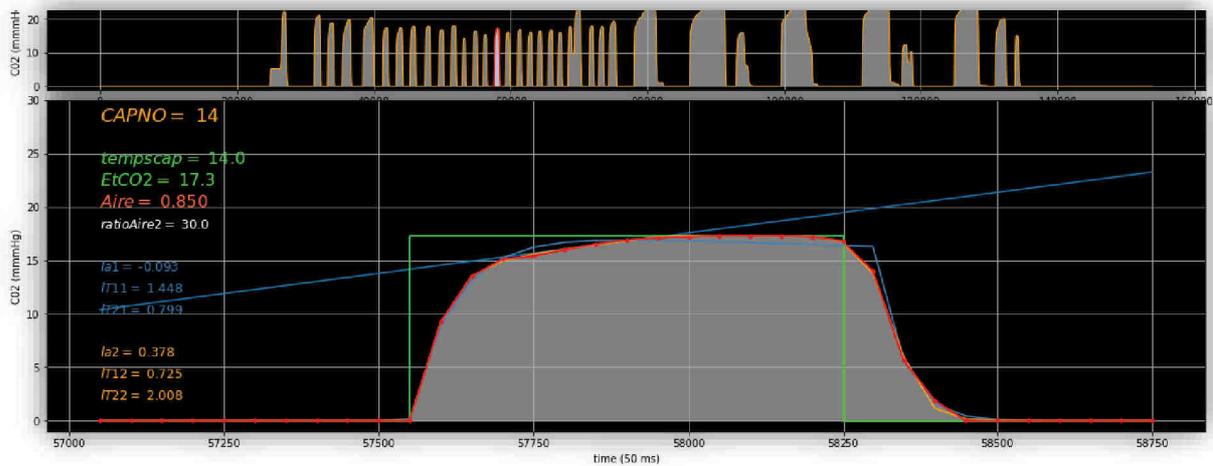


Figure 15 : Analyse informatique des capnogrammes – Aspect de la courbe de capnographie chez un patient ayant réalisé quelques expirations prolongées en fin d’enregistrement

### C. POPULATION ETUDIEE

#### a. Critères d’inclusion

Les patients majeurs, homme ou femme, ont été inclus dans l’étude s’ils présentaient les critères suivants :

- Patient se présentant au Service d’Accueil des Urgences pour dyspnée
- Patient bénéficiant d’une mesure de gazométrie artérielle et de capnographie
- Sujet affilié à un régime de protection sociale d’assurance maladie
- Sujet apte à comprendre les objectifs et les risques liés à la recherche et à donner sa non-opposition

b. Critères de non inclusion

Les patients n'étaient pas inclus dans l'étude s'ils présentaient les critères suivants :

- Femme enceinte et allaitante
- Sujet en période d'exclusion (déterminée par une étude précédente ou en cours)
- Impossibilité de donner au sujet des informations éclairées (sujet en situation d'urgence absolue nécessitant des soins de réanimation immédiats, difficultés de compréhension du sujet, ...)
- Sujet sous sauvegarde de justice, tutelle ou curatelle

Il n'y a pas de critère d'exclusion

D. CONSIDERATIONS ETHIQUES

Il s'agit d'une étude non interventionnelle qui ne modifie en rien la prise en charge habituelle des patients se présentant aux urgences pour dyspnée. Les patients, participant à l'étude, ont bénéficié d'une information claire avant toute inclusion. L'anonymat des patients a été respecté.

Nous avons soumis le protocole au comité d'éthique de la faculté de médecine de Strasbourg, qui nous a rendu un avis favorable en date du 04/08/2020 (Annexe 1).

## E. DEROULEMENT PRATIQUE DE L'ESSAI

### a. Modalités de recrutement : lieu et période d'étude

Le recrutement des patients a été réalisé au Service d'Accueil des Urgences Adultes du Nouvel Hôpital Civil des Hôpitaux Universitaires de Strasbourg (HUS). Ce recrutement s'est effectué dans le cadre de la prise en charge usuelle des patients nécessitant une mesure de gazométrie artérielle et de capnographie pour bilan de dyspnée.

Ce service, dirigé par le Pr BILBAULT, prend en charge des urgences à orientation cardiovasculaire, toxicologique, urologique, pneumologique et thoracique, digestive, ophtalmologique, maxillo-faciale et de médecine interne. Le service comprend 15 box d'accueil, 1 salle d'accueil des urgences vitales avec 3 box et 18 lits d'hospitalisation de très courte durée.

Parmi les 30 000 patients s'y présentant chaque année, environ 20 % consultent pour dyspnée.

Le recrutement a eu lieu de façon aléatoire sur une période allant du 10/09/2020 au 14/10/2020.

### b. Modalités d'information et de recueil du consentement

Les patients ont été recrutés par le biais des investigateurs du service d'accueil des urgences adultes du NHC des HUS. Lors des consultations pour dyspnée, il leur a été proposé de participer à l'étude. Ils ont été informés oralement de l'objectif et de l'intérêt de l'étude et un formulaire d'information et de non-opposition leur a été remis. Compte tenu du niveau de

risque de l'étude qui est quasi nul, il n'a pas eu de délai de réflexion supérieur au temps de la consultation.

Après vérification des critères d'éligibilité, l'accord du patient a été recueilli par signature du formulaire de non-opposition.

*c. Chronologie des actes*

Dans le cadre de leur prise en charge habituelle aux urgences, les patients ont bénéficié d'un prélèvement de gazométrie artérielle ainsi que d'une mesure de capnographie avec enregistrement de la courbe sur 1 à 2 minutes. La capnographie a été réalisée à l'aide d'un embout buccal. L'appareil de capnographie est un « Capnostream TM 35<sup>®</sup> » de la marque « Medtronic<sup>®</sup> », avec une fréquence d'échantillonnage de 20 Hz. Les courbes de capnographie ont été enregistrées et récupérées en format « .txt », à l'aide d'une clé USB et la valeur d'ETCO<sub>2</sub> a été collectée. Le gradient PaCO<sub>2</sub>-PETCO<sub>2</sub> a ensuite été calculé et le diagnostic retenu à l'issue du passage aux urgences et du séjour hospitalier recueilli de manière rétrospective.

*d. Actes pratiqués*

Aucun acte n'a été pratiqué en dehors de la prise en charge usuelle du patient.

## F. RECUEIL DE DONNEES

Pour chaque patient les données suivantes ont été collectées :

- Paramètres descriptifs : sexe, âge, poids, taille
- Constantes vitales : fréquence cardiaque, pression artérielle, SpO<sub>2</sub>, glycémie, température
- Paramètres de gazométrie artérielle : pH, PaCO<sub>2</sub>, PaO<sub>2</sub>, bicarbonates, lactates, SaO<sub>2</sub>
- Paramètres de capnographie : ETCO<sub>2</sub>, fichier d'enregistrement de courbe capnographie (au format « .txt »), avec une prise de mesure toutes les 50 ms soit une fréquence d'enregistrement de 20 Hz.
- Résultats paracliniques de biologie et d'imagerie
- Diagnostic retenu à l'issue du passage aux urgences et du séjour hospitalier

La saisie des données a été effectuée sous le logiciel Excel permettant leur traitement statistique. La base de données était hébergée sur le réseau informatique interne et sécurisé des Hôpitaux Universitaires de Strasbourg, les courbes étaient enregistrées sur une clé informatique usb. L'anonymat des participants a été assuré par un transcodage effectué par au moment de l'inclusion (N° d'ordre du sujet dans la recherche - 1<sup>ère</sup> lettre du nom de famille - 1<sup>ère</sup> lettre du prénom)

La recherche a été enregistrée au registre des traitements de données des Hôpitaux Universitaires de Strasbourg sous le n°20-091.

## G. ANALYSE STATISTIQUE

Les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel R avec tous les packages requis, dans leur version la plus à jour au moment de l'analyse des données.

L'analyse statistique a débuté par une description numérique des données. Les résultats pour les variables qualitatives ont été exprimés en donnant les effectifs et fréquences de chaque modalité. Les variables quantitatives ont été décrites à l'aide des paramètres de position habituels (moyenne, médiane, minimum, maximum, quartiles) ainsi qu'avec les paramètres de dispersion classiques (écart-type, variance).

L'analyse statistique contient également une description graphique des données. Pour les variables qualitatives, la description utilise des diagrammes à bâton. Les variables quantitatives ont été décrites à l'aide de boîtes à moustaches et d'histogrammes. Une analyse descriptive bivariée des variables quantitatives a été réalisée par des nuages de points.

## II. RESULTATS

### A. Description de la population étudiée

Pendant la période d'étude, 32 patients ayant consulté au SAU pour dyspnée ont bénéficié d'une gazométrie artérielle et d'une mesure de capnométrie et ont initialement été inclus. Deux d'entre eux avaient des courbes de capnographie comportant de nombreux artéfacts et par conséquent non exploitables. Finalement, 30 patients ont pu être inclus dans l'analyse.

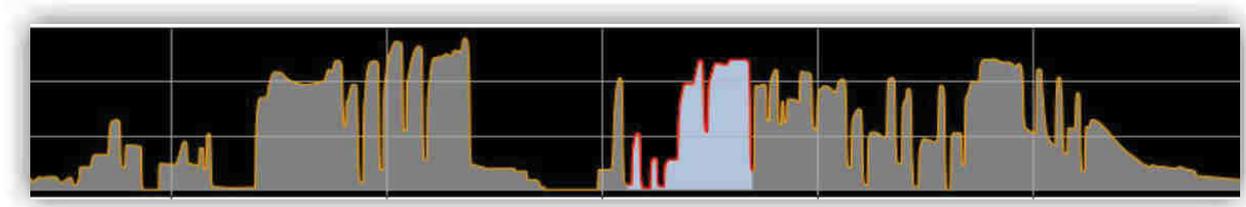


Figure 16 : Exemple de courbe de capnographie non exploitable

#### a. Sexe et âge

Notre population était constituée de 13 femmes (43,3 %) et 17 hommes (56,7 %).

La moyenne d'âge était de 71,4 +/- 14,7 ans avec un minimum de 46 ans et un maximum de 93 ans.

	Minimum	1 <sup>er</sup> quartile	Moyenne	Médiane	3 <sup>ème</sup> quartile	Maximum	Ecart-type
Age	46	58,5	71,4	73,5	82,75	93	14,7

Tableau 1 : Age de la population

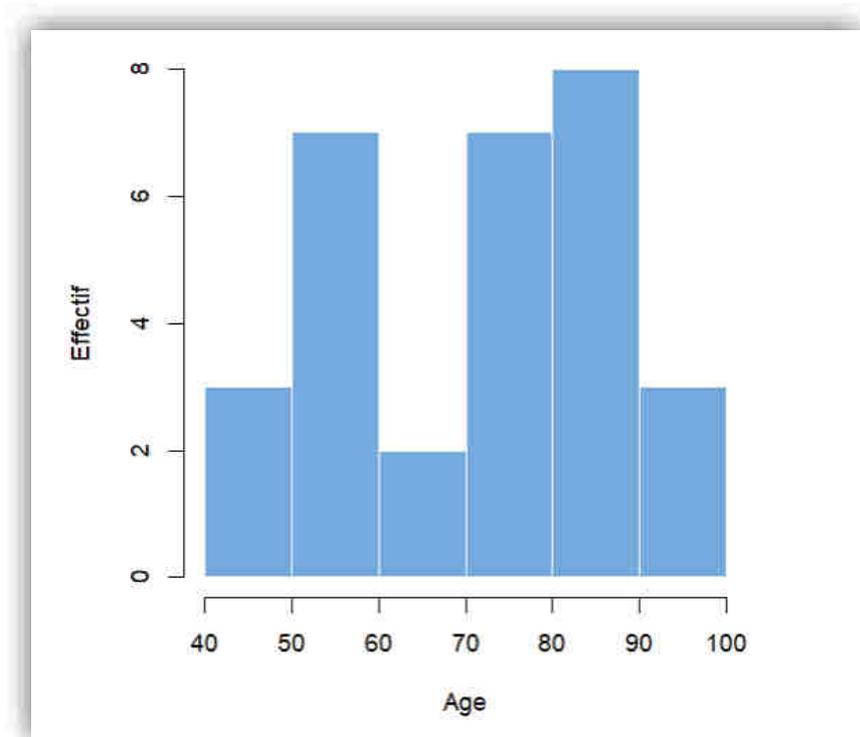


Figure 17 : Répartition de la population par tranches d'âge

*b. Caractéristiques anthropométriques*

Le poids moyen était de  $78,8 \pm 18,2$  kg avec des extrêmes à 48,3 kg et 109 kg. La taille moyenne des patients était de  $169,4 \pm 10,5$  cm avec un minimum de 150 cm et un maximum de 191 cm. Enfin, l'IMC était de  $27,4 \pm 6$  kg/m<sup>2</sup> en moyenne avec des valeurs allant de 16,7 à 39,7 kg/m<sup>2</sup>.

	Poids	Taille	IMC
Moyenne	78,8	169,4	27,4
Minimum	48,3	150	16,71
Q1	63	160	23,01
Médiane	80	169	27,27
Q3	97	176	30,86
Maximum	109	191	39,72
Ecart-type	18,21	10,45	6,01

Tableau 2 : Poids, taille et IMC de la population

c. Constantes vitales

La fréquence cardiaque moyenne de 96,7 +/- 16,69 bpm et la PAM de la population était de 95,3 +/- 12,8 mmHg en moyenne.

Le débit moyen d'oxygène était de 2,1 L/min avec 14 patients ne nécessitant pas d'oxygénothérapie et un débit maximum à 6 L/min. La SpO<sub>2</sub> était de 95,9 +/- 2,45 % en moyenne.

L'ensemble des caractéristiques des paramètres vitaux (FC, PAS, PAD, PAM, SpO<sub>2</sub>, débit d'oxygène, glycémie et température) est représenté sous forme de tableau ci-dessous.

	Moyenne	Minimum	Maximum	Q1	Médiane	Q3	Ecart-type
FC (bpm)	96,7	52	131	88,3	97	107,5	16,69
PAS (mmHg)	133,7	91	186	119,3	127	153,5	23,04
PAD (mmHg)	76	51	99	69,3	75,5	83	10,49
PAM (mmHg)	95,3	74	123	87	95,5	102	12,8
SpO2 (%)	95,9	90	99	95	96	98	2,45
Débit O2 (L/min)	2,1	0	6	0	2	4	2,07
Glycémie (g/L)	1,43	0,66	3,4	1,08	1,29	1,59	0,63
Température (°C)	36,9	36	38,1	36,4	36,8	37,4	0,63

Tableau 3 : Caractéristiques des paramètres vitaux des patients

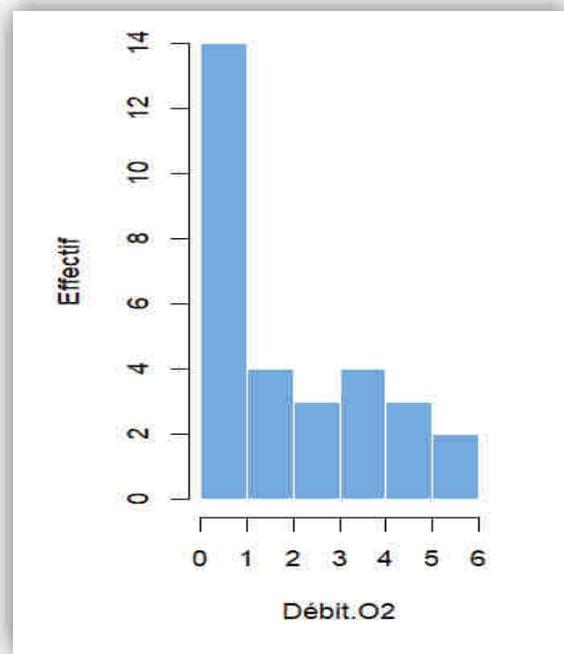


Figure 18 : Représentation des valeurs du débit d'oxygène des patients inclus

## B. Résultats des gazométries artérielles

Les caractéristiques des paramètres des gazométries artérielles de la population ont été détaillés dans le tableau suivant.

La PaCO<sub>2</sub> moyenne était de 39 +/- 10,55 mmHg avec des valeurs allant de 21,5 à 81,9 mmHg.

	Moyenne	Minimum	Maximum	Q1	Médiane	Q3	Ecart-type
pH	7,44	7,25	7,51	7,42	7,45	7,47	0,05
PaO <sub>2</sub>	86,7	56	205	65	76,3	97,8	32,3
PaCO <sub>2</sub>	39	21,5	81,9	34	37,8	40,9	10,55
SaO <sub>2</sub>	95,5	88,9	100	92,7	96	97,9	2,9
Lactates	1,56	0,5	6,2	0,9	1,2	1,7	1,17
Bicarbonates	26	13,9	35,9	23,9	25,7	27,8	4,76

Tableau 4 : Caractéristiques des paramètres de gazométrie artérielle

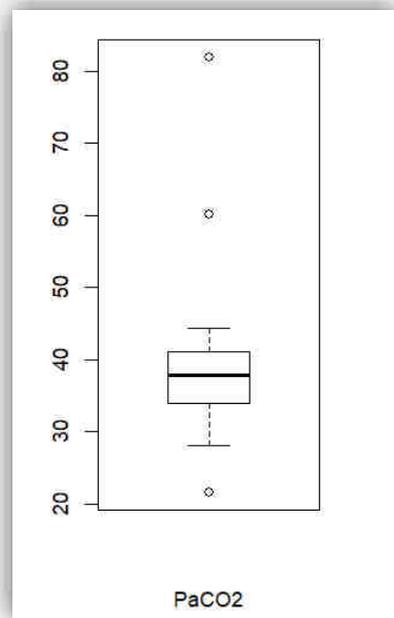


Figure 19 : Représentation des valeurs de la PaCO<sub>2</sub> des patients inclus

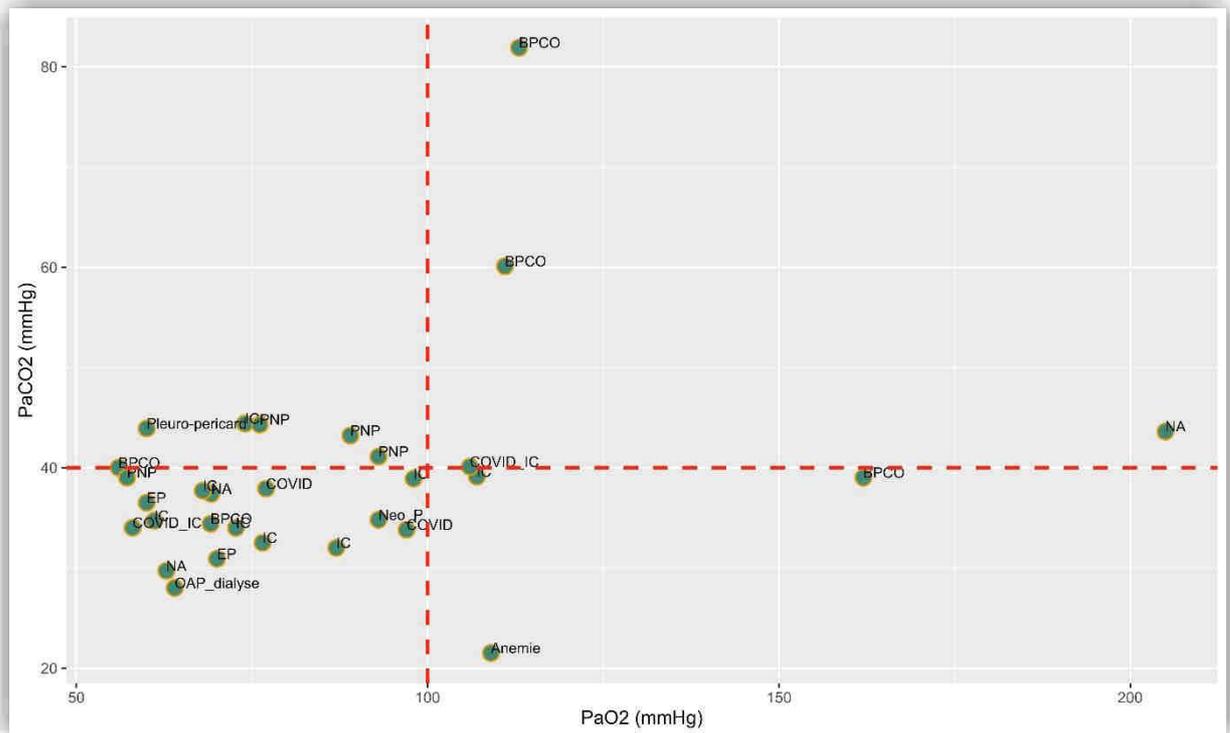


Figure 20 : Valeur de la PaO<sub>2</sub> en fonction de la PaCO<sub>2</sub>

### C. Pathologies retrouvées

Nous avons recueilli le diagnostic retenu à l'issue du passage aux urgences et/ou du séjour hospitalier du patient.

Les pathologies les plus fréquemment rencontrées sont les décompensations cardiaques avec des facteurs déclenchants divers (non-observance thérapeutique et écart au régime, anémie, infection, notamment à COVID-19, troubles du rythme, compression tumorale...). On retrouve ensuite les pathologies pulmonaires : exacerbations de BPCO, pneumopathies et infections à COVID-19. Les 4 patients positifs au COVID-19 présentaient des lésions au scanner d'étendue minime (< 10 %) à intermédiaire (25-50 %). Notre population comportait 2 cas d'embolie pulmonaire, l'une proximale bilatérale et l'autre tronculaire gauche et lobaire droite.

Enfin aucun diagnostic n'a été retenu pour 3 patients : 1 patient sorti contre-avis médical et 2 patients rentrés à domicile après un bilan étiologique négatif et une régression des symptômes.

	Effectifs	Proportions
Décompensation cardiaque	8	26,67
Exacerbation BPCO	5	16,67
Pneumopathie	4	13,33
COVID	2	6,67
COVID + décompensation cardiaque	2	6,67
Embolie pulmonaire	2	6,67
Découverte tumeur pulmonaire	1	3,33
Anémie	1	3,33
OAP de surcharge	1	3,33
Pleuro-péricardite virale	1	3,33
Pas de diagnostic	3	10
Total	30	100

Tableau 5 : Effectifs des différentes pathologies retrouvées

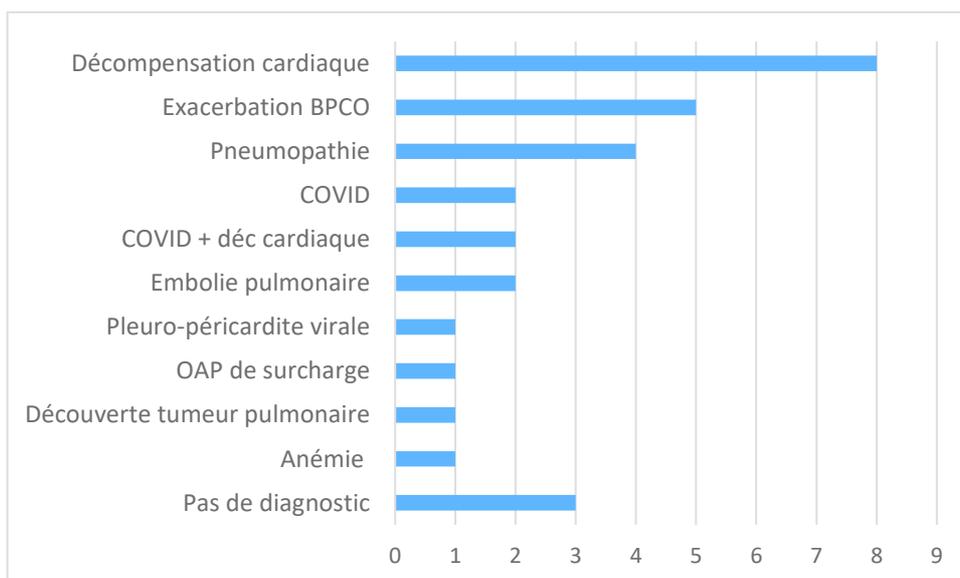
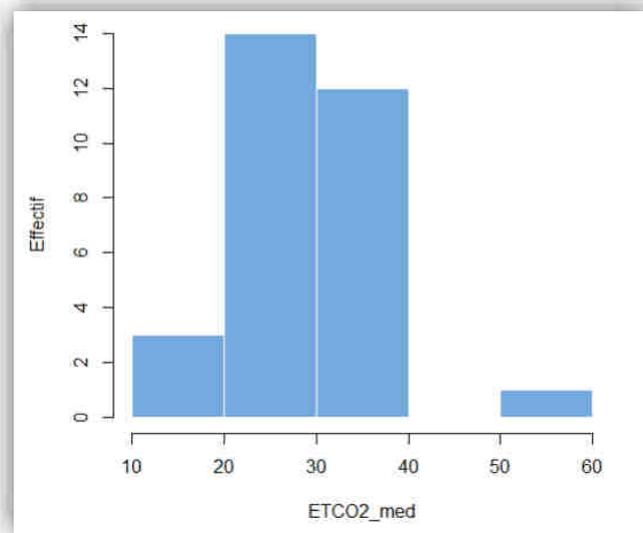
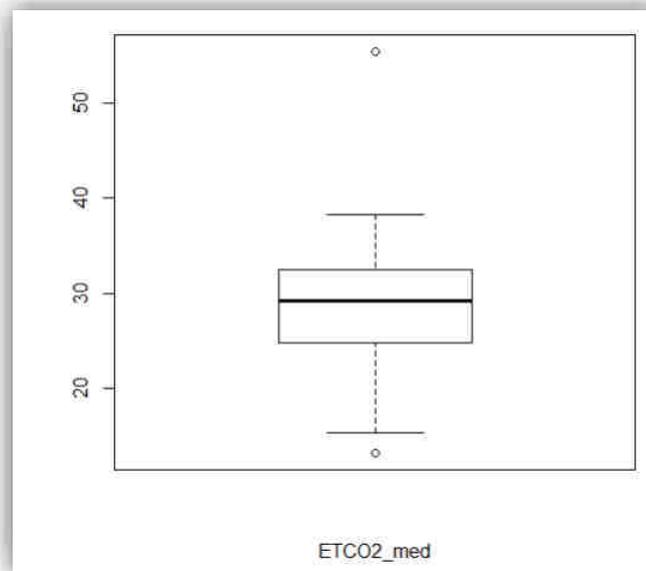


Figure 21 : Effectifs des différentes pathologies retrouvées

D. Valeur d'ETCO<sub>2</sub>

	Minimum	1 <sup>er</sup> quartile	Moyenne	Médiane	3 <sup>ème</sup> quartile	Maximum	Ecart-type
ETCO <sub>2</sub>	13,2	24,99	28,96	29,25	32,5	55,4	7,7

Tableau 6 : Caractéristiques des valeurs d'ETCO<sub>2</sub>Figure 22 : Répartition des valeurs d'ETCO<sub>2</sub>Figure 23 : Représentation des valeurs d'ETCO<sub>2</sub>

	COVID	COVID + déc card	Déc card	EBPCO	EP	PNP
Moyenne	30,80	32,05	30,30	32,74	20,00	31,09
Ecart-type	2,40	0,99	5,44	13,79	6,65	5,00
Variance	5,78	0,98	29,56	190,15	44,18	24,95
Minimum	29,10	31,35	23,00	17,85	15,30	24,80
Maximum	32,50	32,75	38,20	55,40	24,70	35,65
Q1	29,95	31,70	26,19	28,50	17,65	28,25
Médiane	30,80	32,05	29,95	30,20	20,00	31,95
Q3	31,65	32,40	34,19	31,75	22,35	34,79

Tableau 7 : Caractéristiques des valeurs d'ETCO<sub>2</sub> dans les pathologies cardio-pulmonaires  
(Avec déc card = décompensation cardiaque, EBPCO = exacerbation de BPCO, EP = embolie pulmonaire, PNP = pneumopathie)

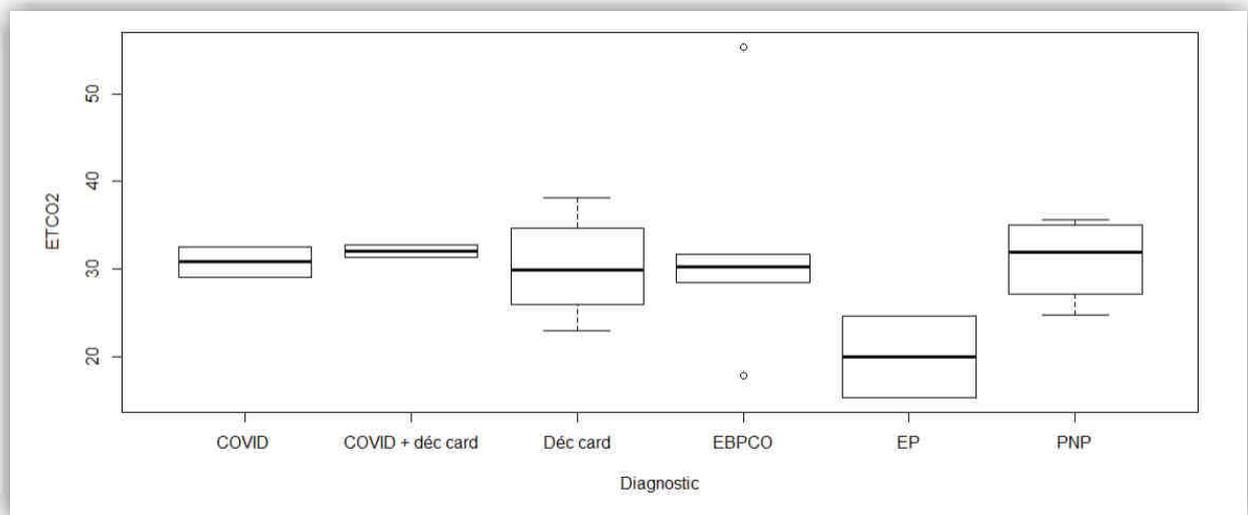


Figure 24 : Représentation de la valeur d'ETCO<sub>2</sub> par pathologie  
(Avec déc card = décompensation cardiaque, EBPCO = exacerbation de BPCO, EP = embolie pulmonaire, PNP = pneumopathie)

### E. Gradient PaCO<sub>2</sub>-PETCO<sub>2</sub>

La valeur moyenne du gradient PaCO<sub>2</sub>-PETCO<sub>2</sub> dans la population étudiée était de 9,99 +/- 7,39 mmHg avec une valeur minimale de - 1,65 mmHg et une valeur maximale de 28,35 mmHg. Plus de 75 % des patients avaient un gradient PaCO<sub>2</sub>-PETCO<sub>2</sub> augmenté (supérieur à 5 mmHg).

	Minimum	Q1	Médiane	Moyenne	Q3	Maximum	Ecart-type	Variance
Gradient	-1,65	5,53	8,68	9,99	13,77	28,35	7,39	54,64

Tableau 8 : Caractéristiques du gradient PaCO<sub>2</sub>-PETCO<sub>2</sub> de la population

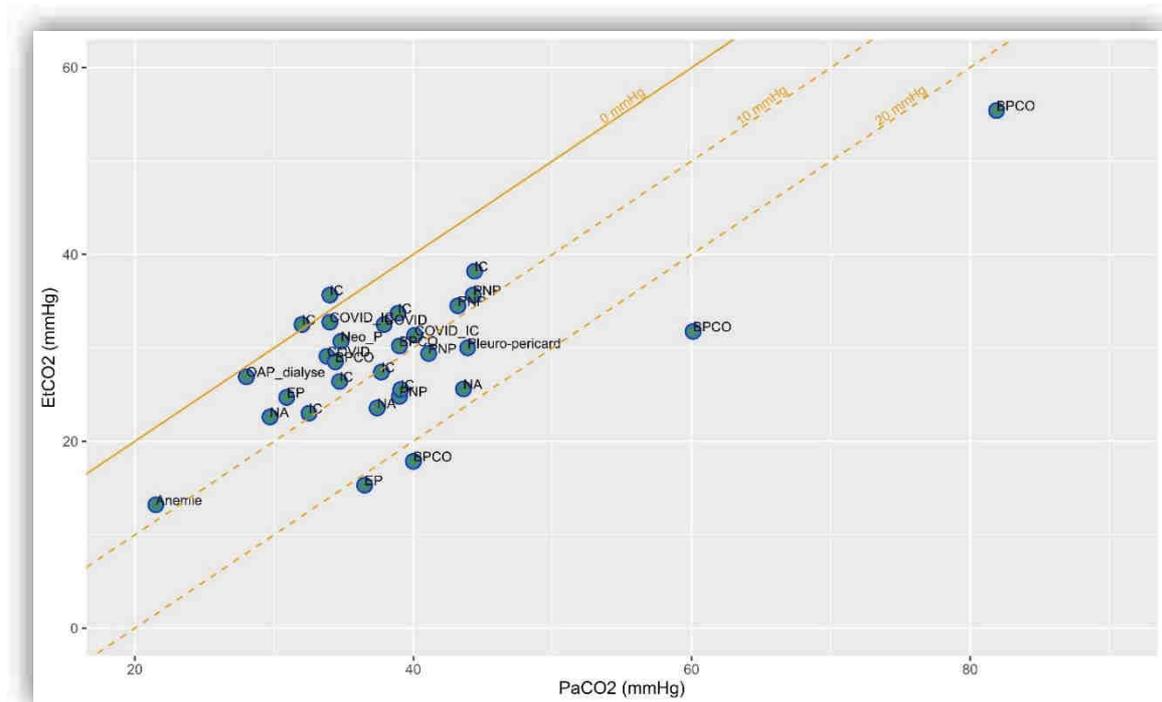


Figure 25 : Répartition des valeurs du gradient PaCO<sub>2</sub>-PETCO<sub>2</sub>

Nous avons retrouvé un gradient PaCO<sub>2</sub>-PETCO<sub>2</sub> augmenté dans globalement 3 pathologies :

- Les exacerbations de BPCO avec une valeur moyenne du gradient PaCO<sub>2</sub>-PETCO<sub>2</sub> de 18,34 +/- 10,33 mmHg et une valeur maximale de 28,35 mmHg.
- Les pneumopathies avec un gradient moyen de 10,81 +/- 2,67 mmHg.
- Les embolies pulmonaires avec une valeur de 6,2 mmHg chez le patient présentant une atteinte tronculaire/lobaire et de 21,2 mmHg pour l'atteinte proximale bilatérale.

Les valeurs du gradient PaCO<sub>2</sub>-PETCO<sub>2</sub> dans les décompensations cardiaques apparaissent beaucoup plus hétérogènes, allant de -1,65 mmHg à 13,55 mmHg.

Enfin, le gradient PaCO<sub>2</sub>-PETCO<sub>2</sub> ne semble pas modifié en cas de pneumopathie à COVID-19, sa valeur moyenne étant de 5 +/- 0,5 mmHg dans notre étude.

	COVID	COVID + déc cardiaque	Décompensation cardiaque	EBPCO	EP	PNP
Effectifs	2	2	8	5	2	4
Moyenne	5,05	5,00	6,36	18,34	13,70	10,81
Ecart-type	0,49	5,30	5,26	10,33	10,61	2,67
Minimum	4,70	1,25	-1,65	5,90	6,20	8,65
Maximum	5,40	8,75	13,55	28,35	21,20	14,20
Q1	4,88	3,12	3,77	8,80	9,95	8,69
Médiane	5,05	5,00	7,25	22,15	13,70	10,20
Q3	5,22	6,88	9,70	26,50	17,45	12,32

Tableau 9 : Valeur et caractéristiques du gradient PaCO<sub>2</sub>-PETCO<sub>2</sub> dans les pathologies cardio-pulmonaires (Avec déc cardiaque = décompensation cardiaque, EBPCO = exacerbation de BPCO, EP = embolie pulmonaire, PNP = pneumopathie)

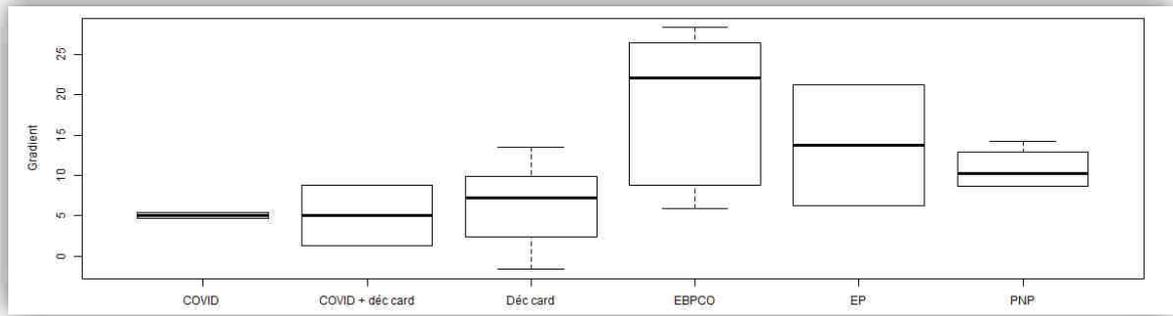


Figure 26 : Représentation du gradient  $\text{PaCO}_2\text{-PETCO}_2$  dans les pathologies cardio-pulmonaires (Avec déc card = décompensation cardiaque, EBPCO = exacerbation de BPCO, EP = embolie pulmonaire, PNP = pneumopathie)

Les patients en exacerbation de BPCO sont plutôt caractérisés par des gradients élevés avec des valeurs de  $\text{PaCO}_2$  élevées. A l'opposé, les patients en décompensation cardiaque ont des gradients faibles avec des valeurs de  $\text{PaCO}_2$  basses (figures 28 et 29).

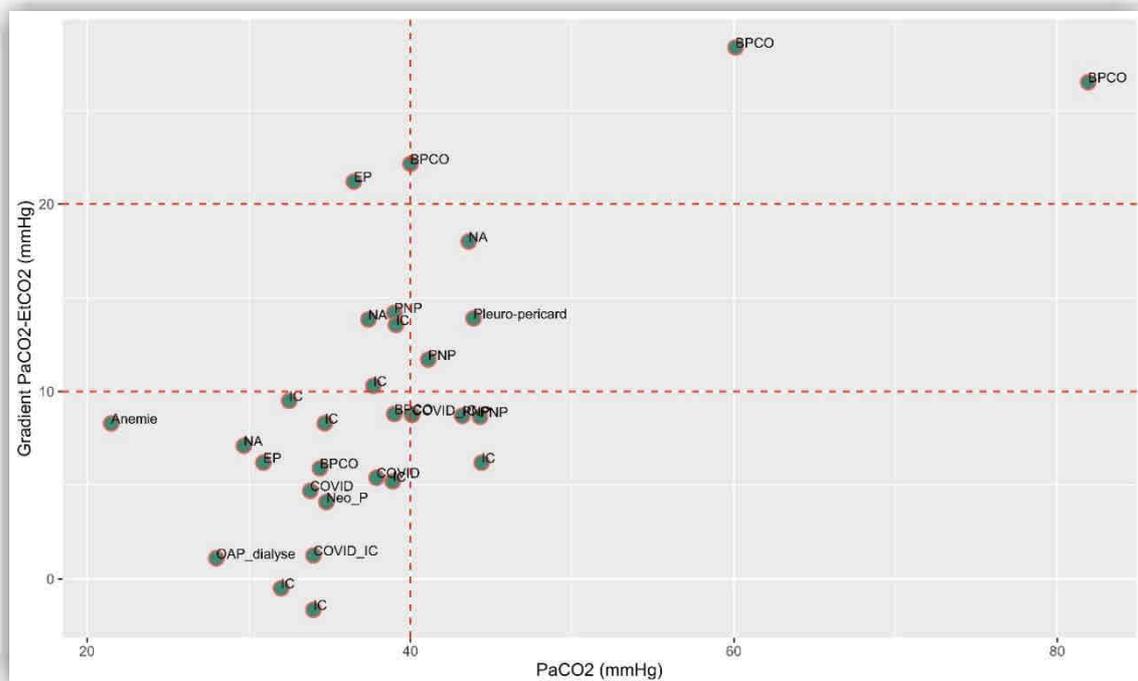


Figure 27 : Répartition des valeurs du gradient  $\text{PaCO}_2\text{-PETCO}_2$  en fonction de la  $\text{PaCO}_2$

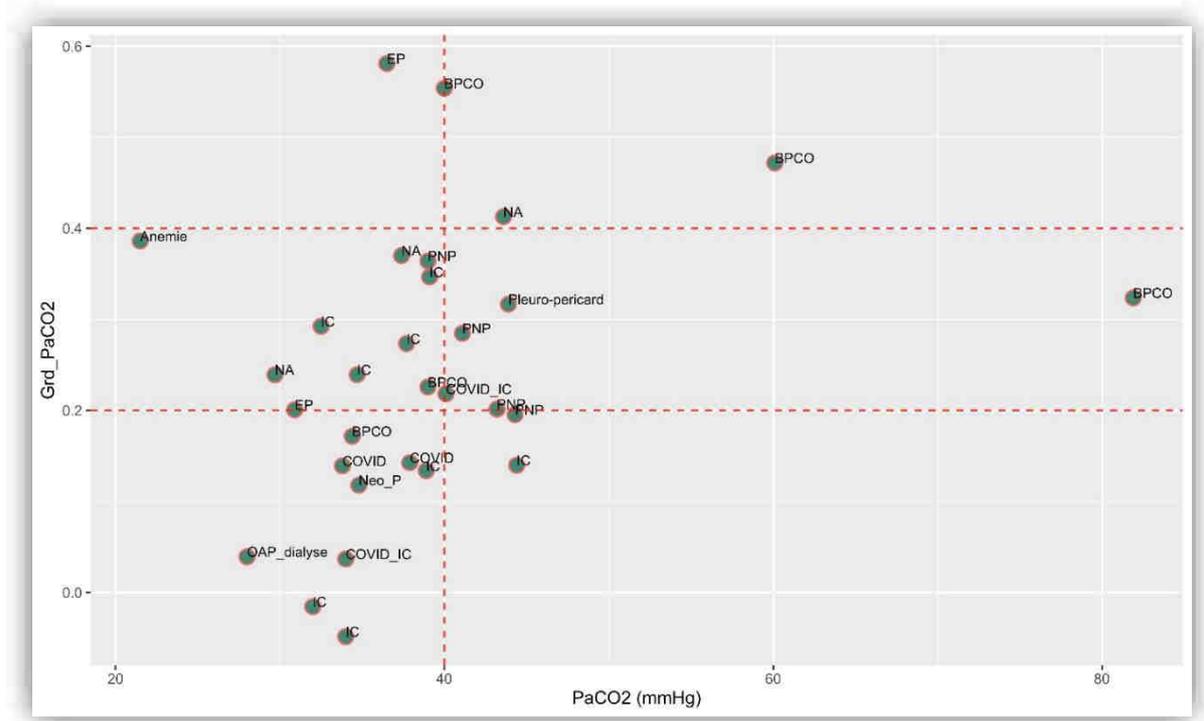


Figure 28 : Répartition des valeurs du gradient rapporté à la PaCO<sub>2</sub> en fonction de la PaCO<sub>2</sub>

Un autre facteur qui semble affecter le gradient PaCO<sub>2</sub>-PETCO<sub>2</sub> est la présence d'emphysème au niveau pulmonaire. Le gradient moyen chez les patients emphysémateux était de 17,88 +/- 9,31 mmHg.

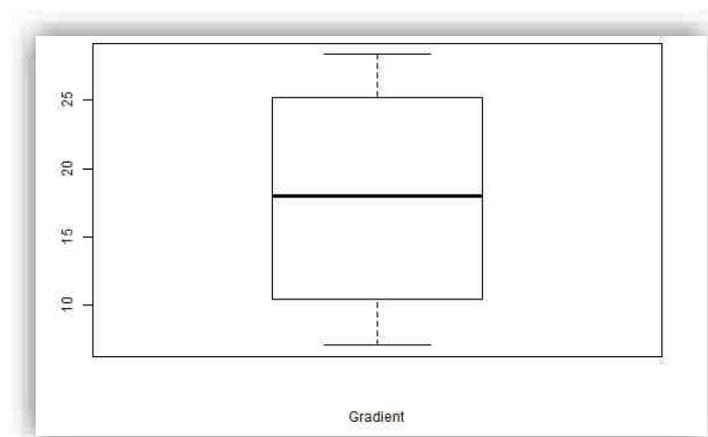


Figure 29 : Représentation du gradient PaCO<sub>2</sub>-PETCO<sub>2</sub> chez les patients emphysémateux

	Moyenne	Minimum	Maximum	Q1	Médiane	Q3	Ecart-type	Variance
Emphysème	17,88	7,10	28,35	12,2	18,02	23,7	9,31	86,63

Tableau 10 : Caractéristiques du gradient PaCO<sub>2</sub>-PETCO<sub>2</sub> chez les patients emphysémateux

## F. Autres données de l'analyse des courbes et du gradient

### a. Variabilité de la valeur d'ETCO<sub>2</sub>

Nous avons recueilli l'écart-type de la valeur d'ETCO<sub>2</sub> pour chaque patient afin d'estimer la variabilité de la valeur d'ETCO<sub>2</sub> d'un cycle respiratoire à l'autre. Les patients en exacerbation de BPCO ont une valeur d'ETCO<sub>2</sub> qui varie de manière importante d'un cycle à l'autre. Cette variabilité est à mettre en lien avec le degré de déformation de la courbe (absence de plateau alvéolaire) et explique, en partie au moins, l'élévation du gradient PaCO<sub>2</sub>-PETCO<sub>2</sub> pour ces patients.

	COVID	COVID + déc card	Déc card	EBPCO	EP	PNP
Moyenne	2.29	3.04	2.26	4.66	1.16	2.43
Minimum	0.84	2.11	0.50	2.09	0.55	1.08
Maximum	3.74	3.97	4.55	8.38	1.78	3.12
Q1	1.56	2.58	1.16	3.38	0.86	2.33
Mediane	2.29	3.04	2.06	3.58	1.16	2.75
Q3	3.02	3.50	3.12	5.89	1.47	2.85

Tableau 11 : Caractéristiques de la valeur de la déviation standard en fonction de la pathologie (Avec déc card = décompensation cardiaque, EBPCO = exacerbation de BPCO, EP = embolie pulmonaire, PNP = pneumopathie)

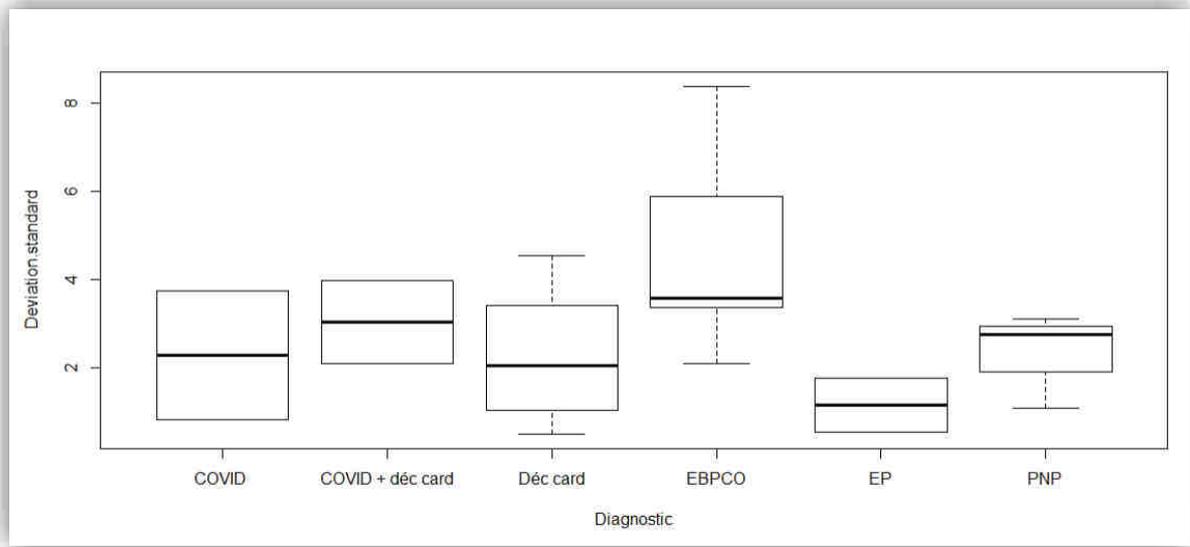


Figure 30 : Représentation de la variabilité de la valeur d'ETCO<sub>2</sub> en fonction du diagnostic (Avec déc card = décompensation cardiaque, EBPCO = exacerbation de BPCO, EP = embolie pulmonaire, PNP = pneumopathie)

*b. Rapport PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> et gradient PaCO<sub>2</sub>-PETCO<sub>2</sub>*

Nous avons représenté la répartition des valeurs du gradient PaCO<sub>2</sub>-PETCO<sub>2</sub> en fonction du degré d'hypoxémie exprimé à l'aide du rapport PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> (figures 32 et 33).

Les patients en exacerbation de BPCO ainsi que l'embolie pulmonaire proximale ayant des gradients PaCO<sub>2</sub>-PETCO<sub>2</sub> très augmentés ont un degré d'hypoxémie relativement important.

Les pneumopathies forment un groupe plutôt homogène avec un rapport PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> aux alentours de 300 mmHg et un gradient PaCO<sub>2</sub>-PETCO<sub>2</sub> d'environ 10 mmHg.

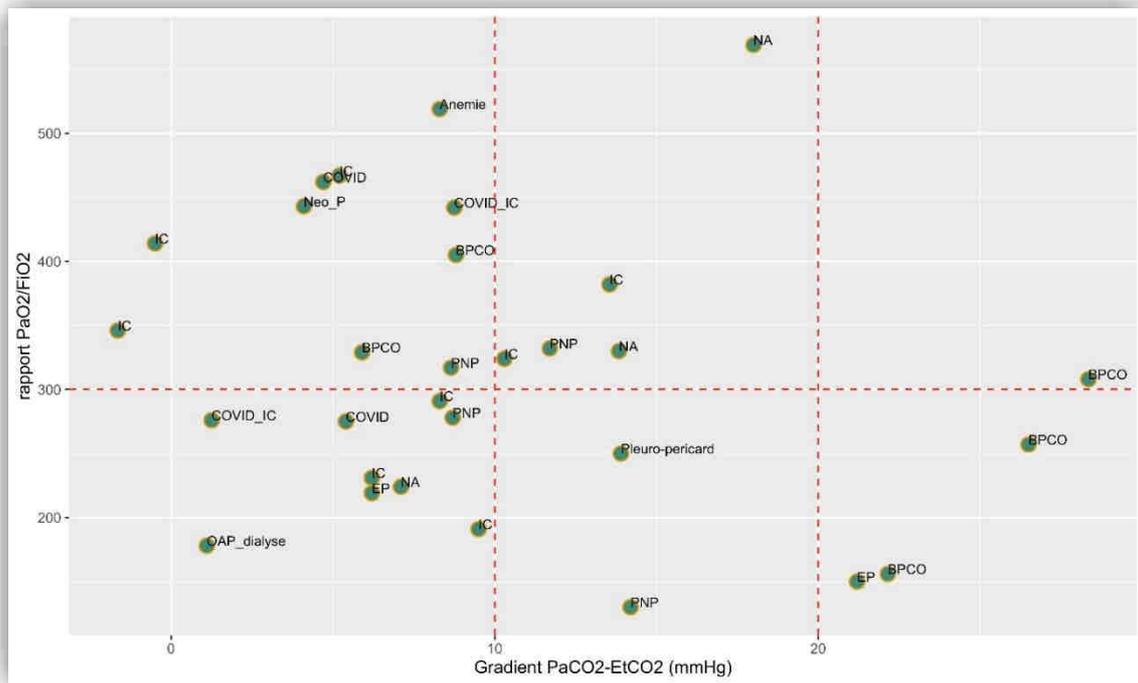


Figure 31 : Répartition des valeurs du gradient PaCO<sub>2</sub>-PETCO<sub>2</sub> en fonction du rapport PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub>

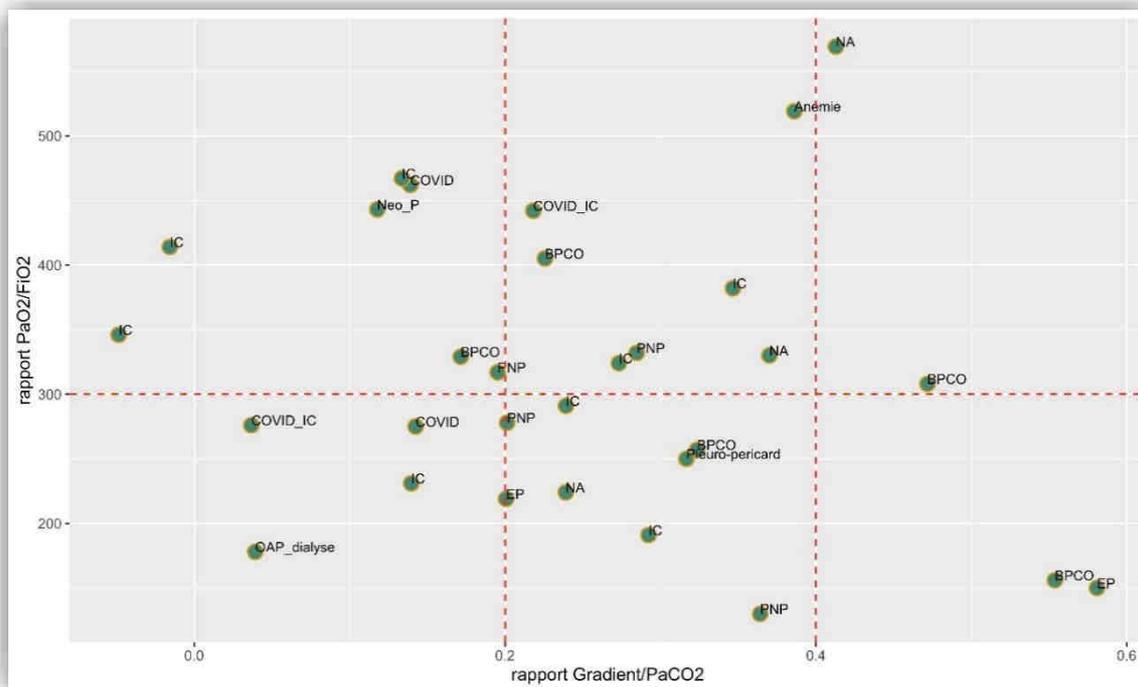


Figure 32 : Répartition des valeurs du gradient PaCO<sub>2</sub>-PETCO<sub>2</sub> rapporté à la PaCO<sub>2</sub> en fonction du rapport PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub>

c. Déformation de la courbe et degré d'obstruction

Comme décrit précédemment, nous avons quantifié la déformation de la courbe à l'aide du calcul du ratio2. Les figures 33 et 34 correspondent à des visualisations descriptives bivariées à l'aide de graphiques en 2 dimensions entre les valeurs du ratio2 et le gradient  $\text{PaCO}_2\text{-PETCO}_2$  d'une part et les valeurs du ratio2 et le gradient  $\text{PaCO}_2\text{-PETCO}_2$  rapporté à la  $\text{PaCO}_2$  d'autre part. Les exacerbations de BPCO ont une courbe très déformée avec un gradient  $\text{PaCO}_2\text{-PETCO}_2$  augmenté. A l'inverse, l'embolie pulmonaire proximale ayant un gradient  $\text{PaCO}_2\text{-PETCO}_2$  très augmenté a une courbe peu déformée.

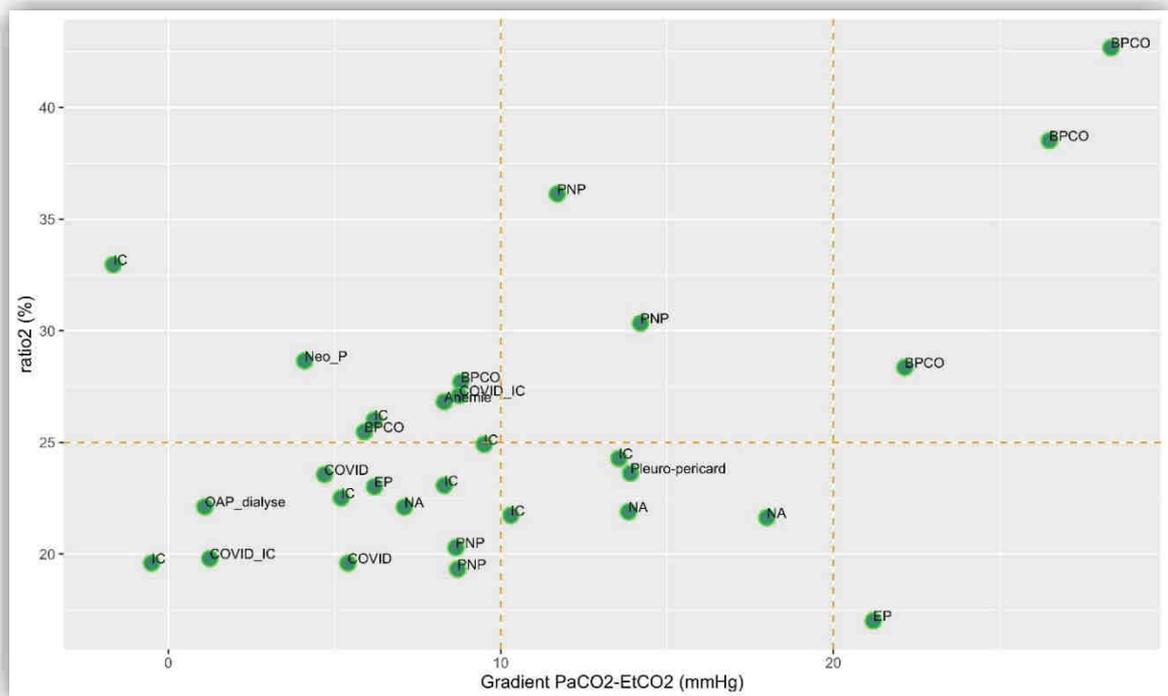


Figure 33 : Répartition des valeurs du ratio2 en fonction du gradient  $\text{PaCO}_2\text{-PETCO}_2$

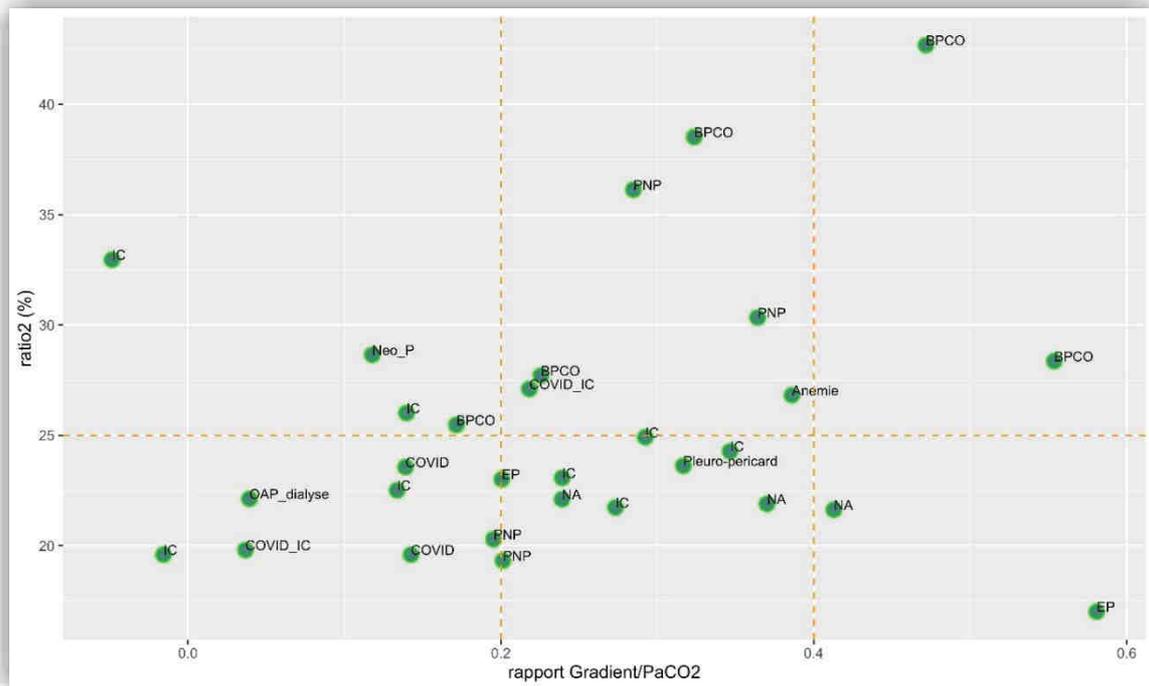


Figure 34 : Répartition des valeurs du ratio2 en fonction du gradient  $\text{PaCO}_2\text{-PETCO}_2$  rapporté à la  $\text{PaCO}_2$

*d. Aire sous la courbe du capnogramme*

Nous avons mesuré l'aire sous la courbe des capnogrammes que nous avons divisée par le temps expiratoire (aire\_temps) afin d'avoir un reflet du débit de  $\text{CO}_2$  ( $\dot{V}\text{CO}_2$ ). Les graphiques 35 et 36 permettent une visualisation descriptive bivariée entre cette variable et le gradient  $\text{PaCO}_2\text{-PETCO}_2$ .

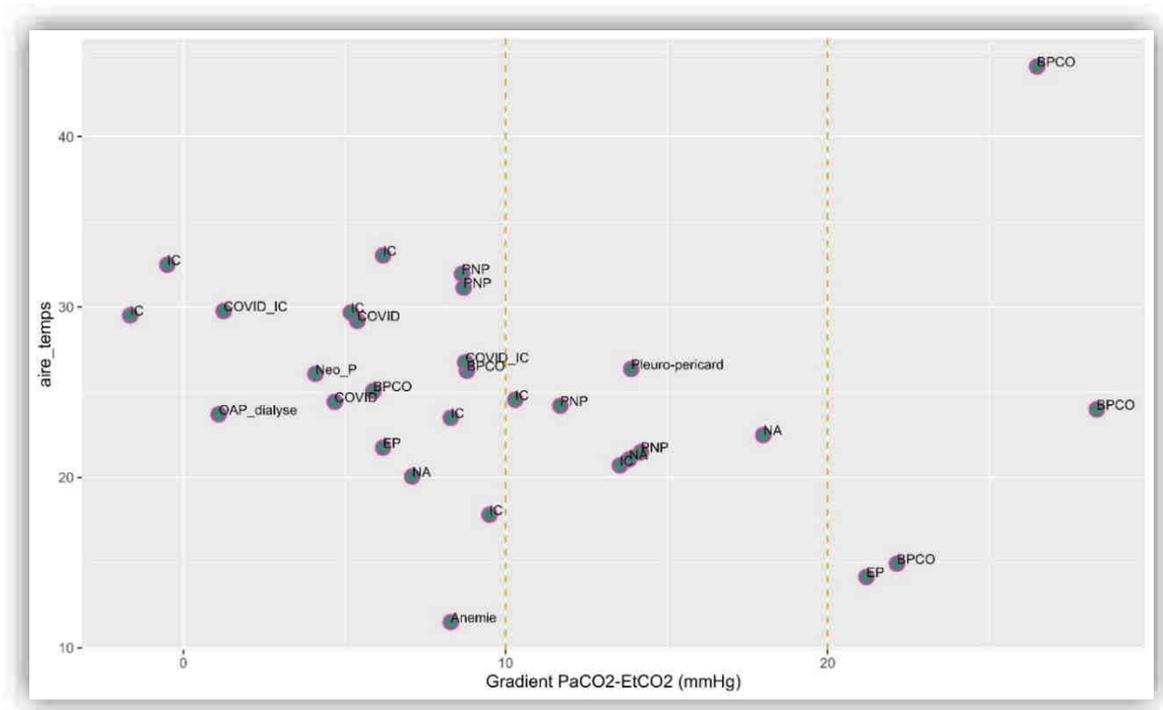


Figure 35 : Répartition des valeurs de l'aire sous la courbe du capnogramme divisée par le temps en fonction du gradient PaCO<sub>2</sub>-PETCO<sub>2</sub>

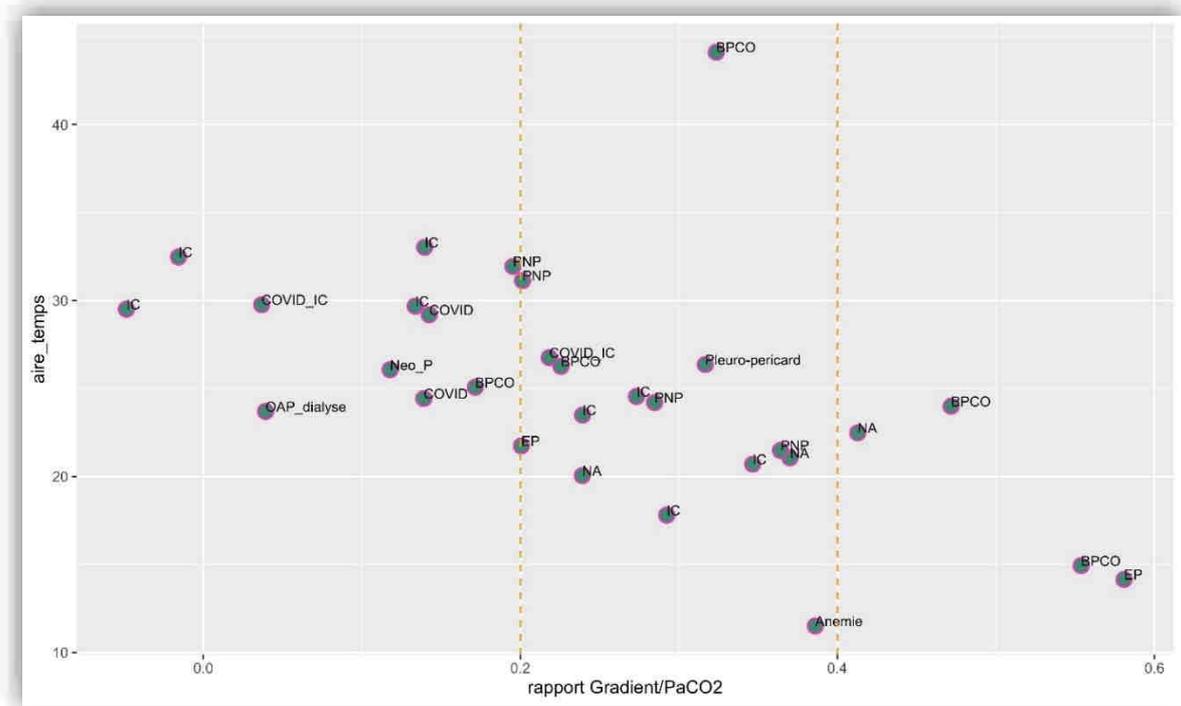


Figure 36 : Répartition des valeurs de l'aire sous la courbe du capnogramme divisée par le temps en fonction du gradient PaCO<sub>2</sub>-PETCO<sub>2</sub> rapporté à la PaCO<sub>2</sub>

Enfin, la figure 37 représente le gradient  $\text{PaCO}_2\text{-PETCO}_2$  rapporté à la  $\text{PaCO}_2$  (forme de « normalisation » du gradient) en ordonnée et le rapport gradient sur aire\_temps en abscisse, ce dernier permettant de calculer une forme de résistance des voies aériennes. En effet, en extrapolant des formules  $U = R \times I$  pour les circuits électriques et  $dP = R \times Q$  pour les fluides dont les gaz, on obtient  $\text{gradient} = R \times \text{VCO}_2$  donnant  $R = \text{Gradient}/\text{VCO}_2$ . La droite représente l'égalité des valeurs. On peut constater que les décompensations cardiaques ont une résistance à l'évacuation du  $\text{CO}_2$  quasiment nulle alors que les BPCO et embolies pulmonaires ont une résistance importante.

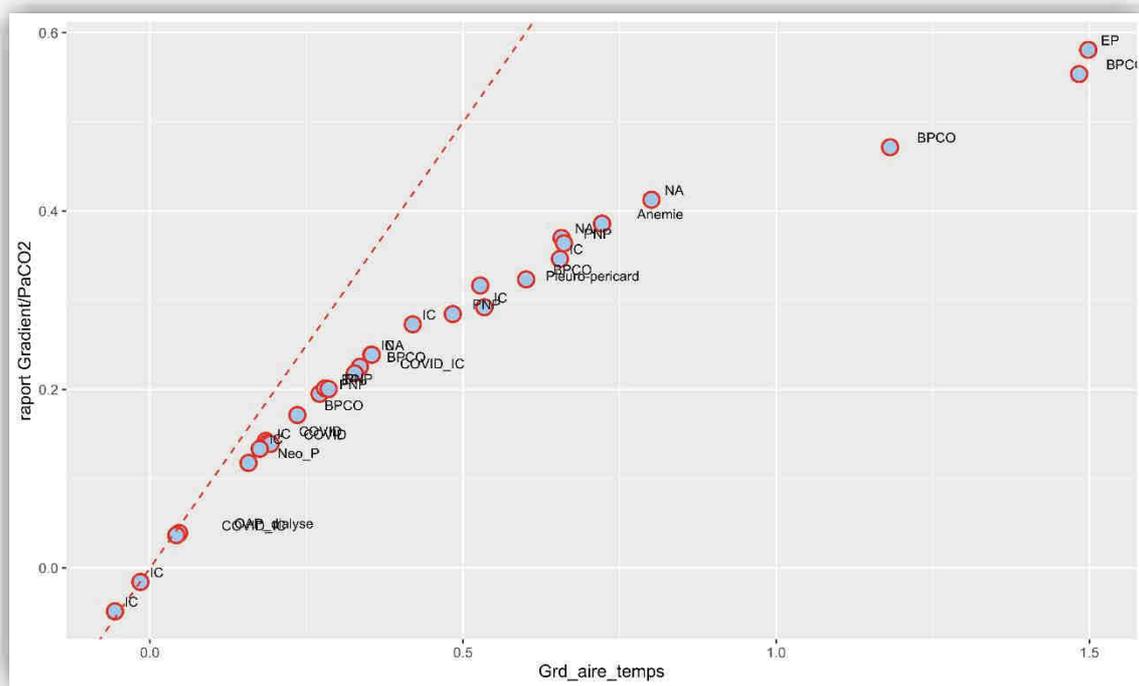


Figure 37 : Représentation du rapport gradient/ $\text{PaCO}_2$  en fonction du rapport gradient  $\text{PaCO}_2\text{-PETCO}_2$  sur aire\_temps

### III. DISCUSSION

#### A. Analyse des résultats et comparaison par rapport à la littérature

Les résultats de notre étude montrent des variations importantes du gradient  $\text{PaCO}_2\text{-PETCO}_2$  avec des valeurs allant de - 1,65 mmHg à plus de 28 mmHg, ce qui permet de confirmer que la valeur de l' $\text{ETCO}_2$  ne peut en aucun cas être utilisée pour estimer la  $\text{PaCO}_2$  comme de nombreux auteurs parmi lesquels Delerme et al (5), Jabre et al (6) Belpomme et al (56) l'ont déjà décrit par le passé.

Les pathologies pour lesquelles les valeurs du gradient  $\text{PaCO}_2\text{-PETCO}_2$  sont les plus élevées sont avant tout les exacerbations de BPCO (gradient moyen de  $18,34 \pm 10,33$  mmHg). En effet, les pathologies obstructives sont caractérisées par des  $\text{ETCO}_2$  plus faibles en ventilation spontanée comme l'ont décrit Langhan et al (16) pour l'asthme et Kartal et al (8) pour la BPCO. Cela peut s'expliquer, en partie au moins, par la déformation de la courbe de capnographie et l'absence de plateau alvéolaire en phase III, sous-estimant ainsi la valeur de l' $\text{ETCO}_2$ . Des manœuvres d'expiration prolongée chez ces patients permettent de diminuer la valeur du gradient  $\text{PaCO}_2\text{-PETCO}_2$ , ceci concorde avec une variabilité importante de la valeur d' $\text{ETCO}_2$  d'un cycle respiratoire à l'autre constatée chez ces patients.

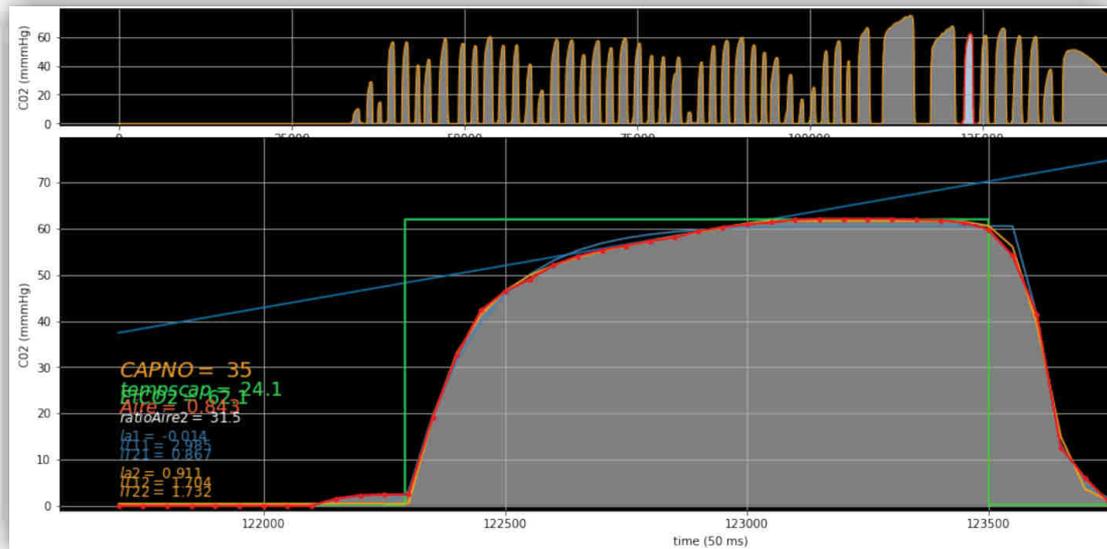


Figure 38 : Exemple de courbe de capnographie obstructive

Deux autres pathologies qui semblent également être associées à des gradients  $\text{PaCO}_2\text{-PETCO}_2$  augmentés sont la présence d'emphysème (valeur moyenne de  $17,88 \pm 9,31$  mmHg) et l'embolie pulmonaire. Notre étude comportait deux cas d'embolie pulmonaire, l'une proximale bilatérale avec un gradient  $\text{PaCO}_2\text{-PETCO}_2$  de 21,2 mmHg et l'autre plus distale avec un gradient de 6,2 mmHg. Les manœuvres expiratoires chez ces patients ne modifiaient pas ou peu la valeur du gradient  $\text{PaCO}_2\text{-PETCO}_2$ . Ces deux pathologies sont associées à une augmentation de l'espace mort. En effet, de nombreuses équipes comme celle de Mac Swain et al (11) et celle de Yamana et al (12) ont décrit une augmentation du gradient  $\text{PaCO}_2\text{-PETCO}_2$  corrélée à l'augmentation du rapport  $\text{VD}/\text{VT}$ . La constatation d'un gradient très augmenté sans argument pour une obstruction (courbe en créneau) et non modifié après expiration prolongée serait ainsi plutôt en faveur d'une pathologie liée à un espace mort physiologique important.

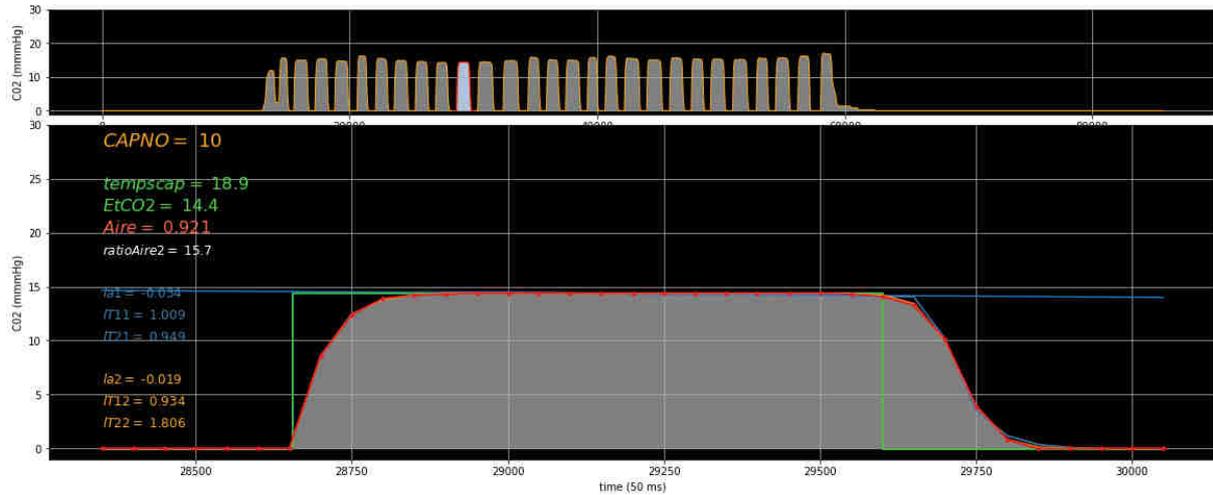


Figure 39 : Exemple de courbe de capnographie d'un patient ayant une embolie pulmonaire proximale bilatérale

Notre étude comportait 4 cas de pneumopathies qui étaient caractérisés par un gradient  $\text{PaCO}_2\text{-PETCO}_2$  augmenté à  $10,81 \pm 2,67$  mmHg. Il existe peu de données dans la littérature à ce sujet, l'augmentation du gradient pourrait être liée à la fois à un effet shunt par comblement des alvéoles pulmonaires et à un effet espace mort causé par l'état vasoplégique du sepsis.

Nous avons également inclus 4 cas de pneumopathies à COVID-19 dont 2 avec une part de décompensation cardiaque associée, le gradient  $\text{PaCO}_2\text{-PETCO}_2$  chez ces patients n'était que peu ou pas augmenté, avec des valeurs aux alentours de 5 mmHg. L'étendue des lésions au scanner chez ces patients était minimale à intermédiaire ce qui ne permet pas de conclure quant à une modification du gradient pour des atteintes plus sévères.

Les patients en décompensation cardiaque avaient des valeurs de gradient  $\text{PaCO}_2\text{-PETCO}_2$  très hétérogènes, de  $-1,65$  mmHg à  $13,55$  mmHg, avec une moyenne de  $6,36 \pm 5,26$  mmHg. Cette grande hétérogénéité peut être le fait de la multiplicité des tableaux cliniques, avec facteurs déclenchants et des mécanismes physiopathologiques très variés, mais surtout des

antécédents pulmonaires des patients. Notre population comportait également 1 patient dialysé chronique en OAP sur une surcharge sans autre antécédent pulmonaire, son gradient  $\text{PaCO}_2\text{-PETCO}_2$  n'était pas augmenté (1,1 mmHg). On peut ainsi supposer que la décompensation cardiaque gauche isolée ne provoque pas à elle seule une modification du gradient  $\text{PaCO}_2\text{-PETCO}_2$ .

Enfin, un autre facteur qui semble modifier la valeur du gradient  $\text{PaCO}_2\text{-PETCO}_2$  par diminution de l' $\text{ETCO}_2$  est l'hypoventilation. Le gradient  $\text{PaCO}_2\text{-PETCO}_2$  se corrige dans ce cas par des manœuvres d'expiration prolongée comme le montre la figure ci-dessous.

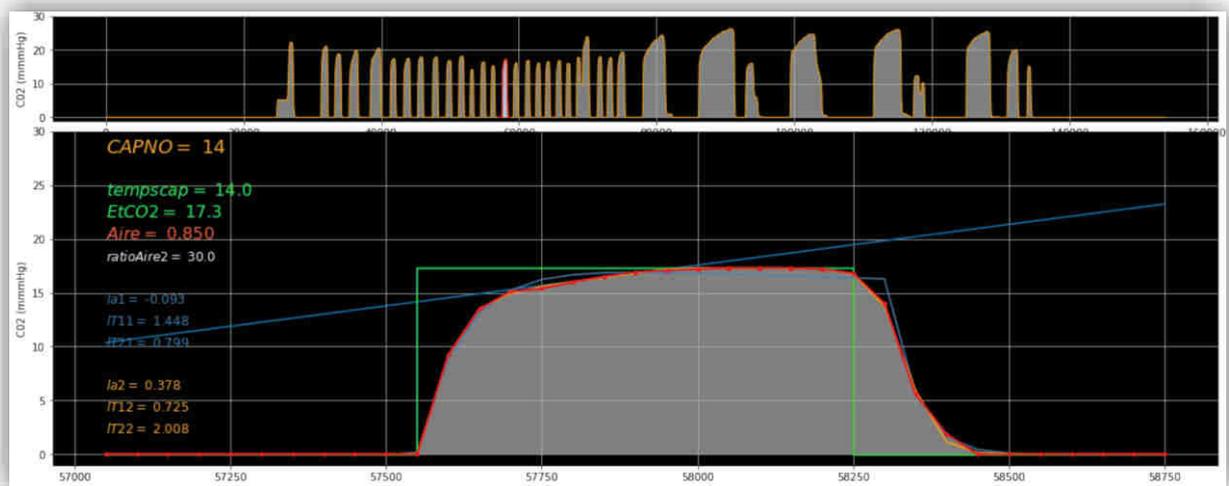


Figure 40 : Exemple de courbe de capnographie traduisant une hypoventilation puis modification après expirations prolongées

Nous avons observé un gradient  $\text{PaCO}_2\text{-PETCO}_2$  négatif chez 2 patients (- 0,5 mmHg et - 1,65 mmHg), tous les deux en décompensation cardiaque. Après relecture des courbes de capnographie, le temps expiratoire était très long chez ces patients, d'où une probable surestimation de l' $\text{ETCO}_2$  par vidange tardive d'alvéoles riches en  $\text{CO}_2$ . L'équipe de Tavernier

(57) décrivait ce phénomène chez des patients sous ventilation mécanique, de même que Lujan et al (53) pour des patients BPCO en ventilation spontanée.

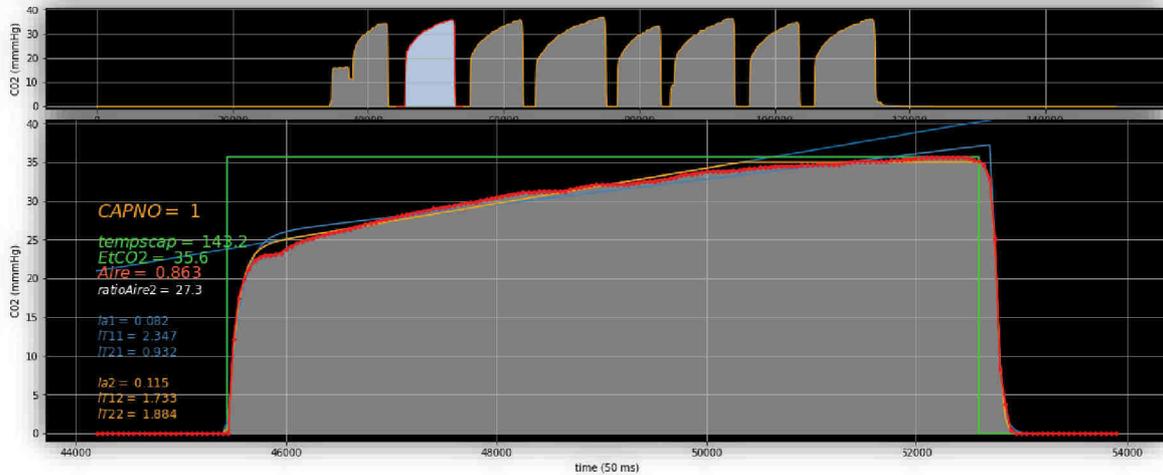


Figure 41 : Aspect de la courbe de capnographie en cas d'expiration prolongée avec gradient  $\text{PaCO}_2\text{-PETCO}_2$  négatif

Au cours de l'analyse de nos données, nous avons rapporté le gradient  $\text{PaCO}_2\text{-PETCO}_2$  à la valeur de  $\text{PaCO}_2$  ce qui permet d'établir une certaine « normalisation ». En effet, un gradient très augmenté avec une  $\text{PaCO}_2$  élevée n'a pas la même signification si la  $\text{PaCO}_2$  est basse ou normale. Notre dernier graphique représente ce gradient corrigé par la  $\text{PaCO}_2$  en fonction des résistances pulmonaires estimées par le rapport Gradient/aire\_temps (extrapolation à partir de la formule  $dP = R \times Q$  comme détaillé précédemment, la variable aire\_temps étant un reflet de la  $\dot{V}\text{CO}_2$ ). On constate que les décompensations cardiaques ont une résistance à l'évacuation du  $\text{CO}_2$  quasiment nulle alors que les BPCO et embolies pulmonaires ont des résistances importantes. Les résistances pulmonaires seraient par conséquent augmentées en cas de trouble ventilatoire ou d'anomalie de la perfusion pulmonaire.

Pour aller plus loin, on pourrait distinguer les patients présentant une résistance importante liée à un trouble ventilatoire de ceux dont la résistance est due à un trouble de perfusion en

utilisant les volumes et débits pulmonaires. Dans la BPCO ou l'hypoventilation, les volumes et débits sont peu importants et sont la cause de la diminution de l'évacuation du CO<sub>2</sub>. A contrario, l'embolie pulmonaire est une cause vasculaire avec trouble de la perfusion pulmonaire mais une ventilation conservée avec des volumes et débits pulmonaires élevés pour compenser le défaut d'extraction du CO<sub>2</sub>. Le rapport Gradient/débit ventilatoire serait donc plus important chez les BPCO et ceux qui hypoventilent et diminué dans l'embolie pulmonaire. Cela permettrait peut-être de distinguer les causes ventilatoires des causes de perfusions chez les patients présentant un gradient PaCO<sub>2</sub>-EtCO<sub>2</sub> élevé.

## B. Forces et faiblesses

L'une des principales limites de cette étude est le faible effectif de patients, notre service ne disposant que d'un appareil de capnométrie et la durée de l'étude étant très courte. Les faibles effectifs pour chaque pathologie ne permettent pas de tirer de conclusions solides mais plutôt d'observer des tendances qui devront être confirmées par des études de plus grande ampleur.

Un des obstacles majeurs à l'utilisation de la capnographie en ventilation spontanée chez des patients dyspnéiques aux urgences mis en évidence lors de notre étude est la difficulté de la mesure. En effet, 2 patients ont dû être exclus de notre étude en raison de tracés impossibles à interpréter. Les principaux facteurs limitants retrouvés sur le terrain sont l'importance de la dyspnée (entre autres la présence d'un masque à oxygène) et les troubles de la compréhension.

Notre recrutement, réalisé de manière aléatoire, peut également constituer un biais de sélection, néanmoins les pathologies des patients inclus sont plutôt variées et correspondent à celles retrouvées au sein d'un service d'accueil des urgences adultes.

L'interprétation des résultats est également biaisée par le peu de caractérisation des patients sur le plan de la physiologie respiratoire. Des examens complémentaires comme des EFR permettraient d'avoir une interprétation des causes de variation du gradient  $\text{PaCO}_2\text{-PETCO}_2$  plus précise.

Enfin, nous avons utilisé la valeur médiane d' $\text{ETCO}_2$  pour chaque patient afin de calculer le gradient  $\text{PaCO}_2\text{-PETCO}_2$ , pouvant être responsable d'un biais de mesure au vu de la variabilité importante de la valeur d' $\text{ETCO}_2$  d'un cycle à l'autre pour un même patient.

Malgré ces biais, cette étude est intéressante sur plusieurs points. Il s'agit avant tout d'une étude exploratoire menée en conditions réelles. Notre population reflète la diversité des patients retrouvés dans un service d'urgences adultes avec des pathologies variées et une population souvent âgée. Il s'agit d'une technique simple, rapide et peu onéreuse à mettre en œuvre qui donne une information supplémentaire pouvant guider l'orientation diagnostique mais permettant aussi d'adapter le traitement en fonction des mécanismes physiopathologiques en cause.

### C. Perspectives

Cette étude est un travail exploratoire et précurseur qui devra être enrichi par la suite avec de nouvelles expérimentations de plus grande ampleur. Elles permettront d'affiner ces premières hypothèses et plus particulièrement de définir la place de la capnographie associée à l'étude du gradient  $\text{PaCO}_2\text{-PETCO}_2$  dans la démarche diagnostique devant une dyspnée aux urgences.

Il serait intéressant de compléter ce travail par une étude similaire menée aux urgences mais avec un effectif plus important et en essayant de mieux caractériser l'état pulmonaire du patient (évaluation de la volémie en échographie, imagerie thoracique, antécédents du patient sur le plan pulmonaire, EFR...). Cet effectif plus important permettrait d'effectuer des analyses en sous-groupes, notamment d'étudier la variation de la valeur du gradient  $\text{PaCO}_2\text{-PETCO}_2$  au sein de chaque pathologie.

Les mesures de la  $\dot{V}\text{CO}_2$  et de la  $\dot{V}\text{O}_2$  permettraient également d'apporter des précisions complémentaires sur la fonctionnalité respiratoire, tout comme la mesure des débits et volumes pulmonaires. On pourrait par ailleurs envisager d'y associer la capnographie volumétrique afin d'évaluer les espaces morts anatomique et physiologique.

## CONCLUSION

La dyspnée est l'un des principaux motifs de consultation dans les services d'urgences et pose un enjeu diagnostique majeur avec de nombreuses étiologies souvent intriquées. La capnographie est un élément de monitoring simple et non invasif qui donne à la fois des informations sur le statut métabolique, respiratoire et hémodynamique du patient. Elle est largement utilisée chez le patient intubé, que ce soit en anesthésie ou en médecine d'urgence, pour vérifier la position endotrachéale de la sonde d'intubation, dépister de manière précoce une complication aiguë (collapsus, déconnexion du ventilateur, obstruction de la sonde...) et optimiser la prise en charge sur les plans hémodynamique et ventilatoire. L'utilisation du monitoring du CO<sub>2</sub> expiré chez le patient en ventilation spontanée reste cependant plus anecdotique dans la pratique courante. Cette sous-utilisation peut être en partie expliquée par des difficultés d'interprétation des mesures. En effet, la valeur de l'EtCO<sub>2</sub> ne permet pas de prédire la PaCO<sub>2</sub> de manière fiable, la différence entre ces deux valeurs peut augmenter fortement dans de nombreuses pathologies et états cardio-pulmonaires.

Notre étude avait pour objectif d'étudier les variations du gradient PaCO<sub>2</sub>-PETCO<sub>2</sub> chez les patients consultant pour dyspnée aux urgences du Nouvel Hôpital Civil de Strasbourg. Nous avons inclus 30 patients avec un gradient moyen de 10 mmHg avec des valeurs allant de -1,65 mmHg à plus de 28 mmHg. Les principales pathologies rencontrées sont des décompensations cardiaques, exacerbations de BPCO, pneumopathies, infections à COVID-19 et embolies pulmonaires. Des gradients PaCO<sub>2</sub>-PETCO<sub>2</sub> fortement augmentés ont été principalement retrouvés dans les exacerbations de BPCO, pneumopathies et embolies pulmonaires ainsi que chez les patients emphysémateux.

Le gradient  $\text{PaCO}_2\text{-PETCO}_2$ , et par extension la valeur de  $\text{ETCO}_2$ , paraît être un critère composite puisqu'il augmente à la fois en cas de troubles ventilatoires, notamment les troubles obstructifs, et en présence de facteurs perturbant la perfusion pulmonaire. L'analyse systématique du gradient  $\text{PaCO}_2\text{-PETCO}_2$  associée à l'analyse de la forme de la courbe pourrait être hautement informative devant un tableau de dyspnée. L'augmentation du gradient  $\text{PaCO}_2\text{-PETCO}_2$  retrouvée dans les troubles obstructifs aigus peut s'expliquer par l'aspect de la courbe de capnographie en aile de requin avec un plateau alvéolaire tronqué reflet d'une évolution non stationnaire de  $\text{ETCO}_2$ , d'où une valeur d' $\text{ETCO}_2$  plus faible en expiration normale. La fréquence ventilatoire influence également le gradient  $\text{PaCO}_2\text{-PETCO}_2$ . L' $\text{ETCO}_2$  est largement sous-estimée chez le patient polypnéique, le faible volume courant mobilisé à chaque cycle respiratoire ne permettant pas de ventiler l'ensemble des alvéoles pulmonaires. Ce gradient, qu'il soit obstructif ou lié à un faible volume courant, peut être réduit par augmentation de  $\text{ETCO}_2$  lors d'une expiration forcée, bien que difficile à obtenir chez des patients en détresse respiratoire, mettant en évidence la part ventilatoire dévolue à l'augmentation du gradient. Une évaluation du gradient associée à une mesure de paramètres de volume permettrait de les distinguer des autres causes. Les mesures de la  $\dot{V}\text{CO}_2$  et de la  $\dot{V}\text{O}_2$  permettraient également d'apporter des précisions complémentaires sur la fonctionnalité respiratoire.

La découverte d'un gradient augmenté sans courbe de profil obstructif ni hypoventilation serait par conséquent plutôt en faveur d'un trouble de la perfusion pulmonaire (hypovolémie, embolie pulmonaire, emphysème par destruction du lit capillaire...). Le gradient étant dans ce cas purement associé à une hétérogénéité de la perfusion pulmonaire en rapport avec des zones plus importantes d'espace mort physiologique.

Les causes d'augmentation du gradient  $\text{PaCO}_2\text{-PETCO}_2$  sont donc multiples et souvent intriquées, rendant son interprétation difficile chez un patient avec de multiples comorbidités. Ce travail exploratoire avec un faible effectif et un recrutement aléatoire doit être complété par d'autres études de plus grande ampleur. Elles permettront d'affiner ces premières hypothèses et plus particulièrement de définir la place de la capnographie associée à l'étude du gradient  $\text{PaCO}_2\text{-PETCO}_2$  dans la démarche diagnostique devant une dyspnée aux urgences.

VU

Strasbourg, le... 28/8/2020

Le président du Jury de Thèse

Professeur Vincent CASTELAIN



VU et approuvé

Strasbourg, le... 08 NOV. 2020

Administrateur provisoire de la Faculté de  
Médecine, Maïeutique et Sciences de la Santé

Professeur Jean SIBILIA



## ANNEXES

### Annexe 1 : Avis favorable du comité d'éthique

# COMITE D'ETHIQUE

des Facultés de Médecine, d'Odontologie,  
de Pharmacie, des Ecoles d'Infirmières, de  
Kinésithérapie, de Maïeutique et des Hôpitaux

Strasbourg, le 4 août 2020

Dr Harscoat et Dr Klein  
HUS

**Jean SIBILIA**  
Doyen

Affaire suivie par  
Anne-Marie KASPROWICZ  
NHC  
Tél. : (33) 03 69 55 08 79  
Anne-marie.medina@chru-  
strasbourg.fr

**Référence : CE-2020-135**

Chers collègues

**Horaires d'ouverture :**  
- du lundi au vendredi  
de 08h00 à 12h00  
de 13h00 à 16h00

Le comité d'éthique vous remercie d'avoir soumis l'étude intitulée «**Intérêt de la mesure du gradient alvéolo-artériel en CO<sub>2</sub> dans la prise en charge de la dyspnée aux urgences**».

Après en avoir délibéré, le comité d'éthique émet un avis favorable à cette étude non interventionnelle et nous restons à votre disposition pour les aspects éthiques et réglementaires.

Pr François Clauss



**Faculté de médecine**  
Secrétariat Général  
4, rue Kirschleger  
F-67085 Strasbourg Cedex  
Tél. : (33) 03 68 85 34 98  
Fax : (33) 03 68 85 34 24  
www-unistra.fr  
medecine@adm-ulp.u-strasbg.fr

## BIBLIOGRAPHIE

1. Netgen. Dyspnée aiguë aux urgences : de la physiopathologie à l'échographie. Revue Médicale Suisse. [En ligne] Disponible sur: <https://www.revmed.ch/RMS/2015/RMS-N-482/Dyspnee-aigue-aux-urgences-de-la-physiopathologie-a-l-echographie>. Consulté le 2 janv 2020.
2. République française. Décret no 94-1050 du 5 décembre 1994 relatif aux conditions techniques de fonctionnement des établissements de santé en ce qui concerne la pratique de l'anesthésie. Journal officiel de la République française, n°284 du 8 décembre 1994, page 17384.
3. Modrin A, Gilbert M-L. De l'entrée à la sortie du service de réanimation adulte : une mise au point sur l'utilisation courante du monitoring du CO<sub>2</sub> expiré : Utilisation de la capnographie en réanimation adulte. Méd Intensive Réa. Mars 2018 ; 27(2):143-142.
4. Jabre P, Combes X, Adnet F. Place de la surveillance de la capnographie dans les détresses respiratoires aiguës. Réanimation. Nov 2010 ; 19(7):633-9.
5. Delerme S, Freund Y, Renault R, Devilliers C, Castro S, Chopin S, et al. Concordance between capnography and capnia in adults admitted for acute dyspnea in an ED. Am J Emerg Med. Juill 2010 ; 28(6):711-4.
6. Jabre P, Jacob L, Auger H, Jaulin C, Monribot M, Aurore A, et al. Capnography monitoring in nonintubated patients with respiratory distress. Am J Emerg Med. Nov 2009 ; 27(9):1056-9.
7. Wahba RW, Tessler MJ. Misleading end-tidal CO<sub>2</sub> tensions. Can J Anaesth. Août 1996 ; 43(8):862-6.

8. Kartal M, Goksu E, Eray O, Isik S, Sayrac AV, Yigit OE, et al. The value of ETCO<sub>2</sub> measurement for COPD patients in the emergency department. *Eur J Emerg Med*. Févr 2011 ; 18(1):9-12.
9. Liu SY, Lee TS, Bongard F. Accuracy of capnography in nonintubated surgical patients. *Chest*. Nov 1992 ; 102(5):1512-5.
10. Ward KR, Yealy DM. End-tidal carbon dioxide monitoring in emergency medicine, Part 1: Basic principles. *Acad Emerg Med*. Juin 1998 ; 5(6):628-36.
11. McSwain SD, Hamel DS, Smith PB, Gentile MA, Srinivasan S, Meliones JN, et al. End-tidal and arterial carbon dioxide measurements correlate across all levels of physiologic dead space. *Respir Care*. Mars 2010 ; 55(3):288-93.
12. Yamanaka MK, Sue DY. Comparison of arterial-end-tidal PCO<sub>2</sub> difference and dead space/tidal volume ratio in respiratory failure. *Chest*. Nov 1987 ; 92(5):832-5.
13. Manara A, D'hoore W, Thys F. Capnography as a diagnostic tool for pulmonary embolism: a meta-analysis. *Ann Emerg Med*. Déc 2013 ; 62(6):584-91.
14. Taniguchi S, Irita K, Sakaguchi Y, Takahashi S. Arterial to end-tidal CO<sub>2</sub> gradient as an indicator of silent pulmonary embolism. *Lancet*. Nov 1996 ; 348(9039):1451.
15. Van Marcke C, Daoudia A, Penaloza A, Verschuren F. CO<sub>2</sub> measurement for the early differential diagnosis of pulmonary embolism-related shock at the emergency department: A case series. *Respir Med Case Rep*. Sept 2015 ; 16:106-8.
16. Langan ML, Zonfrillo MR, Spiro DM. Quantitative end-tidal carbon dioxide in acute exacerbations of asthma. *J Pediatr*. Juin 2008 ; 152(6):829-32.
17. Nutter DO, Massumi RA. The arterial-alveolar carbon dioxide tension gradient in diagnosis of pulmonary embolus. *Dis Chest*. Oct 1966 ; 50(4):380-7.

18. Chopin C, Fesard P, Mangalaboyi J, Lestavel P, Chambrin MC, Fourrier F, et al. Use of capnography in diagnosis of pulmonary embolism during acute respiratory failure of chronic obstructive pulmonary disease. *Crit Care Med.* Avr 1990 ; 18(4):353-7.
19. Tulou PP, Walsh PM. Measurement of alveolar carbon dioxide tension at maximal expiration as an estimate of arterial carbon dioxide tension in patients with airway obstruction. *Am Rev Respir Dis.* Déc 1970 ; 102(6):921-6.
20. Tan W, Liu F, Hou H, Dai B, Wang Q, Zhao H, et al. The comparison of the value of end-tidal partial pressure of carbon dioxide after eupnoea and prolonged expiratory method in Department of Respiratory Medicine. *Zhonghua Wei Zhong Bing Ji Jiu Yi Xue.* Oct 2013 ; 25(10):608-13.
21. Hatle L, Rokseth R. The arterial to end-expiratory carbon dioxide tension gradient in acute pulmonary embolism and other cardiopulmonary diseases. *Chest.* Oct 1974 ; 66(4):352-7.
22. Takano Y, Sakamoto O, Kiyofuji C, Ito K. A comparison of the end-tidal CO<sub>2</sub> measured by portable capnometer and the arterial PCO<sub>2</sub> in spontaneously breathing patients. *Respir Med.* Mai 2003 ; 97(5):476-81.
23. Soltner C, Huztinger J, Beydon L. Monitoring du CO<sub>2</sub> expiré. *Réanimation.* Janv 2004 ; 13(1):62-70.
24. West JB, Luks AM, Pradel J-L. *West physiologie respiratoire : l'essentiel.* Paris : Maloine ; 2017, 264 p.
25. Degano B. Physiologie respiratoire. *Encycl Med Chir.* (Elsevier Masson, Paris). Pneumologie, 6-000-A-70, 2013, 15 p.

26. Gayan-Ramirez G, Hermans G. Physiopathologie de l'insuffisance respiratoire. Encycl Med Chir. (Elsevier Masson, Paris). Pneumologie, 6-040-H-10, 2013, 9 p.
27. Tortora G, Derrickson B. Anatomie et Physiologie. 5<sup>ème</sup> édition. Louvain-la-Neuve : De Boeck Supérieur ; 2018, 1240 p
28. Puntervoll S, Soreide E, Jacewicz W, Bjelland E. Rapid detection of oesophageal intubation: take care when using colorimetric capnometry. Acta Anaesthesiol Scand. 2002 ; 46:455–7.
29. Verschuren F, Delvau N, Thys F. Le monitoring du CO<sub>2</sub> expiré : de la théorie à la pratique. Congrès Urgences 2009 ; 3-5 juin 2009 ; Paris, France. 10 pages.
30. Grape S, Gronchi F, Ravussin P, Steiner L, Kern C. Monitoring de l'oxygène et du dioxyde de carbone en anesthésie et en réanimation. Encycl Med Chir. (Elsevier Masson, Paris). Anesthésie-Réanimation, 36-3826A-10, 2011, 9 pages
31. Sakata DJ, Matsubara I, Gopalakrishnan NA, Westenskow DR, White JL, Yamamori S, et al. Flow-Through Versus Sidestream Capnometry for Detection of End Tidal Carbon Dioxide in the Sedated Patient. J Clin Monit Comput. Avr 2009 ; 23(2):115-22.
32. Kasuya Y, Akça O, Sessler DI, Ozaki M, Komatsu R. Accuracy of Postoperative End-tidal Pco<sub>2</sub> Measurements with Mainstream and Sidestream Capnography in Non-obese Patients and in Obese Patients with and without Obstructive Sleep Apnea. Anesthesiology. Sept 2009 ; 111(3):609-15.
33. Jame G. Principes et utilisation de la capnographie et de la capnométrie en anesthésiologie des carnivores domestiques [En ligne]. 2002. Disponible sur: <https://oatao.univ-toulouse.fr/859/>. Consulté le 15 nov 2020.

34. Colman Y, Krauss B. Microstream capnography technology: a new approach to an old problem. *Journal of Clinical Monitoring and Computing*. 1999 ; 15(6):403-9.
35. Manifold CA, Davids N, Villers LC, Wampler DA. Capnography for the Nonintubated Patient in the Emergency Setting. *The Journal of Emergency Medicine*. Oct 2013 ; 45(4):626-32.
36. Long B, Koefman A, Vivirito MA. Capnography in the Emergency Department: A Review of Uses, Waveforms, and Limitations. *The Journal of Emergency Medicine*. Déc 2017 ; 53(6):829-42.
37. Bhavani-Shankar K, Moseley H, Kumar AY, Delph Y. Capnometry and anaesthesia. *Can J Anaesth*. Juill 1992 ; 39(6):617-32.
38. Howe TA, Jaalam K, Ahmad R, Sheng CK, Nik Ab Rahman NH. The Use of End-Tidal Capnography to Monitor Non-Intubated Patients Presenting with Acute Exacerbation of Asthma in the Emergency Department. *The Journal of Emergency Medicine*. Déc 2011 ; 41(6):581-9.
39. Tinker JH, Dull DL, Caplan RA. Role of monitoring devices in prevention of anaesthetic mishaps. *Anaesthesiology*. 1989 ; 71:541-6
40. Grmec S, Mally S. Prehospital determination of tracheal tube placement in severe head injury. *Emerg Med J*. Juill 2004 ; 21(4):518-20.
41. Rayehpelardy F, Quoirin E, Adnet F. La capnographie en préhospitalier : intérêts et limites. *Réanimation*. Déc 2006 ; 15(7-8):546-51
42. Levine RL, Wayne MA, Miller CC. End-tidal carbon dioxide and outcome of out-of-hospital cardiac arrest. *N Engl J Med*. Juill 1997 ; 337(5):301-6.

43. Howe TA, Jaalam K, Ahmad R, Sheng CK, Nik Ab Rahman NH. The use of end-tidal capnography to monitor non-intubated patients presenting with acute exacerbation of asthma in the emergency department. *J Emerg Med*. Déc 2011 ; 41(6):581-9.
44. Nik Hisamuddin NAR, Rashidi A, Chew KS, Kamaruddin J, Idzwan Z, Teo AH. Correlations between capnographic waveforms and peak flow meter measurement in emergency department management of asthma. *Int J Emerg Med*. Juin 2009 ; 2(2):83-9.
45. McGillicuddy DC, Tang A, Cataldo L, Gusev J, Shapiro NI. Evaluation of end-tidal carbon dioxide role in predicting elevated SOFA scores and lactic acidosis. *Intern Emerg Med*. Févr 2009 ; 4(1):41-4.
46. Wright SW. Conscious sedation in the emergency department: the value of capnography and pulse oximetry. *Ann Emerg Med*. Mai 1992 ; 21(5):551-5.
47. McQuillen KK, Steele DW. Capnography during sedation/analgesia in the pediatric emergency department. *Pediatr Emerg Care*. 2000 ; 16:401-4
48. Kartal M, Eray O, Rinnert S, Goksu E, Bektas F, Eken C. ETCO<sub>2</sub>: a predictive tool for excluding metabolic disturbances in nonintubated patients. *Am J Emerg Med*. Janv 2011 ; 29(1):65-9.
49. Solmeinpur H, Taghizadieh A, Niafar M, Rahmani F, Golzari SE, Esfanjani RM. Predictive value of capnography for diagnosis in patients with suspected diabetic ketoacidosis in the emergency department. *West J Emerg Med*. 2013 ; 14:590-4.
50. Nuckton TJ, Alonso JA, Kallet RH, Daniel BM, Pittet J-F, Eisner MD, et al. Pulmonary Dead-Space Fraction as a Risk Factor for Death in the Acute Respiratory Distress Syndrome. *N Engl J Med*. Avr 2002 ; 346(17):1281-6.

51. Morley TF, Giaimo J, Maroszan E, Bermingham J, Gordon R, Griesback R, et al. Use of Capnography for Assessment of the Adequacy of Alveolar Ventilation During Weaning from Mechanical Ventilation. *Am Rev Respir Dis*. Août 1993 ; 148(2):339-44.
52. Bhavani-Shankar K. Negative arterial to end-tidal CO<sub>2</sub> gradients in children. *Can J Anaesth*. Nov 1994 ; 41(11):1125-6.
53. Lujan M, Canturri E, Moreno A, Arranz M, Vigil L, Domingo C. Capnometry in spontaneously breathing patients: the influence of chronic obstructive pulmonary disease and expiration maneuvers. *Med Sci Monit*. Sept 2008 ; 14(9):CR485-492.
54. Liu Z, Vargas F, Stansbury D, Sasse SA, Light RW. Comparison of the End-Tidal Arterial Pco<sub>2</sub> Gradient During Exercise in Normal Subjects and in Patients With Severe COPD. *Chest*. Mai 1995 ; 107(5):1218-24.
55. Jones NL, Robertson DG, Kane JW. Difference between end-tidal and arterial PCO<sub>2</sub> in exercise. *Journal of Applied Physiology*. Nov 1979 ; 47(5):954-60.
56. Belpomme V, Ricard-Hibon A, Devoir C, Dileseigres S, Devaud M-L, Chollet C, et al. Correlation of arterial Pco<sub>2</sub> and Petco<sub>2</sub> in prehospital controlled ventilation. *The American Journal of Emergency Medicine*. Nov 2005 ; 23(7):852-9.
57. Tavernier B, Rey D, Thevenin D, Triboulet JP, Scherpereel P. Can prolonged expiration manoeuvres improve the prediction of arterial PCO<sub>2</sub> from end-tidal PCO<sub>2</sub>? *British Journal of Anaesthesia*. Mai 1997 ; 78(5):536-40.

Université

de Strasbourg

Faculté  
de médecine**DECLARATION SUR L'HONNEUR****Document avec signature originale devant être joint :**

- à votre mémoire de D.E.S.
- à votre dossier de demande de soutenance de thèse

Nom : KLEINPrénom : LAURE

Ayant été informé(e) qu'en m'appropriant tout ou partie d'une œuvre pour l'intégrer dans mon propre mémoire de spécialité ou dans mon mémoire de thèse de docteur en médecine, je me rendrais coupable d'un délit de contrefaçon au sens de l'article L335-1 et suivants du code de la propriété intellectuelle et que ce délit était constitutif d'une fraude pouvant donner lieu à des poursuites pénales conformément à la loi du 23 décembre 1901 dite de répression des fraudes dans les examens et concours publics,

Ayant été avisé(e) que le président de l'université sera informé de cette tentative de fraude ou de plagiat, afin qu'il saisisse la juridiction disciplinaire compétente,

Ayant été informé(e) qu'en cas de plagiat, la soutenance du mémoire de spécialité et/ou de la thèse de médecine sera alors automatiquement annulée, dans l'attente de la décision que prendra la juridiction disciplinaire de l'université

J'atteste sur l'honneur

Ne pas avoir reproduit dans mes documents tout ou partie d'œuvre(s) déjà existante(s), à l'exception de quelques brèves citations dans le texte, mises entre guillemets et référencées dans la bibliographie de mon mémoire.

**A écrire à la main** : « J'atteste sur l'honneur avoir connaissance des suites disciplinaires ou pénales que j'encours en cas de déclaration erronée ou incomplète ».

*J'atteste sur l'honneur avoir connaissance des suites disciplinaires ou pénales que j'encours en cas de déclaration erronée ou incomplète*

**Signature originale :**

A STRASBOURG, le 22/11/2020

**Photocopie de cette déclaration devant être annexée en dernière page de votre mémoire de D.E.S. ou de Thèse.**