



AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>

MEMOIRE
DU DIPLOME D'ETUDES SPECIALISEES DE
BIOLOGIE MEDICALE

Présenté et soutenu publiquement

Le 1^{er} octobre 2009

Par Melle Esther ENET

GAZOMETRIE *IN UTERO* : INTERET DE LA
BIOLOGIE DELOCALISEE ET EVALUATION
CLINIQUE DES PARAMETRES MESURES

Conformément aux dispositions du décret n°90-810
du 10 septembre 1990, ce mémoire tient lieu de

THESE
POUR DIPLOME D'ETAT DE
DOCTEUR EN MEDECINE

Examineurs de la thèse :

Monsieur J-M. HASCOET	Professeur	Président
Monsieur J-Y. JOUZEAU	Professeur	Juge
Monsieur O. THIEBAUGEORGES	Docteur en Médecine	Juge
Madame P. Franck	Docteur en Pharmacie	Directrice de thèse

MEMOIRE
DU DIPLOME D'ETUDES SPECIALISEES DE
BIOLOGIE MEDICALE

Présenté et soutenu publiquement

Le 1^{er} octobre 2009

Par Melle Esther ENET

GAZOMETRIE *IN UTERO* : INTERET DE LA
BIOLOGIE DELOCALISEE ET EVALUATION
CLINIQUE DES PARAMETRES MESURES

Conformément aux dispositions du décret n°90-810
du 10 septembre 1990, ce mémoire tient lieu de

THESE
POUR DIPLOME D'ETAT DE
DOCTEUR EN MEDECINE

Examineurs de la thèse :

Monsieur J-M. HASCOET	Professeur	Président
Monsieur J-Y. JOUZEAU	Professeur	Juge
Monsieur O. THIEBAUGEORGES	Docteur en Médecine	Juge
Madame P. Franck	Docteur en Pharmacie	Directrice de thèse

UNIVERSITÉ HENRI POINCARÉ, NANCY 1
FACULTÉ DE MÉDECINE DE NANCY

Président de l'Université : Professeur Jean-Pierre FINANCE

Doyen de la Faculté de Médecine : Professeur Henry COUDANE

Vice Doyen Recherche : Professeur Jean-Louis GUEANT

Vice Doyen Pédagogie : Professeur Annie BARBAUD

Vice Doyen Campus : Professeur Marie-Christine BÉNÉ

Assesseurs :

du 1^{er} Cycle :

du 2^{ème} Cycle :

du 3^{ème} Cycle :

Filières professionnalisées :

Prospective :

FMC/EPP :

M. Christophe NEMOS

M. le Professeur Jean-Pierre BRONOWICKI

M. le Professeur Pierre-Edouard BOLLAERT

M. le Professeur Christophe CHOSEROT

M. le Professeur Laurent BRESLER

M. le Professeur Jean-Dominique DE KORWIN

DOYENS HONORAIRES

Professeur Adrien DUPREZ – Professeur Jean-Bernard DUREUX

Professeur Jacques ROLAND – Professeur Patrick NETTER

=====

PROFESSEURS HONORAIRES

Pierre ALEXANDRE – Jean-Marie ANDRE - Daniel ANTHOINE - Alain BERTRAND - Pierre BEY - Jean BEUREY
Jacques BORRELLY - Michel BOULANGE - Jean-Claude BURDIN - Claude BURLET - Daniel BURNEL - Claude CHARDOT
Jean-Pierre CRANCE - Gérard DEBRY - Jean-Pierre DELAGOUTTE - Emile de LAVERGNE - Jean-Pierre DESCHAMPS
Michel DUC - Jean DUHEILLE - Adrien DUPREZ - Jean-Bernard DUREUX - Gabriel FAIVRE – Gérard FIEVE - Jean FLOQUET
Robert FRISCH - Alain GAUCHER - Pierre GAUCHER - Hubert GERARD - Jean-Marie GILGENKRANTZ
Simone GILGENKRANTZ - Oliéro GUERCI - Pierre HARTEMANN - Claude HURIET – Christian JANOT - Jacques LACOSTE
Henri LAMBERT - Pierre LANDES - Alain LARCAN - Marie-Claire LAXENAIRE - Michel LAXENAIRE - Jacques LECLERE
Pierre LEDERLIN - Bernard LEGRAS - Michel MANCIAUX - Jean-Pierre MALLIÉ - Pierre MATHIEU
Denise MONERET-VAUTRIN - Pierre NABET - Jean-Pierre NICOLAS - Pierre PAYSANT - Francis PENIN - Gilbert PERCEBOIS
Claude PERRIN - Guy PETIET - Luc PICARD - Michel PIERSON - Jean-Marie POLU – Jacques POUREL - Jean PREVOT
Antoine RASPILLER - Michel RENARD - Jacques ROLAND - René-Jean ROYER - Paul SADOUL - Daniel SCHMITT
Jean SOMMELET - Danièle SOMMELET - Michel STRICKER - Gilbert THIBAUT - Augusta TREHEUX - Hubert UFFHOLTZ
Gérard VAILLANT – Paul VERT - Colette VIDAILHET - Michel VIDAILHET - Michel WAYOFF - Michel WEBER

=====

PROFESSEURS DES UNIVERSITÉS
PRATICIENS HOSPITALIERS

(Disciplines du Conseil National des Universités)

42^{ème} Section : MORPHOLOGIE ET MORPHOGENÈSE

1^{ère} sous-section : (Anatomie)

Professeur Gilles GROSDIDIER

Professeur Pierre LASCOMBES – Professeur Marc BRAUN

2^{ème} sous-section : (Cytologie et histologie)

Professeur Bernard FOLIGUET

3^{ème} sous-section : (Anatomie et cytologie pathologiques)

Professeur François PLENAT – Professeur Jean-Michel VIGNAUD

43^{ème} Section : BIOPHYSIQUE ET IMAGERIE MÉDICALE

1^{ère} sous-section : (Biophysique et médecine nucléaire)

Professeur Gilles KARCHER – Professeur Pierre-Yves MARIE – Professeur Pierre OLIVIER

2^{ème} sous-section : (Radiologie et imagerie médicale)

Professeur Denis REGENT – Professeur Michel CLAUDON

Professeur Serge BRACARD – Professeur Alain BLUM – Professeur Jacques FELBLINGER

Professeur René ANXIONNAT

44^{ème} Section : BIOCHIMIE, BIOLOGIE CELLULAIRE ET MOLÉCULAIRE, PHYSIOLOGIE ET NUTRITION

1^{ère} sous-section : (Biochimie et biologie moléculaire)

Professeur Jean-Louis GUÉANT – Professeur Jean-Luc OLIVIER – Professeur Bernard NAMOUR

2^{ème} sous-section : (Physiologie)

Professeur François MARCHAL – Professeur Bruno CHENUEL – Professeur Christian BEYAERT

3^{ème} sous-section : (Biologie Cellulaire)

Professeur Ali DALLOUL

4^{ème} sous-section : (Nutrition)

Professeur Olivier ZIEGLER – Professeur Didier QUILLIOT

45^{ème} Section : MICROBIOLOGIE, MALADIES TRANSMISSIBLES ET HYGIÈNE

1^{ère} sous-section : (Bactériologie – virologie ; hygiène hospitalière)

Professeur Alain LE FAOU – Professeur Alain LOZIEWSKI

3^{ème} sous-section : (Maladies infectieuses ; maladies tropicales)

Professeur Thierry MAY – Professeur Christian RABAUD

46^{ème} Section : SANTÉ PUBLIQUE, ENVIRONNEMENT ET SOCIÉTÉ

1^{ère} sous-section : (Épidémiologie, économie de la santé et prévention)

Professeur Philippe HARTEMANN – Professeur Serge BRIANÇON

Professeur Francis GUILLEMIN – Professeur Denis ZMIROU-NAVIER

2^{ème} sous-section : (Médecine et santé au travail)

Professeur Christophe PARIS

3^{ème} sous-section : (Médecine légale et droit de la santé)

Professeur Henry COUDANE

4^{ème} sous-section : (Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication)

Professeur François KOHLER – Professeur Éliane ALBUISSON

47^{ème} Section : CANCÉROLOGIE, GÉNÉTIQUE, HÉMATOLOGIE, IMMUNOLOGIE

1^{ère} sous-section : (Hématologie ; transfusion)

Professeur Thomas LECOMPTE – Professeur Pierre BORDIGONI

Professeur Jean-François STOLTZ – Professeur Pierre FEUGIER

2^{ème} sous-section : (Cancérologie ; radiothérapie)

Professeur François GUILLEMIN – Professeur Thierry CONROY

Professeur Didier PEIFFERT – Professeur Frédéric MARCHAL

3^{ème} sous-section : (Immunologie)

Professeur Gilbert FAURE – Professeur Marie-Christine BENE

4^{ème} sous-section : (Génétique)

Professeur Philippe JONVEAUX – Professeur Bruno LEHEUP

48^{ème} Section : ANESTHÉSIOLOGIE, RÉANIMATION, MÉDECINE D'URGENCE, PHARMACOLOGIE ET THÉRAPEUTIQUE

1^{ère} sous-section : (Anesthésiologie et réanimation chirurgicale ; médecine d'urgence)

Professeur Claude MEISTELMAN – Professeur Hervé BOUAZIZ

Professeur Paul-Michel MERTES – Professeur Gérard AUDIBERT

2^{ème} sous-section : (Réanimation médicale ; médecine d'urgence)

Professeur Alain GERARD – Professeur Pierre-Édouard BOLLAERT

Professeur Bruno LÉVY – Professeur Sébastien GIBOT

3^{ème} sous-section : (Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie)

Professeur Patrick NETTER – Professeur Pierre GILLET

4^{ème} sous-section : (Thérapeutique ; médecine d'urgence ; addictologie)

Professeur François PAILLE – Professeur Gérard GAY – Professeur Faiez ZANNAD

49^{ème} Section : PATHOLOGIE NERVEUSE ET MUSCULAIRE, PATHOLOGIE MENTALE, HANDICAP et RÉÉDUCATION

1^{ère} sous-section : (Neurologie)

Professeur Gérard BARROCHE – Professeur Hervé VESPIGNANI

Professeur Xavier DUCROCQ – Professeur Marc DEBOUVERIE

2^{ème} sous-section : (Neurochirurgie)

Professeur Jean-Claude MARCHAL – Professeur Jean AUQUE

Professeur Thierry CIVIT

3^{ème} sous-section : (Psychiatrie d'adultes ; addictologie)

Professeur Jean-Pierre KAHN – Professeur Raymund SCHWAN

4^{ème} sous-section : (Pédo-psychiatrie ; addictologie)

Professeur Daniel SIBERTIN-BLANC – Professeur Bernard KABUTH

5^{ème} sous-section : (Médecine physique et de réadaptation)

Professeur Jean PAYSANT

50^{ème} Section : PATHOLOGIE OSTÉO-ARTICULAIRE, DERMATOLOGIE et CHIRURGIE PLASTIQUE

1^{ère} sous-section : (Rhumatologie)

Professeur Isabelle CHARY-VALCKENAERE – Professeur Damien LOEUILLÉ

2^{ème} sous-section : (Chirurgie orthopédique et traumatologique)

Professeur Daniel MOLE – Professeur Didier MAINARD

Professeur François SIRVEAUX – Professeur Laurent GALOIS

3^{ème} sous-section : (Dermato-vénéréologie)

Professeur Jean-Luc SCHMUTZ – Professeur Annick BARBAUD

4^{ème} sous-section : (Chirurgie plastique, reconstructrice et esthétique ; brûlologie)

Professeur François DAP – Professeur Gilles DAUTEL

51^{ème} Section : PATHOLOGIE CARDIORESPIRATOIRE et VASCULAIRE

1^{ère} sous-section : (Pneumologie ; addictologie)

Professeur Yves MARTINET – Professeur Jean-François CHABOT – Professeur Ari CHAOUAT

2^{ème} sous-section : (Cardiologie)

Professeur Etienne ALIOT – Professeur Yves JUILLIÈRE – Professeur Nicolas SADOUL

Professeur Christian de CHILLOU

3^{ème} sous-section : (Chirurgie thoracique et cardiovasculaire)

Professeur Jean-Pierre VILLEMOT – Professeur Jean-Pierre CARTEAUX – Professeur Loïc MACÉ

4^{ème} sous-section : (Chirurgie vasculaire ; médecine vasculaire)

Professeur Denis WAHL – Professeur Sergueï MALIKOV

52^{ème} Section : MALADIES DES APPAREILS DIGESTIF et URINAIRE

1^{ère} sous-section : (Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie)

Professeur Marc-André BIGARD – Professeur Jean-Pierre BRONOWICKI – Professeur Laurent PEYRIN-BIROULET

2^{ème} sous-section : (Chirurgie digestive)

3^{ème} sous-section : (Néphrologie)

Professeur Michèle KESSLER – Professeur Dominique HESTIN – Professeur Luc FRIMAT

4^{ème} sous-section : (Urologie)

Professeur Philippe MANGIN – Professeur Jacques HUBERT – Professeur Pascal ESCHWEGE

53^{ème} Section : MÉDECINE INTERNE, GÉRIATRIE et CHIRURGIE GÉNÉRALE

1^{ère} sous-section : (Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement ; médecine générale ; addictologie)

Professeur Jean-Dominique DE KORWIN – Professeur Pierre KAMINSKY

Professeur Athanase BENETOS – Professeur Gisèle KANNY

2^{ème} sous-section : (Chirurgie générale)

Professeur Patrick BOISSEL – Professeur Laurent BRESLER

Professeur Laurent BRUNAUD – Professeur Ahmet AYAV

54^{ème} Section : DÉVELOPPEMENT ET PATHOLOGIE DE L'ENFANT, GYNÉCOLOGIE-OBSTÉTRIQUE, ENDOCRINOLOGIE ET REPRODUCTION

1^{ère} sous-section : (Pédiatrie)

Professeur Pierre MONIN - Professeur Jean-Michel HASCOET - Professeur Pascal CHASTAGNER

Professeur François FEILLET - Professeur Cyril SCHWEITZER

2^{ème} sous-section : (Chirurgie infantile)

Professeur Michel SCHMITT – Professeur Pierre JOURNEAU – Professeur Jean-Louis LEMELLE

3^{ème} sous-section : (Gynécologie-obstétrique : gynécologie médicale)

Professeur Michel SCHWEITZER – Professeur Jean-Louis BOUTROY

Professeur Philippe JUDLIN – Professeur Patricia BARBARINO

4^{ème} sous-section : (Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques : gynécologie médicale)

Professeur Georges WERYHA – Professeur Marc KLEIN – Professeur Bruno GUERCI

55^{ème} Section : PATHOLOGIE DE LA TÊTE ET DU COU

1^{ère} sous-section : (Oto-rhino-laryngologie)

Professeur Claude SIMON – Professeur Roger JANKOWSKI

2^{ème} sous-section : (Ophtalmologie)

Professeur Jean-Luc GEORGE – Professeur Jean-Paul BERROD – Professeur Karine ANGIOI-DUPREZ

3^{ème} sous-section : (Chirurgie maxillo-faciale et stomatologie)

Professeur Jean-François CHASSAGNE – Professeur Etienne SIMON

=====

PROFESSEURS DES UNIVERSITÉS

64^{ème} Section : BIOCHIMIE ET BIOLOGIE MOLÉCULAIRE

Professeur Sandrine BOSCHI-MULLER

=====

MAÎTRES DE CONFÉRENCES DES UNIVERSITÉS - PRATICIENS HOSPITALIERS

42^{ème} Section : MORPHOLOGIE ET MORPHOGENÈSE

1^{ère} sous-section : (Anatomie)

Docteur Bruno GRIGNON – Docteur Thierry HAUMONT

2^{ème} sous-section : (Cytologie et histologie)

Docteur Edouard BARRAT - Docteur Françoise TOUATI – Docteur Chantal KOHLER

3^{ème} sous-section : (Anatomie et cytologie pathologiques)

Docteur Béatrice MARIE

43^{ème} Section : BIOPHYSIQUE ET IMAGERIE MÉDICALE

1^{ère} sous-section : (Biophysique et médecine nucléaire)

Docteur Marie-Hélène LAURENS – Docteur Jean-Claude MAYER

Docteur Pierre THOUVENOT – Docteur Jean-Marie ESCANYE – Docteur Amar NAOUN

2^{ème} sous-section : (Radiologie et imagerie médicale)

Docteur Damien MANDRY

44^{ème} Section : BIOCHIMIE, BIOLOGIE CELLULAIRE ET MOLÉCULAIRE, PHYSIOLOGIE ET NUTRITION

1^{ère} sous-section : (Biochimie et biologie moléculaire)

Docteur Jean STRACZEK – Docteur Sophie FREMONT

Docteur Isabelle GASTIN – Docteur Marc MERTEN – Docteur Catherine MALAPLATE-ARMAND

Docteur Shyue-Fang BATTAGLIA

2^{ème} sous-section : (Physiologie)

Docteur Nicole LEMAU de TALANCE

3^{ème} sous-section : (Biologie Cellulaire)

Docteur Véronique DECOT-MAILLERET

4^{ème} sous-section : (Nutrition)

Docteur Rosa-Maria RODRIGUEZ-GUEANT

45^{ème} Section : MICROBIOLOGIE, MALADIES TRANSMISSIBLES ET HYGIÈNE

1^{ère} sous-section : (*Bactériologie – Virologie ; hygiène hospitalière*)

Docteur Francine MORY – Docteur Véronique VENARD

2^{ème} sous-section : (*Parasitologie et mycologie*)

Docteur Nelly CONTET-AUDONNEAU – Madame Marie MACHOUART

46^{ème} Section : SANTÉ PUBLIQUE, ENVIRONNEMENT ET SOCIÉTÉ

1^{ère} sous-section : (*Epidémiologie, économie de la santé et prévention*)

Docteur Alexis HAUTEMANIERE – Docteur Frédérique CLAUDOT

3^{ème} sous-section (*Médecine légale et droit de la santé*)

Docteur Laurent MARTRILLE

4^{ème} sous-section : (*Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication*)

Docteur Pierre GILLOIS – Docteur Nicolas JAY

47^{ème} Section : CANCÉROLOGIE, GÉNÉTIQUE, HÉMATOLOGIE, IMMUNOLOGIE

1^{ère} sous-section : (*Hématologie ; transfusion*)

Docteur François SCHOONEMAN

2^{ème} sous-section : (*Cancérologie ; radiothérapie ; cancérologie (type mixte : biologique)*)

Docteur Lina BOLOTINE

3^{ème} sous-section : (*Immunologie*)

Docteur Marcelo DE CARVALHO BITTENCOURT

4^{ème} sous-section : (*Génétique*)

Docteur Christophe PHILIPPE – Docteur Céline BONNET

**48^{ème} Section : ANESTHÉSIOLOGIE, RÉANIMATION, MÉDECINE D'URGENCE,
PHARMACOLOGIE ET THÉRAPEUTIQUE**

3^{ème} sous-section : (*Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique*)

Docteur Françoise LAPICQUE – Docteur Marie-José ROYER-MORROT – Docteur Nicolas GAMBIER

4^{ème} sous-section : (*Thérapeutique ; médecine d'urgence ; addictologie*)

Docteur Patrick ROSSIGNOL

50^{ème} Section : RHUMATOLOGIE

1^{ère} sous-section : (*Rhumatologie*)

Docteur Anne-Christine RAT

**54^{ème} Section : DÉVELOPPEMENT ET PATHOLOGIE DE L'ENFANT, GYNÉCOLOGIE-OBSTÉTRIQUE,
ENDOCRINOLOGIE ET REPRODUCTION**

5^{ème} sous-section : (*Biologie et médecine du développement et de la reproduction ; gynécologie médicale*)

Docteur Jean-Louis CORDONNIER

=====

MAÎTRES DE CONFÉRENCES

5^{ème} section : SCIENCE ÉCONOMIE GÉNÉRALE

Monsieur Vincent LHUILLIER

40^{ème} section : SCIENCES DU MÉDICAMENT

Monsieur Jean-François COLLIN

60^{ème} section : MÉCANIQUE, GÉNIE MÉCANIQUE ET GÉNIE CIVILE

Monsieur Alain DURAND

61^{ème} section : GÉNIE INFORMATIQUE, AUTOMATIQUE ET TRAITEMENT DU SIGNAL

Monsieur Jean REBSTOCK – Monsieur Walter BLONDEL

64^{ème} section : BIOCHIMIE ET BIOLOGIE MOLÉCULAIRE
Mademoiselle Marie-Claire LANHERS

65^{ème} section : BIOLOGIE CELLULAIRE
Mademoiselle Françoise DREYFUSS – Monsieur Jean-Louis GELLY
Madame Ketsia HESS – Monsieur Hervé MEMBRE – Monsieur Christophe NEMOS
Madame Natalia DE ISLA – Monsieur Pierre TANKOSIC

66^{ème} section : PHYSIOLOGIE
Monsieur Nguyen TRAN

67^{ème} section : BIOLOGIE DES POPULATIONS ET ÉCOLOGIE
Madame Nadine MUSSE

=====

MAÎTRES DE CONFÉRENCES ASSOCIÉS

Médecine Générale
Professeur associé Alain AUBREGE
Docteur Francis RAPHAEL
Docteur Jean-Marc BOIVIN
Docteur Jean-Louis ADAM
Docteur Elisabeth STEYER

=====

PROFESSEURS ÉMÉRITES

Professeur Daniel ANTHOINE - Professeur Pierre BEY - Professeur Michel BOULANGE
Professeur Jean-Pierre CRANCE - Professeur Jean FLOQUET - Professeur Jean-Marie GILGENKRANTZ
Professeur Simone GILGENKRANTZ – Professeur Henri LAMBERT - Professeur Alain LARCAN
Professeur Denise MONERET-VAUTRIN - Professeur Jean-Pierre NICOLAS – - Professeur Guy PETIET
Professeur Luc PICARD - Professeur Michel PIERSON - Professeur Jacques POUREL
Professeur Jacques ROLAND - - Professeur Michel STRICKER - Professeur Gilbert THIBAUT
Professeur Paul VERT - Professeur Michel VIDAILHET

=====

DOCTEURS HONORIS CAUSA

Professeur Norman SHUMWAY (1972)
Université de Stanford, Californie (U.S.A)
Professeur Paul MICHELSEN (1979)
Université Catholique, Louvain (Belgique)
Professeur Charles A. BERRY (1982)
Centre de Médecine Préventive, Houston (U.S.A)
Professeur Pierre-Marie GALETTI (1982)
Brown University, Providence (U.S.A)
Professeur Manuish Nisbet MUNRO (1982)
Massachusetts Institute of Technology (U.S.A)
Professeur Mildred T. STAHLMAN (1982)
Wanderbilt University, Nashville (U.S.A)
Harry J. BUNCKE (1989)
Université de Californie, San Francisco (U.S.A)
Professeur Daniel G. BICHET (2001)
Université de Montréal (Canada)
Professeur Brian BURCHELL (2007)
Université de Dundee (Royaume Uni)

Professeur Théodore H. SCHIEBLER (1989)
Institut d'Anatomie de Würzburg (R.F.A)
Professeur Maria DELIVORIA-PAPADOPOULOS (1996)
Université de Pennsylvanie (U.S.A)
Professeur Mashaki KASHIWARA (1996)
Research Institute for Mathematical Sciences de Kyoto (JAPON)
Professeur Ralph GRASBECK (1996)
Université d'Helsinki (FINLANDE)
Professeur James STEICHEN (1997)
Université d'Indianapolis (U.S.A)
Professeur Duong Quang TRUNG (1997)
*Centre Universitaire de Formation et de Perfectionnement des
Professionnels de Santé d'Hô Chi Minh-Ville (VIETNAM)*
Professeur Marc LEVENSTON (2005)
Institute of Technology, Atlanta (USA)

REMERCIEMENTS

A notre Maître et président de thèse,

Monsieur le Professeur J-M HASCOET,

Professeur en pédiatrie,

Nous sommes particulièrement sensibles à l'honneur que vous nous faites d'accepter de diriger notre jury de thèse, et de nous accorder un peu de votre temps.

Trouvez ici l'expression de notre profonde reconnaissance.

Nous vous exprimons toute notre gratitude.

A notre Maître et juge,

Monsieur le Professeur J-Y JOUZEAU,
Professeur en bio-analyse du médicament,

Nous vous remercions de l'honneur que vous nous faites d'accepter de juger ce travail.

C'est pour nous un grand honneur de vous compter parmi nos juges.

Je vous remercie également, à titre personnel, pour votre précieuse aide et réconfort, à certains moments de garde stressants.

A notre Maître et juge,

Monsieur O. THIEBAUGEORGES,

Docteur en Médecine,

C'est pour nous un grand honneur de vous compter parmi nos juges et de pouvoir profiter de votre savoir.

J'espère que nous passerons un agréable moment, à discuter sur un thème qui vous est cher.
Trouvez ici le témoignage de notre respect et profonde gratitude.

Nous vous en sommes reconnaissants.

A notre Maître et directeur de thèse,

Madame P. Franck,

Docteur en Pharmacie,

Vous nous avez fait l'honneur de nous confier ce travail et de nous guider tout au long de sa réalisation.

Vous avez été pour nous une excellente chef, une chef impliquée, investie, disponible, encadrante et exigeante quand il le fallait, mais également une personne remplie d'humanité, capable d'écouter, conseiller, rassurer. Une parfaite alliance ...

Une personne pour qui j'ai énormément de respect, d'estime et qui est un modèle pour moi.

Recevez ici le témoignage de ma profonde gratitude.

A mes Maîtres d'Internat,

M. le Professeur T. LECOMPTE

M. le Professeur A. LOZNIEWSKI

M. le Professeur J-L OLIVIER

M. le Professeur B. FOLIGUET

Aux Praticiens Hospitaliers et aux assistants,

M. le Docteur J-F LESEVE, à qui je dois toujours un article ...

Mme le Docteur V. LATGER-CANNARD

Mme CONROY, à nos croisements de chemins autant inattendus qu'agréables !

M. le Docteur S. SALIGNAC, pour sa sympathie et sa proximité avec les internes.

Mme le Docteur B. DOUSSET, un puits de sciences.

Mme le Docteur N. CONTET-AUDONNEAU, pour sa chaleur humaine.

M. le Docteur PUYHARDY, pour son paternalisme et son savoir bactériologique.

M. RIO pour ses conseils, Melle DIDION pour nos éclats de rire.

Au personnel du Laboratoire de la Maternité Régionale de Nancy,

Mme VATRIN, Mme LEGAGNEUR, Mme SINDT pour avoir été mes chefs à la Maternité

Aux technicien(nes) et secrétaires (une en particulier, qui se reconnaîtra !), pour avoir été accueillants lors de l'arrivée d'internes dans le service et pour continuer à l'être avec moi.

C'est toujours un plaisir de venir au laboratoire.

Au personnel du DIM de la Maternité Régionale de Nancy,

Mme FRESSON et son interne JF BETALA, un grand merci pour ces après-midis passés au DIM à faire des statistiques.

Un souvenir pour ceux qui sont partis trop tôt et que nous regrettons

M. le Professeur B. FORTIER

A ma famille,

A mes parents, qui sont les meilleurs que je connaisse et à qui j'aimerais tellement ressembler plus tard.

A ma Didie et mon à Coco, à qui je donnerais ma vie.

A Mamy Ruth, pour le « phénomène » irremplaçable qu'elle représente dans la famille, à qui je dois certains traits de ma personnalité, et pour sa précieuse traduction des articles en allemand de l'inventeur du pH au scalp !

A Papy Robert et Mamy Armande pour cette filiation très forte qui nous unit, à l'origine du nom « ENET », je vous dis « Trugarez et Maden Trao ».

A Marie, à Delphine et sa famille, pour avoir été toujours si proches de nous.

A Béa, à Jean-Louis et à leurs enfants.

A mes amis,

A Joanna, un « formidable Macrobe » qui ne se déplace jamais sans son Microbe, à tous ces moments si forts et si fusionnels passés ensemble.

A Catherine et sa famille, pour être comme une grande sœur pleine de bons conseils, qui me montre le chemin.

A Sébastien, pour ces années « braziles » passées ensemble et à sa famille.

A Cilou, Natacha, et Rumi pour cette longue et solide amitié.

A Cécile, pour notre récente amitié et à nos parcours similaires ces derniers temps.

A Alice, une précieuse amie juste et droite, une synergie (presque bactériologique!) dans les stages et à qui je souhaite un heureux mariage.

A Céline et Fabien, de véritables « bonnes personnes » comme on n'en fait plus ! Sauf dans les Vosges !

A Julien et Jenny une petite famille si attachante et à qui je souhaite tout le bonheur possible.

A Sabrina, pour sa gentillesse et son oreille bienveillante.

A Tsu-jen et Olivier, et leur petite.

A Vanina, pour nos soirées boulot, qui se transformaient en soirées discussions.

A Manu, pour les lundis boulot et les we sorties.

A mes co-internes de biologie,

A Myriam, Alex (euh ... pardon chef Alex !) et Laetitia, Jean-François, Mathieu, Olivier, Céline, Caroline, Anne

A mes anciens co-externes de Reims,

A Salima et Julien, Yohan, Fred S, Raïssa, Fred M, Charly, Julien et Céline, Thomas (et le coup de l'Ardennais)

Un remerciement spécial,

A Antoine, mon g.o qui prend bien soin de son Lutin, une épaule solide et stable sur qui on peut se reposer, à nos futurs moments de bonheur.

Au Chateau et à ses habitants si accueillants.

A tous ceux que j'ai oubliés !

SERMENT

"Au moment d'être admise à exercer la médecine, je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité. Mon premier souci sera de rétablir, de préserver ou de promouvoir la santé dans tous ses éléments, physiques et mentaux, individuels et sociaux. Je respecterai toutes les personnes, leur autonomie et leur volonté, sans aucune discrimination selon leur état ou leurs convictions.

J'interviendrai pour les protéger si elles sont affaiblies, vulnérables ou menacées dans leur intégrité ou leur dignité. Même sous la contrainte, je ne ferai pas usage de mes connaissances contre les lois de l'humanité. J'informerai les patients des décisions envisagées, de leurs raisons et de leurs conséquences. Je ne tromperai jamais leur confiance et n'exploiterai pas le pouvoir hérité des circonstances pour forcer les consciences. Je donnerai mes soins à l'indigent et à quiconque me les demandera. Je ne me laisserai pas influencer par la soif du gain ou la recherche de la gloire.

Admise dans l'intimité des personnes, je tairai les secrets qui me sont confiés. Reçue à l'intérieur des maisons, je respecterai les secrets des foyers et ma conduite ne servira pas à corrompre les mœurs. Je ferai tout pour soulager les souffrances. Je ne prolongerai pas abusivement les agonies. Je ne provoquerai jamais la mort délibérément.

Je préserverai l'indépendance nécessaire à l'accomplissement de ma mission. Je n'entreprendrai rien qui dépasse mes compétences. Je les entretiendrai et les perfectionnerai pour assurer au mieux les services qui me seront demandés. J'apporterai mon aide à mes confrères ainsi qu'à leurs familles dans l'adversité.

Que les hommes et mes confrères m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses ; que je sois déshonorée et méprisée si j'y manque".

TABLE DES MATIERES

LISTE DES ABREVIATIONS.....	20
LISTE DES TABLEAUX.....	21
LISTE DES FIGURES.....	22
LISTE DES ANNEXES.....	23
 INTRODUCTION.....	 24
 PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE.....	 26
 I. EQUILIBRE ACIDO-BASIQUE DU FŒTUS ET DU NOUVEAU-NE	 27
1. ECHANGES GAZEUX MATERNO-FŒTAUX PHYSIOLOGIQUES.....	27
1-1. Pendant la grossesse.....	27
1-1-1. Anatomie et vascularisation placentaire.....	27
1-1-2. Echanges gazeux transplacentaires.....	28
1-2. Pendant l'accouchement.....	29
1-3. Post-natal immédiat.....	30
2. ECHANGES GAZEUX MATERNO-FŒTAUX PATHOLOGIQUES	30
2-1. Généralités.....	30
2-2. L'hypoxémie	31
2-3. L'hypoxie.....	31
2-4. L'asphyxie.....	32
2-5. La souffrance fœtale aiguë (SFA).....	32
2-6. L'encéphalopathie anoxo-ischémique (EAI).....	35
2-7. L'infirmité motrice cérébrale (IMC)	35
 II. EVALUATION DU BIEN-ETRE FŒTAL.....	 37
1. EVALUATION DU BIEN ETRE FŒTAL EN PERPARTUM	37
1-1. Le rythme cardiaque fœtal.....	37
1-1-2. L'enregistrement informatisé du rythme cardiaque fœtal (RCF).....	41
1-1-3. L'électrocardiogramme fœtal.	41
1-2. La gazométrie au scalp fœtal.....	41
1-2-1. Le pH au scalp.....	45
1-2-2. Les lactates au scalp.....	48
1-2-3. L'excès de bases au scalp (EB).....	50
1-3. L'oxymétrie de pouls fœtal.....	51
1-4. Les tests de stimulation	52
1-5. En pratique	53
2. EVALUATION DU BIEN ETRE FŒTAL EN POST-PARTUM IMMEDIAT.....	54
2-1. Le score d'Apgar	54
2-2. La gazométrie au cordon ombilical.....	55

III. LA GAZOMETRIE EN SALLE DE NAISSANCE.....	58
1. LE PRINCIPE DE LA MESURE	58
1-1. Analyseur à gaz du sang : GEM Premier (IL, France)	58
1-2. Lecteur capillaire pour la mesure des lactates	59
1-3. Caractéristiques des deux types d'appareillage	60
2. LA BIOLOGIE DELOCALISEE	61
 PARTIE EXPERIMENTALE.....	 63
OBJECTIFS.....	64
 I. MATERIELS ET METHODES.....	 64
1. PATIENTS.....	64
2. TECHNIQUES DE PRELEVEMENTS.....	66
2-1. Prélèvement au cordon ombilical.....	66
2-2. Prélèvement au scalp foetal.....	66
3. ANALYSEUR : GEM 4000 (IL, FRANCE).....	68
4. ANALYSE STATISTIQUE.....	69
5. A PROPOS DE SEIZE DOSSIERS PATIENTS	69
 II. RESULTATS.....	 70
1. PRESENTATION GENERALE DE LA POPULATION.....	70
2. STATISTIQUES DESCRIPTIVES DES DIFFERENTS PARAMETRES SELON LA DEFINITION DE LA SOUFFRANCE FŒTALE AIGUE.....	71
2-1. Critère médico-administratif : la classification PMSI O68 +.....	71
2-2. Critère biologique : le pH au cordon < 7,15	71
2-3. Critère biologique : l'excès de bases au cordon < -12 mmol/L.....	72
2-4. Critère clinique : le score d'Apgar < 7 à 1 minute	72
3. VALEURS INTRINSEQUES (SENSIBILITE, SPECIFICITE) ET VALEURS PREDICTIVES POSITIVE (VPP) ET NEGATIVE (VPN).....	74
3-1. pH au scalp au seuil de 7,20.....	74
3-2. Lactates au scalp au seuil de 4,8 mmol/L.....	74
3-3. Excès de bases au scalp au seuil de -6 mmol/L.....	75
4. DETERMINATION D'UN SEUIL	76
4-1. Détermination d'un seuil de pH au scalp.....	76
4-2. Détermination d'un seuil de lactates au scalp.....	76
4-3. Détermination d'un seuil de l'excès de bases au scalp.....	77
5. DEVENIR DES ENFANTS.....	78
5-1. Parcours hospitaliers des enfants étudiés	78
5-2. Etude des dossiers à pH au scalp < 7,21.....	80
6. EVALUATION DU GEM 4000.....	84
6-1. Utilisation quotidienne.....	84
6-2. En biologie délocalisée.....	89

III. DISCUSSION.....	91
CONCLUSION.....	101
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	103
ANNEXES.....	113

LISTE DES ABREVIATIONS

ABE	Actual base excess
ACOG	Collège américain des obstétriciens et gynécologues
ARCF	Anomalies du rythme cardiaque fœtal
bpm	Battements par minute
CIM	Classification internationale des maladies
CNGOF	Collège national des gynécologues et obstétriciens français
CQ	Contrôle qualité
CTG	Cardiotocographie
CV	Coefficient de variation
CVP	Calibration Valuation Product
EIA	Encéphalopathie anoxo-ischémique
EB	Excès de bases
FIGO	Fédération internationale des gynécologues et obstétriciens
GBEA	Guide de bonne exécution des analyses de biologie médicale
IL	Instrumentation laboratory
IMC	Infirmitté motrice cérébrale
IQM	Intelligent quality management
LA	Liquide amniotique
NIRS	Near infrared spectroscopy
PMSI	Programme de médicalisation des systèmes d'information
PO2	Pression partielle en oxygène
PCO2	Pression partielle en dioxyde de carbone
RCF	Rythme cardiaque fœtal
RPM	Rupture prématurée des membranes
ROC	Receiver Operating Characteristics
SBE	Standard base excess
SIL	Système informatique du laboratoire
SFA	Souffrance fœtal aigue
SFC	Souffrance fœtale chronique
SOGC	Société des obstétriciens et gynécologues du Canada
tHB	Hémoglobine totale
VPP	Valeur prédictive positive
VPN	Valeur prédictive négative

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.	Classification de Sarnat des EIA.
Tableau II.	Critères définissant une IMC secondaire à une asphyxie selon le Consensus de 1999.
Tableau III.	Classification des anomalies du rythme cardiaque fœtal d'après Rosen, adaptée de la FIGO.
Tableau IV.	Interprétation du RCF d'après les recommandations 2008 du CGNOF.
Tableau V.	Erreurs pré analytiques générales d'un gaz du sang.
Tableau VI.	Erreurs pré-analytiques d'un gaz du sang au scalp fœtal.
Tableau VII.	Différents seuils des paramètres au scalp retrouvés dans la littérature pour définir une SFA.
Tableau VIII.	Erreurs pré-analytiques du dosage des lactates.
Tableau IX.	Etiologies de l'augmentation des lactates.
Tableau X.	Le score d'Apgar.
Tableau XI.	Différents seuils des paramètres au cordon retrouvés dans la littérature pour définir une SFA.
Tableau XII.	Caractéristiques d'un analyseur à gaz du sang et d'un lactatomètre.
Tableau XIII.	Caractéristiques de la population étudiée.
Tableau XIV.	Moyennes des paramètres étudiés de la population étudiée.
Tableau XV.	Statistiques descriptives selon le critère PMSI.
Tableau XVI.	Statistiques descriptives selon le critère pH au cordon.
Tableau XVII.	Statistiques descriptives selon le critère excès de bases au cordon.
Tableau XVIII.	Statistiques descriptives selon le critère score d'Apgar à une minute.
Tableau XIX.	Valeurs intrinsèques et prédictives du pH au scalp au seuil de 7,20, pour prédire une SFA.
Tableau XX.	Valeurs intrinsèques et prédictives des lactates au scalp pour prédire une SFA.
Tableau XXI.	Valeurs intrinsèques et prédictives de l'excès de bases au scalp pour prédire une SFA.
Tableau XXII.	Détermination d'un seuil de pH au scalp pour prédire un pH au cordon < 7,15.
Tableau XXIII.	Détermination d'un seuil de lactates au scalp pour prédire un pH au cordon < 7,15.
Tableau XXIV.	Détermination de l'excès de bases au scalp pour prédire un pH au cordon < 7,15.
Tableau XXV.	Statistiques descriptives des paramètres de gazométrie selon le parcours hospitalier.
Tableau XXVI.	Données cliniques de 16 enfants ayant présenté un pH au scalp < 7,21.

LISTE DES FIGURES

- Figure 1. Vascularisation placentaire et chambre intervillueuse permettant les échanges materno-fœtaux.
- Figure 2. Gradient transplacentaire de pression partielle en oxygène.
- Figure 3. Conséquences d'une anomalie des échanges gazeux materno-fœtaux.
- Figure 4. Les différents stades de l'hypoxie fœtale.
- Figure 5. Etiologies des SFA selon le mode de début.
- Figure 6. Enregistrement tococardiographique externe.
- Figure 7. Analyses réalisées à partir d'un prélèvement au scalp.
- Figure 8. Interprétation du pH au scalp et arbre décisionnel.
- Figure 9. Capteur d'oxymétrie de pouls fœtal.
- Figure 10. GEM 4000 et ses composants.
- Figure 11. Face avant de la cartouche du GEM 4000.
- Figure 12. Face arrière de la cartouche du GEM 4000.
- Figure 13. Lactatomètre. Lactate Pro®, Arkray, Japon.
- Figure 14. Principe analytique du dosage des lactates sur un lactatomètre (type Lactate Pro®).
- Figure 15. Sélection des cas à étudier.
- Figure 16. Etude de trois paramètres fœtaux (pH, lactates, EB) selon trois définitions de SFA.
- Figure 17. Schéma général d'un prélèvement au scalp fœtal *in utero*.
- Figure 18. Amnioscope.
- Figure 19. Compresse portée par une pince. Ampoule de vaseline liquide.
- Figure 20. Aiguille protégée (aiguille montée sur une pince) pour réaliser l'incision du scalp fœtal.
- Figure 21. Tube capillaire plastique avec ses bouchons pour chaque extrémité.
- Figure 22. Aspiration de la goutte de sang du scalp fœtal par un capillaire.
- Figure 23. Automate GEM 4000 Premier (IL, France).
- Figure 24. Pourcentage de SFA selon la définition choisie de la SFA.
- Figure 25. Moyennes des paramètres étudiés en fonction de la définition de la SFA.
- Figure 26. Parcours hospitalier de tous les fœtus étudiés.
- Figure 27. Parcours hospitalier et score d'Apgar à une minute.
- Figure 28. Parcours hospitalier et pH au scalp < 7,21.
- Figure 29. Analyse des 16 cas de pH au scalp < 7,21.
- Figure 30. Rapport Delta Chart mensuel pour l'analyte pH. Représentation de l'écart des valeurs mesurées avec celle attendue du CQ embarqué (solution interne B).
- Figure 31. Rapport Delta Chart mensuel pour l'analyte Lactate. Représentation de l'écart des valeurs mesurées avec celle attendue du CQ embarqué (solution interne D).
- Figure 32. Rapport d'actions correctives du GEM 4000.
- Figure 33. Implantation du GEM 4000 en salle de naissance à la Maternité de Nancy.

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1. Les deux voies de la glycolyse. Lien entre le passage en anaérobiose de l'organisme et la formation d'acide lactique.

Annexe 2. Mécanismes biochimiques des lésions neuronales au cours de l'EAI.

Annexe 3. Lien entre l'hypoxie et l'acidose.

Annexe 4. Classification des éléments du RCF selon la FIGO.

Annexe 5. Mode opératoire du Lactate Pro®.

Annexe 6. Codes erreurs associés à des dysfonctionnements.

Annexe 7. Procédure de changement de cartouche du GEM 4000.

INTRODUCTION

INTRODUCTION

Les échanges gazeux materno-fœtaux se font à travers le placenta qui a un rôle de poumon pour le fœtus. Le débit utéroplacentaire et le débit ombilical reflètent la qualité de ces échanges (37). Pendant l'accouchement, une altération de ces échanges gazeux materno-fœtaux peut survenir et mener à une hypoxémie, une hypoxie voire une asphyxie fœtale. L'hypoxémie est la diminution de la pO_2 artérielle du fœtus. Le fœtus compense en réduisant son activité métabolique et en augmentant l'extraction placentaire d'oxygène. L'hypoxie est la diminution de l'oxygène tissulaire. Une vasoconstriction périphérique, secondaire à une sécrétion de catécholamines, entraîne une redistribution du sang fœtal vers les organes nobles (cerveau et cœur). Les tissus périphériques fœtaux se mettent ainsi en métabolisme anaérobie. L'orientation du catabolisme glucidique vers la voie anaérobie provoque une accumulation d'acide lactique, conduisant à une acidose métabolique (37). L'asphyxie fœtale survient, quand l'acidose n'est plus compensée. De nos jours, l'asphyxie *perpartum* est encore responsable de complications immédiates (mort fœtale) et à distance (séquelles neurologiques). Un évènement hypoxique pendant le travail ou l'accouchement serait responsable de 10 à 15 % des infirmités motrices cérébrales (IMC) (18, 70).

La mesure du rythme cardiaque fœtal (RCF) est un des outils diagnostiques pour s'assurer du bien être fœtal au cours du travail et dépister une souffrance fœtale aigue (SFA). Cet examen a une bonne sensibilité mais manque de spécificité (78, 87). Le RCF dépiste les situations à risque d'acidose fœtale mais ne peut pas les établir de façon certaine (24). La mesure du pH au scalp est un complément diagnostique, en présence d'anomalies du RCF. Le pH au scalp a été introduit par Saling en 1962, et reste l'analyse biologique de référence pour le diagnostic d'acidose fœtale (87, 92). Cette mesure permet une meilleure surveillance fœtale en améliorant la détection du risque fœtal (limiter le nombre des encéphalopathies par asphyxie *perpartum*) et en diminuant le nombre de césariennes inutiles (78, 87). La gazométrie effectuée au scalp fœtal s'est largement développée et permet la mesure de plusieurs paramètres notamment le pH, les lactates, l'excès de bases, les bicarbonates, la pO_2 , la pCO_2 sur un échantillon de très faible volume, conduisant à une analyse complète de l'état acido-basique du fœtus. L'objectif de notre étude a été d'évaluer un nouvel analyseur de gaz du sang (GEM 4000, IL) pour la mesure de différents paramètres fœtaux (pH, lactates, l'excès de bases) en étudiant la praticabilité de l'analyseur et son utilisation en biologie délocalisée. Les valeurs prédictives de chacun de ces paramètres dans l'évaluation de la souffrance fœtale aigue ont été évaluées.

PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

I. EQUILIBRE ACIDO-BASIQUE DU FŒTUS ET DU NOUVEAU-NE

1. ECHANGES GAZEUX MATERNO-FŒTAUX PHYSIOLOGIQUES

1-1. Pendant la grossesse

L'équilibre acido-basique du fœtus est principalement dépendant de l'équilibre acido-basique maternel et des échanges gazeux au travers du placenta, assimilé depuis longtemps à un véritable poumon fœtal (37). En effet, le placenta permet l'apport de l'oxygène au fœtus et l'élimination du gaz carbonique.

1-1-1 Anatomie et vascularisation placentaire

Plusieurs structures anatomiques placentaires sont importantes au cours des échanges gazeux :

- La chambre intervillueuse constitue la barrière placentaire. C'est un espace qui contient 200 mL de sang maternel où s'effectuent les échanges materno-fœtaux, notamment les échanges gazeux (figure 1). Le sang maternel arrive dans la chambre intervillueuse par les artères spiralées (dérivées des artères utérines) et repart par les veines utérines (figure 1) (73). Le sang fœtal arrive dans la chambre intervillueuse par les deux artères ombilicales, puis dans les villosités chorales et repart par la veine ombilicale (figure 1).

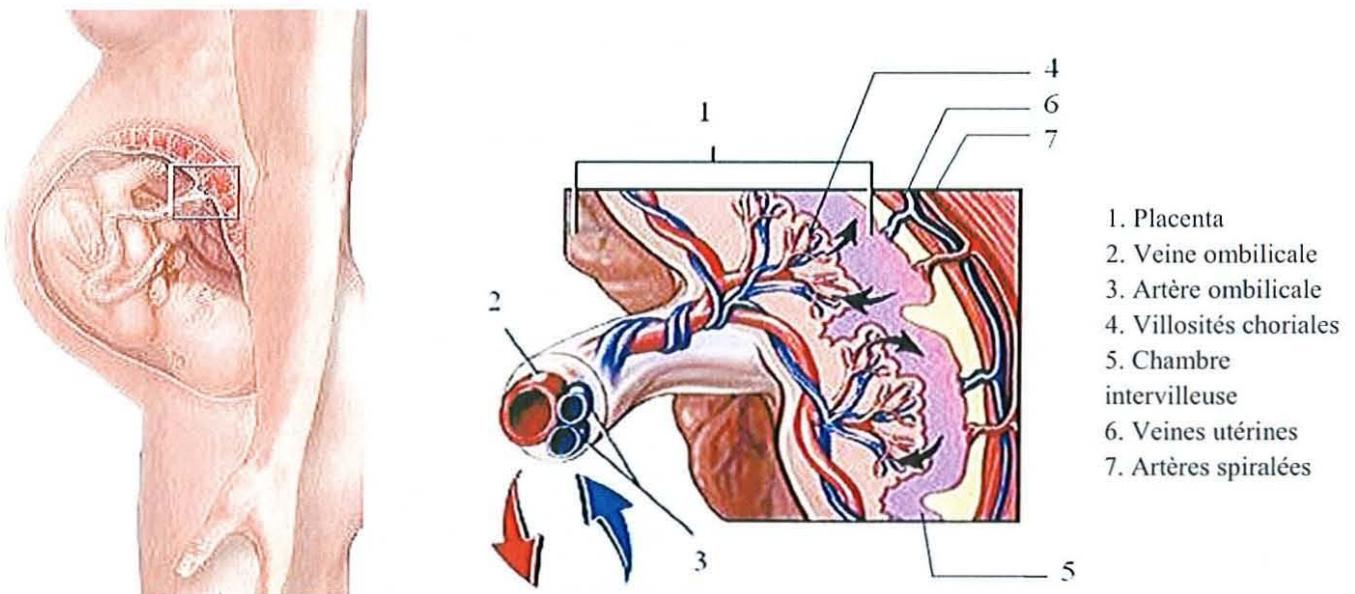


Figure 1. Vascularisation placentaire et chambre intervillueuse permettant les échanges gazeux materno-fœtaux (d'après 124).

- Les villosités choriales bordées par le syncytiotrophoblaste baignent dans le sang maternel de la chambre intervillieuse, ce qui permet les échanges gazeux par un mécanisme de diffusion simple (24, 37, 80). Les villosités choriales constituent une surface d'échange, comparable à la membrane alvéolo-capillaire pulmonaire (80).

- Les artères ombilicales qui vont du fœtus au placenta sont chargées en gaz carbonique et permettent son élimination. Elles assurent le retour veineux du fœtus vers le placenta et reflètent donc l'état fœtal.

- La veine ombilicale chargée en oxygène va du placenta au fœtus. Elle transporte le sang artériel venant du poumon placentaire et reflète donc les échanges placentaires (11, 70).

1-1-2. Echanges gazeux transplacentaires

L'oxygène se transmet de la mère au fœtus grâce à plusieurs phénomènes :

- un gradient de pression partielle en oxygène transplacentaire : La figure 2 représente le gradient de l'artère utérine à la veine ombilicale. Ainsi, ce gradient permet la diffusion de l'oxygène de la mère à son fœtus (80). Malgré une pO_2 relativement basse dans la veine ombilicale (20-30 mmHg), le fœtus a un métabolisme aérobie.

- une affinité supérieure de l'hémoglobine fœtale pour l'oxygène, par rapport à l'adulte

- une concentration supérieure en hémoglobine chez le fœtus (80).

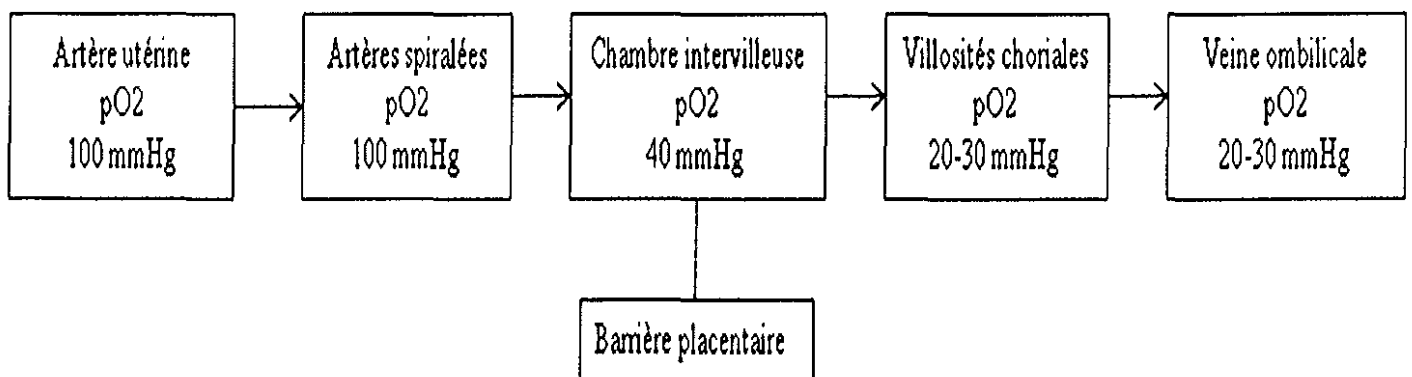


Figure 2. Gradient transplacentaire de pression partielle en oxygène (d'après 24, 80).

L'oxygène circule dans le sang fœtal comme dans le sang maternel sous deux formes :

- une forme dissoute (ou libre) : pression partielle en oxygène du sang (pO_2) en mmHg. C'est la forme de passage à travers la barrière alvéolo-capillaire. Elle sert à oxygéner les tissus.
- une forme liée à l'hémoglobine des globules rouges : saturation en oxygène du sang (SaO_2) exprimée en %. C'est une réserve d'oxygène, libérée dans le sang en cas de diminution de la pO_2 (24).

Les échanges transplacentaires en gaz carbonique (CO_2) et acides fixes, sont inverses de ceux de l'oxygène. Ces éléments diffusent à travers le placenta et sont éliminés par la mère. Il existe, comme pour l'oxygène, un gradient de pression materno-fœtal de CO_2 (80).

1-2. Pendant l'accouchement

Au cours du travail, les modifications de l'équilibre acidobasique concernent parallèlement la mère et son fœtus (80, 103). Chez la mère, les efforts expulsifs entraînent une production d'acide lactique (acidose métabolique) (30). Par ailleurs, l'hyperventilation entraîne une diminution de la pCO_2 (alcalose respiratoire). Ainsi, les deux mécanismes se compensent. L'anesthésie diminue également le pH en entraînant une hypotension. Les contractions utérines interfèrent avec la pression de perfusion utérine et perturbent donc l'apport de sang artériel maternel dans la chambre intervillieuse. Chez le fœtus, le pH demeure inchangé en dépit de la réduction du débit placentaire et des échanges gazeux, si les contractions n'excèdent pas une minute et s'il existe un répit suffisant d'au moins deux minutes entre chaque contraction (80).

Au cours de la phase d'expulsion, le pH fœtal baisse rapidement (117). Le facteur temps est important :

- $\searrow$ de 0.003 unité/min pendant la descente de la tête (58)
- $\searrow$ de 0.04 unité/min pendant l'expulsion de la tête
- $\searrow$ de 0.14 unité/min pendant l'expulsion du tronc (37)

Ainsi, il est recommandé de limiter ces différentes phases respectivement à 30 min, à 2 min 30 et à 40 secondes (37).

De même, les lactates vont augmenter de 1 mmol/L chez le fœtus et de 2 mmol/L chez la mère par demi-heure d'efforts expulsifs (30).

1-3. Post-natal immédiat

Une acidose mixte peut être observée à la naissance chez le fœtus dans des conditions normales, liée à l'accumulation de CO₂ fœtal et le passage transplacentaire d'acide lactique maternel. Cette acidose va immédiatement être compensée par les premiers cycles respiratoires du nouveau-né (80).

2. ECHANGES GAZEUX MATERNO-FOETAUX PATHOLOGIQUES

L'équilibre acido-basique du fœtus dépend de plusieurs facteurs (24, 80):

- facteur maternel : équilibre acido-basique maternel
- facteur fœtal : métabolisme et circulation fœtale
- facteur placentaire : vascularisation et échanges gazeux transplacentaires

L'équilibre acido-basique du fœtus peut être mis en péril s'il existe une pathologie maternelle, fœtale ou une anomalie placentaire notamment une anomalie des échanges gazeux materno-fœtaux. Les échanges gazeux vont essentiellement dépendre du débit sanguin utéroplacentaire et du débit ombilical. C'est le principal facteur limitant. Au cours du travail de l'accouchement, une diminution des échanges gazeux materno-fœtaux peut survenir et ceci concerne 2 % des accouchements (80).

2-1. Généralités

La perturbation des échanges gazeux materno-fœtaux peuvent mener à une hypoxémie, une hypoxie voire même une asphyxie fœtale (figure 3) (71, 95). Les conséquences de la souffrance fœtale aigue occasionnée sont :

- à court terme l'acidose fœtale et l'encéphalopathie néonatale
- à long terme l'infirmité motrice cérébrale

L'acidose fœtale est la diminution du pH fœtal en dessous d'un seuil de 7.25 à 7.20 selon les auteurs (20, 92). Néanmoins toute acidose n'a pas la même signification chez le fœtus. L'acidose respiratoire apparaît rapidement en quelques minutes et va disparaître tout aussi vite lors des premiers mouvements respiratoires. Elle est due à une altération transitoire des échanges gazeux materno-fœtaux. Cette acidose ne laissera pas de séquelles. Par contre, l'acidose métabolique apparaît et disparaît beaucoup plus lentement : la concentration d'acide lactique pouvant rester élevée plusieurs heures après correction de l'hypoxie. Elle est due à une altération prolongée des échanges gazeux materno-fœtaux et risque de laisser des séquelles neurologiques (24, 72).

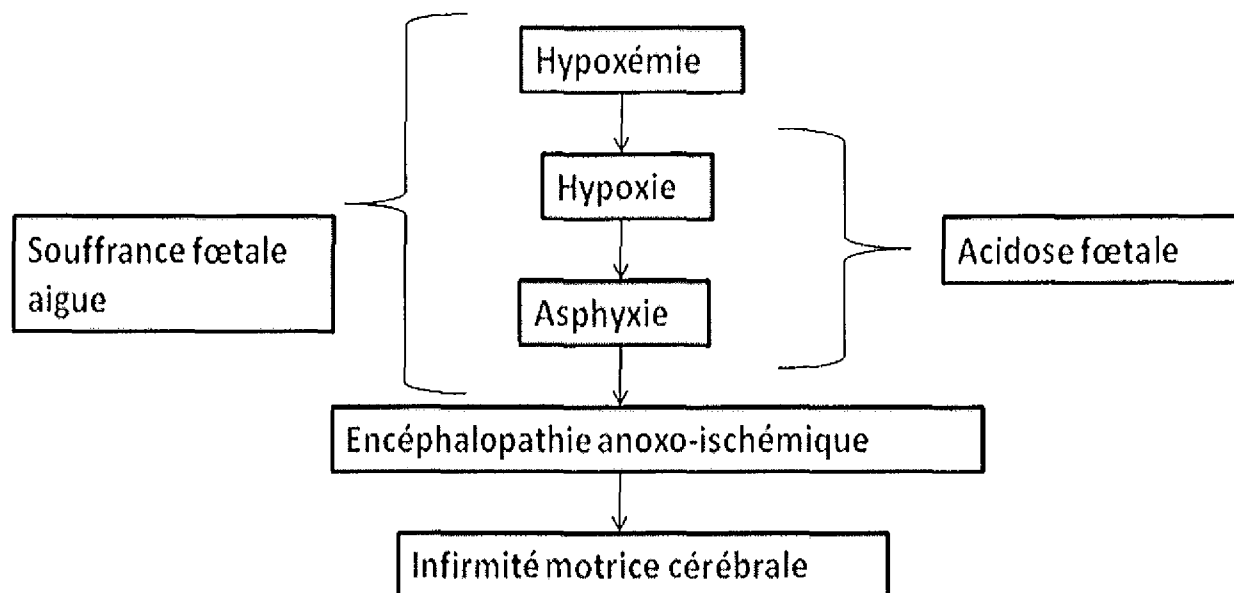


Figure 3. Conséquences d'une anomalie des échanges gazeux materno-fœtaux.

2-2. L'hypoxémie

L'hypoxémie est la diminution de la pression artérielle en oxygène dans le sang artériel. Pour se défendre, le fœtus augmente l'extraction placentaire d'oxygène et diminue son activité métabolique (24). Si l'hypoxémie se prolonge, survient l'hypoxie.

2-3. L'hypoxie

L'hypoxie est la diminution de l'oxygène tissulaire divisée en trois stades selon Saling (figure 4) (95).

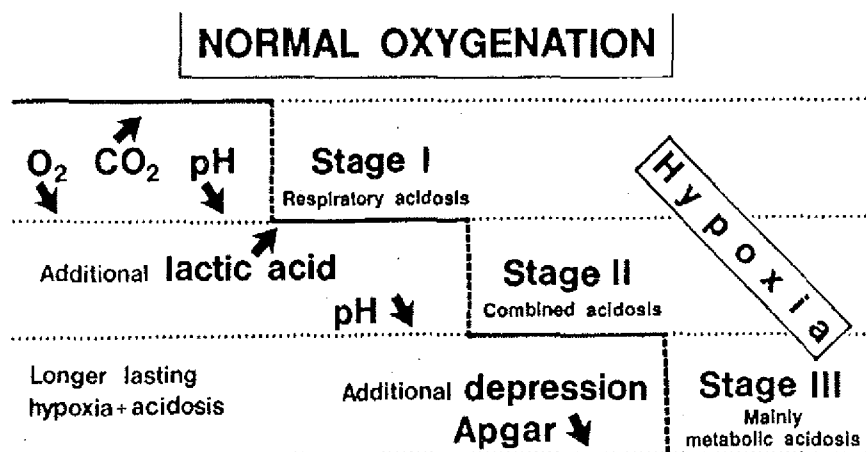


Figure 4. Les différents stades de l'hypoxie fœtale (d'après 95).

Au stade I, parallèlement à la diminution de la pO₂, une accumulation de CO₂ est responsable d'une baisse du pH fœtal par acidose respiratoire.

Le fœtus compense cette situation grâce à une vasoconstriction périphérique (via une libération de catécholamines) et une redistribution du sang vers les organes nobles. Les fonctionnements du cœur et du cerveau sont maintenus prioritairement (24, 95).

Au stade II, contrairement au cœur et au cerveau, le métabolisme des tissus périphériques devient anaérobie par manque d'oxygène. L'orientation du catabolisme glucidique vers la voie anaérobie provoque une production d'acides, principalement de l'acide lactique (annexe 1). Le pH continue de baisser par acidose mixte (37, 95).

Au stade III, l'acidose métabolique devient prédominante et commence à avoir un effet délétère sur la totalité de l'organisme. Le système nerveux central commence à être affecté (annexe 2). L'Apgar à la naissance peut commencer à être perturbé (95). Le fœtus n'arrive plus à compenser. L'acidose est installée. Le stade de l'asphyxie débute (annexe 3).

2-4. L'asphyxie

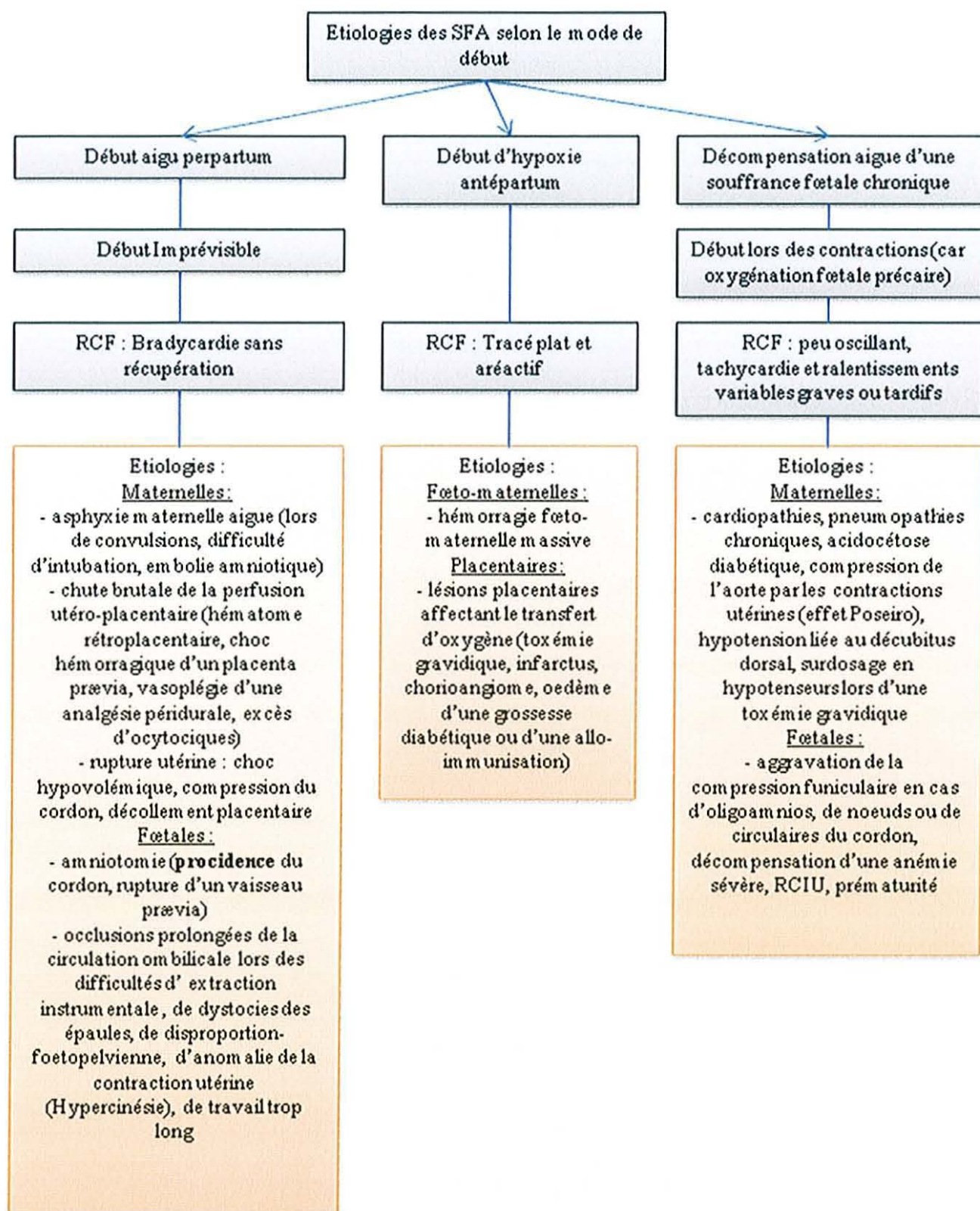
L'asphyxie fœtale correspond à une altération sévère des échanges gazeux utéroplacentaires conduisant à une acidose métabolique et à une hyperlactacidémie témoignant d'une altération du métabolisme cellulaire (26, 122). Sur le plan biologique, une valeur du pH au cordon inférieure à 7,00 et un déficit en bases supérieur ou égal à 12 mmol/L (72) ont été retenus comme éléments péjoratifs de complications néonatales majeures. La suspicion d'asphyxie fœtale concerne 7 % des patientes en travail et est responsable de 20 à 40 % des césariennes, mais est rarement confirmée à la naissance (107). En effet, l'acidose au cordon (pH < 7) concerne seulement 0,5 % des naissances (26). L'asphyxie *intrapartum* est responsable d'une défaillance multiviscérale, de lésions neurologiques (122) voire d'un décès fœtal si le fœtus n'est pas extrait rapidement (116).

2-5. La souffrance fœtale aigue (SFA)

La SFA est une notion complexe dont la définition varie selon les auteurs. Le terme «souffrance fœtale aigue» au cours du travail désigne une asphyxie fœtale progressive, qui si elle n'est pas corrigée, conduit à de lourdes séquelles neurologiques ou au décès du fœtus. Ce terme imprécis devrait disparaître des dossiers médicaux mais est employé au quotidien de façon très fréquente en secteur obstétrical. La SFA se définit comme une perturbation grave de l'homéostasie fœtale, due à un trouble de l'oxygénation fœtale et survenant au cours de

l'accouchement. Elle se traduit par une acidose fœtale, par un trouble de l'adaptation à la vie extra-utérine, défini par une perturbation du score d'Apgar, par des signes neurologiques et/ou par des signes traduisant une défaillance polyviscérale. Le terme SFA est souvent employé en lieu et place du terme «suspicion de SFA». Le terme « extraction pour SFA» est à bannir : il est inexact et a une très lourde signification, qui pourrait plus tard porter préjudice à l'enfant, à la relation mère-enfant et à l'obstétricien. Les termes hypoxie périnatale et asphyxie périnatale pourraient être préférés. La plupart des auteurs fixent les limites de la définition par les valeurs du pH ou du déficit de bases au cordon, avec ou sans mention du score d'Apgar. La définition de la SFA comme l'association entre un score d'Apgar bas et un pH sur l'artère ombilicale bas est rare. Les valeurs de pH sur l'artère ombilicale inférieures à 7,16 ou 7,15 et d'un score d'Apgar à 5 minutes inférieur à 7 sont souvent retenues par les obstétriciens pour évaluer la conduite à tenir (37). L'asphyxie *perpartum*, improprement appelée souffrance fœtale, constitue un évènement rare mais redouté de par les risques de complications immédiates, telle que la mort fœtale *perpartum* et le risque de séquelles neurologiques à distance (24). Le diagnostic de la SFA repose sur des signes cliniques, mais surtout sur l'évaluation de l'oxygénation fœtale par des méthodes directes et indirectes (11). L'analyse du rythme cardiaque fœtal au cours de travail est insuffisante pour prédire la « souffrance fœtale aigue » du fait du fort taux de faux positifs, en particulier en ce qui concerne les scores d'Apgar inférieurs à 7 à la 5e minute (12). Les critères les plus prédictifs de l'évolution défavorable d'une SFA vers une encéphalopathie hypoxique et ischémique ou vers la mort néonatale sont la persistance d'un score d'Apgar < 3 au delà de la cinquième minute de vie et l'existence d'une acidose métabolique grave (pH artériel ombilical < 7,00 et EB < - 12 mmol/L) (11). De nombreuses interventions réalisées pour anomalies du RCF sont intitulées à tort « pour souffrance fœtale ». En effet, dans la plupart des cas il n'existe aucun signe d'asphyxie à la naissance et certaines interventions auraient sans doute pu être évitées par une meilleure évaluation du fœtus d'où le développement des techniques de seconde ligne (25). En fonction des étiologies, trois modes de début de SFA peuvent être observés au cours du travail (figure 5) (11).

Figure 5. Etiologies des SFA selon le mode de début (d'après 11, 73).



2-6. l'encéphalopathie anoxo-ischémique (EAI)

L'EAI est un trouble neurologique précoce en rapport avec un défaut d'oxygène *perpartum*. L'encéphalopathie néonatale témoigne, en cas de contexte d'asphyxie, de l'anoxie cérébrale (26). En dépit de l'amélioration du suivi obstétrical, de l'augmentation du taux de césariennes et des progrès de la réanimation néonatale, l'EAI touche encore 0,5 à 4 ‰ des nouveau-nés (61, 121). Le comportement des premiers jours est un élément pronostique. Il n'y a pas de séquelles neurologique à long terme d'une SFA sans anomalie de l'examen neurologique en période néonatale (37). La classification clinique et pronostique de l'EAI la plus largement utilisée est celle de Sarnat et Sarnat datant de 1976 (tableau I) (11, 37, 61, 102, 122).

Tableau I. Classification de Sarnat des EAI.

Classification des EAI	Signes cliniques	Pronostic
Stade 1 EAI mineure	Hyperexcitabilité sans convulsion	Très favorable
Stade 2 EAI modérée	Diminution de la conscience et du tonus, myosis, bradycardie, accélération du transit	Incertain
Stade 3 EAI sévère	Coma, état de mal convulsif	Très péjoratif (décès, lourdes séquelles)

Dans la forme sévère, l'EAI participe largement à la mortalité néonatale et au handicap de l'enfant (61). Après une EAI un tiers des enfants décède, un tiers présente des séquelles neurologiques et un dernier tiers sera normal (11). Les séquelles les plus fréquentes de l'EAI sont la paralysie cérébrale dans sa forme quadriplégique ou dyskinétique, mais également le retard mental et la surdité (26, 122).

2-7. L'infirmité motrice cérébrale (IMC)

L'infirmité motrice cérébrale est liée à une lésion du cerveau survenue dans la période anténatale ou périnatale donc sur un cerveau en développement (24, 75). C'est une affection chronique et non progressive caractérisée par un handicap moteur séquellaire associé, à des degrés variables, à des troubles de la posture et du mouvement (80). La paralysie cérébrale représente la pathologie la plus fréquente de l'enfance relative à la naissance (16). La fréquence de l'infirmité motrice cérébrale ne diminue pas (86), elle est d'environ 2 pour 1000 naissances et est surtout liée à la grande prématurité (85, 88).

Il est à présent clairement établi que seulement 10 à 15 % des IMC sont en relation avec une asphyxie survenue au cours du travail (18, 85). Cependant l'asphyxie même authentifiée, n'a

pas toujours de conséquences néonatales immédiates ni de séquelles à distance. Pour apporter la preuve que l'évolution défavorable de l'état de l'enfant n'est pas due à une mauvaise conduite de l'accouchement, il faut pouvoir le démontrer en conservant les enregistrements du RCF et en évaluant l'équilibre acidobasique du nouveau-né par un prélèvement de sang dans l'artère ombilicale pour mesurer le pH (11).

En 2003, le Collège Américain des Obstétriciens et Gynécologues (ACOG) et l'Académie Américaine de Pédiatrie ont actualisé la conférence de Consensus de 1999 de l'International Palsy Task Force : Pour imputer une IMC à une asphyxie fœtale : quatre critères majeurs et trois critères mineurs sont nécessaires parmi ceux présentés ci-dessous (tableau II) (26, 65, 110).

Tableau II. Critères définissant une IMC secondaire à une asphyxie selon le consensus de 1999.

Critères majeurs :

- Une acidose métabolique fœtale perpartum, au cordon sur l'artère ombilicale ou précocement chez le nouveau-né (moins d'une heure de vie) grave: pH < 7,00 et/ou un déficit de base > 12 mmol/L
- Une encéphalopathie néonatale modérée ou sévère de début précoce chez un nouveau-né non prématuré (> 34 SA)
- Une infirmité motrice (quadriplégie spastique de type dyskinétique)
- Exclusion des autres causes : traumatisme, troubles de coagulation, pathologie infectieuse, problème génétique

Critères évocateurs non spécifiques :

- Événement hypoxique survenant juste avant ou pendant le travail
- Altération brutale et prolongée du rythme cardiaque fœtal après l'hypoxie avec un tracé antérieur normal ; les anomalies du rythme cardiaque évocatrices étant une bradycardie ou une disparition de la variabilité ou des décélérations tardives ou variables prolongées
- Score d'Apgar < 3 au-delà de la 5 e minute
- Défaillance multi-viscérale précoce (début avant 72 heures de vie)
- Imagerie néonatale précoce montrant des anomalies non focales

Les autres causes d'IMC sont génétiques, métaboliques, infectieuses, hématologiques.

Selon certains auteurs, le rapport de causalité entre un handicap et une asphyxie *intrapartum* nécessite trois critères : une anamnèse obstétricale en faveur d'un événement aigu *intrapartum* altérant le rythme cardiaque fœtal, des marqueurs biologiques d'asphyxie et enfin une encéphalopathie néonatale (122).

II. EVALUATION DU BIEN-ETRE FŒTAL

La surveillance du travail concerne environ 800 000 patientes en France /an (104). Le but de la surveillance pendant le travail est de prévenir l'asphyxie fœtale *perpartum* (19, 35, 104). L'obstétricien dispose de différents outils en salle de naissance pour s'assurer de la bonne vitalité du fœtus ou pour dépister le début d'une souffrance fœtale aigue (80).

Pendant l'accouchement et jusqu'à deux heures après la naissance, les éléments de surveillance fœtaux et maternels sont consignés dans le partogramme. Le partogramme a fait l'objet de recommandations par l'ANAES en 2000. Le partogramme est un outil de conduite du travail, qui améliore la qualité de la prise en charge maternelle et fœtale. C'est aussi le témoignage écrit du déroulement de l'accouchement. Son intérêt est à la fois clinique, décisionnel, pédagogique et médico-légal.

1. EVALUATION DU BIEN ETRE FŒTAL EN PERPARTUM

La surveillance fœtale doit être adaptée aux paramètres maternels et/ou fœtaux. La surveillance sera renforcée en cas de contexte maternel de prééclampsie, diabète, allo-immunisation, utérus cicatriciel, grossesse gémellaire, hyperthyroïdie... et de contexte fœtal de prématurité, retard de croissance intra-utérin (10), terme dépassé, malformations, présentation du siège... (37, 72, 104)

Le rythme cardiaque fœtal constitue la méthode de surveillance de référence, en France (69, 105). Le développement de méthodes complémentaires d'évaluation du bien-être fœtal a pour objectif de réduire le taux d'intervention (extraction instrumentale ou césarienne) qui peuvent se compliquer (2, 108, 109) tout en limitant le risque d'asphyxie périnatale (6, 11, 37).

1.1. Le Rythme Cardiaque Fœtal (RCF)

Le RCF est utilisé en routine depuis les années 50 (3, 29). Le RCF est une bonne méthode de dépistage de l'asphyxie fœtale pendant l'accouchement car sa sensibilité est très bonne et l'existence d'un RCF normal permet d'affirmer le bien-être fœtal avec une excellente valeur prédictive négative (26).

Présentation de la technique

Le monitoring par tococardiographie externe associe l'enregistrement simultané (figure 6) :

- du RCF (cardiographie) grâce à une sonde doppler
- de l'activité utérine (tocographie) grâce à un capteur de pression

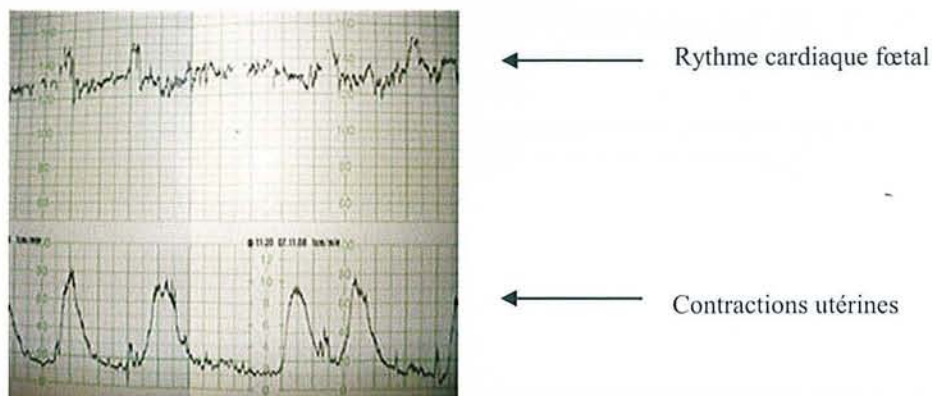


Figure 6. Enregistrement tococardiographique externe.

Le RCF exprime l'adaptation du fœtus aux variations de la pO₂ et de la pression artérielle (11). C'est une méthode de surveillance simple, continue et non invasive (94).

Interprétation

L'analyse du RCF doit être consensuelle pour diminuer les erreurs d'interprétation et utiliser un langage commun (69). L'analyse du tracé devrait être systématique, régulière et notée sur le partogramme. Une analyse toutes les 20 à 30 minutes est recommandée selon l'existence ou non de facteurs de risques. Quatre critères de bases sont utilisés pour l'analyse du RCF : le rythme de base, la variabilité, la réactivité et les accidents : accélérations ou ralentissements (13, 26). Leur place par rapport à la contraction utérine est essentielle. Aux quatre critères du RCF, s'ajoute la tocométrie : l'activité utérine doit être normale en fréquence (2-5 CU/10 min), intensité, durée et temps de relaxation entre les contractions utérines (26, 69).

En 1999, la Fédération internationale des gynécologues et obstétriciens (FIGO) propose une classification des critères du RCF (annexe 4). Pour de nombreuses équipes, cette classification reste la base de l'interprétation du RCF (36, 37).

Les décélérations tardives et variables sévères sont plus fréquemment associées à une insuffisance placentaire et à une asphyxie fœtale (11, 80).

En 2000, certains auteurs proposent une interprétation plus détaillée du RCF (tableau III).

Tableau III. Classification des anomalies du rythme cardiaque fœtal d'après Rosen, adaptée de la FIGO (72, 91).

Classification CTG	Rythme de base	Variabilité-réactivité	Décélérations
CTG normal	110-150 bpm	5-25 bpm Accélérations	Précoces Variables non atypiques (<60 s et < 60 bpm)
CTG intermédiaire	100-110 bpm 150-170 bpm	>25 bpm <5 bpm pendant plus de 40 min	Variables non atypiques (> 60 s et/ou > 60 bpm)
Combinaison de plusieurs situations intermédiaires : CTG anormal			
CTG anormal	>170 bpm/ < 100 bpm Modification du rythme de base + variabilité réduite	<5 bpm pendant plus de 90 min RCF sinusoïdal	Variables atypiques Tardives
CTG préterminal : absence totale de variabilité et de réactivité			
Critères d'interprétations selon Rosén [18].			
1. Rythme de base			
Le rythme de base (RDB) normal est compris entre 110 et 160 bpm. Un RDB à type de bradycardie isolée entre 100 et 110 ou de tachycardie isolée entre 160 et 180 ont une valeur prédictive de pH inférieur à 7,20 à la naissance très faible.			
2. Variabilité			
Une diminution de la variabilité pendant 40 min est fréquente pendant le travail. Son interprétation est aléatoire au-delà : une limite de 5 bpm d'amplitude et de cinq cycles par minute donne la meilleure sensibilité pour la détection d'une acidose néonatale (pH < 7,20) ou d'un score d'Apgar inférieur à 7 à 5 min de vie.			
3. Réactivité (accélérations)			
Les accélérations sont définies par une augmentation rapide du RDB d'au moins 15 bpm pour au moins 15 s. La présence d'accélérations est un bon indicateur de bien-être fœtal. Les RCF avec plus de deux accélérations par 20 min sont corrélés dans plus de 97 % des cas à un score d'Apgar supérieur à 7 à 5 min de vie.			
4. Décélérations			
Cinq types de décélérations sont décrites dans la classification NICE/RCOG : précoces, tardives, variables, variables atypiques et prolongées.			
Les décélérations précoces commencent avec le début de la contraction, avec retour au RDB à la fin de la contraction. Elles sont dites en miroir. Elles ne sont pas associées à un score d'Apgar bas ou une acidose.			
Les décélérations tardives sont associées avec une diminution des scores d'Apgar à 5 min et une acidose.			
Les décélérations variables typiques se présentent sous la forme d'une légère phase d'accélération en début de contraction, suivie d'une rapide décélération avec retour rapide au rythme de base puis courte accélération. Elles sont variables dans leur forme et leur profondeur. Leur interprétation est difficile, ces décélérations n'étant pas constamment associées à une acidose ou un score d'Apgar bas.			
Les décélérations variables atypiques sont définies par une absence de phase d'accélération pré- ou post-ralentissement, un retour lent au rythme de base, un aspect biphasique, une perte de variabilité, un retour à un RDB plus lent ou une durée supérieure à 60 s.			
Les ralentissements prolongés de plus de 3 min en-dessous de 80 bpm sont corrélés à une diminution rapide du pH fœtal.			
5. Aspect sinusoïdal			
L'aspect sinusoïdal sur plus de 90 min doit faire éliminer une anémie fœtale.			
Les tracés présentant deux anomalies doivent être classés comme anormaux et amener à une action adaptée en fonction du contexte obstétrical. Les caractéristiques associées significativement à un risque élevé d'atteinte neurologique sont les décélérations tardives (OR = 3,9 ; 95 % ; IC = 1,7-9,3) et une diminution prolongée de la variabilité (OR = 2,7 ; 95 % ; IC = 1,1-5,8).			

(CTG : cardiotocographie, bpm : battements par minute)

En 2008, le Collège national des gynécologues et obstétriciens français (CNGOF) publie des recommandations en précisant l'interprétation du RCF pendant le travail (tableau IV) (26, 44).

Tableau IV. Interprétation du RCF d'après les recommandations 2008 du CNGOF.

Elément étudié	Normal	Risque faible d'acidose	Risque modéré d'acidose	Risque important d'acidose	Risque majeur d'acidose
Rythme de base	110-160 bpm	100-110 160-180	90-100 bpm isolée > 180 bpm isolée	Rythme sinusoïdal vrai > 10 min (rare)	-Bradycardie sévère subite < 90 bpm -Tachycardie progressive puis ralentissement
Variabilité	6-25 bpm	≤ 5 bpm pdt < 40 min	≤ 5 bpm pdt > 40 min Marquée > 25 bpm	< 5 bpm ou absente > 60-90 min	Absente ou minime
Réactivité	± Présence d'accélération	± Présence d'accélération	Absence d'accélération	Absence d'accélération	Absence d'accélération
Ralentissements	absence	- Variables typiques non sévères - Précoces - Prolongé < 3 min	-Variables atypiques et/ou sévères - Tardifs non répétés - Prolongés > 3 min	- Variables répétés - Tardifs répétés - Prolongés répétés	-Variables répétés - Tardifs répétés - Prolongés répétés
Conduite à tenir	Surveillance cardiotocographi que toutes les 20- 30 minutes	Surveillance cardiotocographique continue	Méthode de surveillance de deuxième ligne	Extraction fœtale rapide ou méthode de deuxième ligne permettant d'exclure une acidose fœtale si elle ne retarde pas l'extraction	Extraction fœtale immédiate sans recours à une méthode de deuxième ligne

Limites

Lorsque le RCF n'est ni franchement pathologique, ni totalement normal, l'interprétation est difficile, et la variabilité intra ou inter opérateur est importante (72).

Bien que cet examen soit utilisé en pratique courante pour son excellente sensibilité, il souffre d'un manque de spécificité (114), et d'un fort taux de faux positifs. (11, 96, 98). Un RCF normal est rassurant. Par contre une altération du RCF est suspecte d'une situation à risque d'acidose fœtale sans l'établir formellement. Certaines variations du RCF expriment davantage un « stress », réaction d'adaptation plutôt qu'une réelle souffrance fœtale « distress », en rapport avec une asphyxie intra-utérine (37). Des méthodes complémentaires comme la gazométrie fœtale au scalp, l'oxymétrie de pouls fœtale, l'électrocardiogramme fœtal ou l'analyse informatisée du RCF sont donc nécessaires pour préciser le degré d'hypoxie fœtale. Certaines améliorations du RCF sont proposées et étudiées à l'heure actuelle (5).

1-1-2. L'enregistrement informatisé du RCF

Plusieurs systèmes existent pour interpréter le RCF par informatique (11). Le système Oxford n'a pas fait l'objet d'étude comparative permettant de l'évaluer correctement (26). Pour l'instant, le RCF informatisé ne peut pas être utilisé seul. Par contre, il peut, tout comme l'oxymétrie, mieux cibler l'indication du pH au scalp (105).

1-1-3. L'électrocardiogramme fœtal (ECG)

L'ECG fœtal est extrait à partir d'une électrode de scalp fœtal. Cette technique repose sur l'analyse des modifications morphologiques de l'ECG au cours de l'hypoxie fœtale (23, 42).

L'analyse de l'espace PR de l'ECG fœtal ne permet pas d'améliorer la surveillance continue du travail (55).

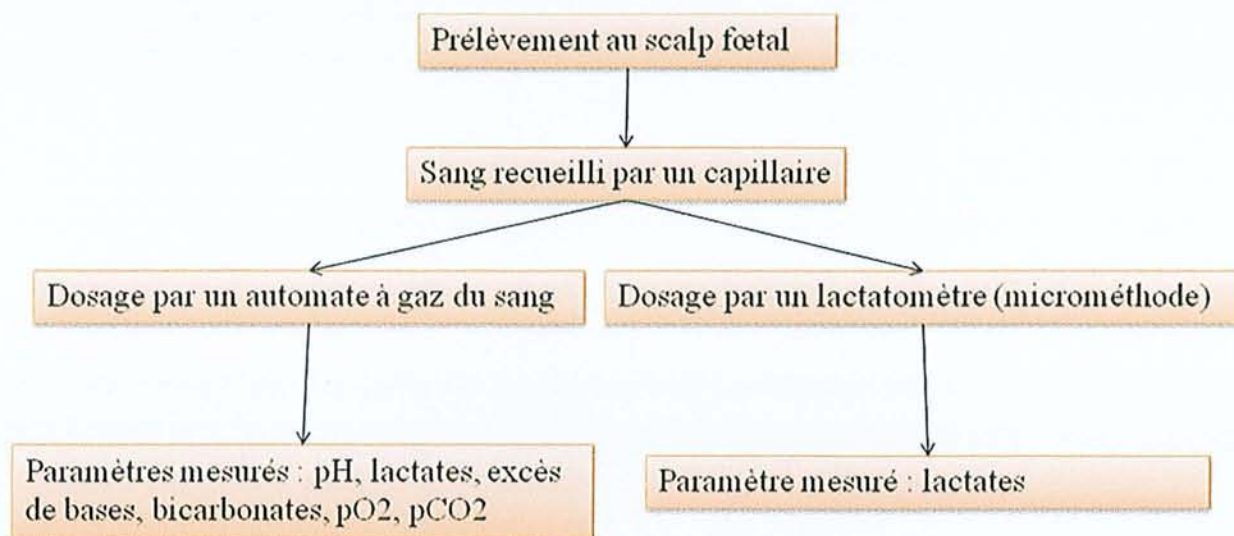
L'analyse du segment ST de l'ECG fœtal est effectuée par une machine nommée « STAN TM S21 » (13, 76, 64, 111, 118). En cas d'hypoxie, le segment ST est modifié : ondes ST biphasiques, et augmentation de l'amplitude de l'onde T. Il ne permet pas de diminuer le taux de césariennes, ni d'extractions instrumentales, mais permet de réduire le taux de pH au scalp (55).

1-2. La gazométrie au scalp fœtal

Il n'y a pas de différences entre la composition du sang artériel irrigant le cerveau fœtal et le sang prélevé au scalp (72, 106). Ainsi, l'analyse du pH, des lactates et de l'excès de bases au scalp peut donner dans l'urgence une idée du statut acido-basique fœtal. Ces techniques présentent l'avantage d'être extrêmement rapides et de ne nécessiter qu'un prélèvement réduit. Elles sont néanmoins invasives et leur réalisation tout comme leur interprétation n'est pas toujours aisée. La technique du pH au scalp a été décrite par Saling pour la première fois en 1962 (92, 101).

Présentation de la technique

Le prélèvement au scalp du fœtus s'effectue au cours du travail, après rupture de la poche des eaux, lorsque le col est suffisamment dilaté (3-4 cm). Aidé par un amnioscope, une incision du scalp est effectuée et le sang est immédiatement récupéré et analysé (11). Le sang est analysé soit par un automate à gaz du sang, soit par un lactatomètre capillaire. En fonction de la méthode de mesure, le prélèvement au scalp permet d'obtenir une gazométrie fœtale plus ou moins complète (figure 7).



Analyseur		
Modèle : GEM Premier 4000		
Service : MATERNITE		
Nom : GP4000		
N/S : 07040438		
Mesuré (37.0°C)		
pH	7.02	
pCO ₂	81	mmHg
pO ₂	13	mmHg
Lac	9.8	mmol/L
Calculé		
BE(B)	-11.5	mmol/L
HCO ₃ ⁻ (c)	20.9	mmol/L

Figure 7. Analyses réalisées à partir d'un prélèvement au scalp.

Indications

Toute anomalie du RCF faisant suspecter une situation à risque d'asphyxie fœtale (26) est une indication du prélèvement au scalp (72). La présence de liquide méconial sans anomalie du RCF n'est pas une indication (47).

Prélèvement

Le prélèvement au scalp doit être réalisé à un moment précis : pendant le travail, au début du second stage, quand le col est complètement dilaté mais quand la présentation est encore à l'entrée du bassin ou dans le milieu du plan pelvien (95) donc en dehors d'un accouchement imminent (72).

Cette technique nécessite :

- une bonne exposition du scalp : présentation céphalique, col dilaté, membranes rompues (56).
- un personnel qualifié.

Effets indésirables

La fréquence des effets secondaires est de 1 à 6 %. Les principaux effets secondaires sont les saignements nécessitant parfois une suture (hématomes) et les infections (cellulites, abcès) au point d'incision (11). Les saignements peuvent s'expliquer par un trouble de la coagulation fœtale congénitale ou acquise ou par une piqûre du sinus longitudinal (37). Si le fœtus présente une hémorragie après prélèvement au scalp, il faut considérer qu'il a une coagulopathie, et prévoir une délivrance atraumatique (non instrumentale) et choisir une autre méthode de surveillance (81).

Contre-indications

Les contre-indications sont :

- un trouble de l'hémostase fœtale
- un terme < à 34 SA car aucune étude ne permet d'affirmer l'innocuité ou le danger aux âges plus faibles (47)
- un RCF évoquant une asphyxie grave nécessitant une intervention rapide (bradycardie < 100 bpm, RCF préterminal) (72)
- les infections virales maternelles : herpès (si lésions évocatrice de poussée), virus de l'immunodéficience humaine, hépatites B et C, cytomégalovirus (37)

Interprétation

L'interprétation des paramètres de gazométrie fœtale est dépendante comme pour toute gazométrie sanguine des facteurs pr-analytiques, première cause de résultats erronés de la gazométrie.

Pour interpréter correctement un gaz du sang, il faut tout d'abord éviter au maximum les erreurs pré-analytiques, qui sont nombreuses (tableau V).

Tableau V. Erreurs pré-analytiques générales d'un gaz du sang.

Erreurs préanalytiques	Conséquences
Dilution avec l'héparine liquide dans les seringues	Diminution de tous les paramètres de gazométrie
Ponction accidentelle de la veine	Diminution de la pO ₂ et sO ₂ Augmentation de la pCO ₂
Bulles d'air	Augmentation de la pO ₂ , sO ₂ et du pH Diminution de la pCO ₂
Caillots	Résultats non fiables Risque de bloquer l'analyseur
Hémolyse	Augmentation du potassium
Stockage prolongé (analyse tardive)	Diminution de la pO ₂ , pH, Glucose Augmentation de la pCO ₂ , lactates et calcium
Homogénéisation insuffisante (sédimentation)	Résultats non fiables Hématocrite fausse

Pour la gazométrie au scalp fœtal, d'autres erreurs pré-analytiques sont à éviter (tableau VI).

Tableau VI. Erreurs pré-analytiques d'un gaz du sang au scalp fœtal.

Erreurs préanalytiques	Conséquences
Contamination par le méconium	Diminution du pH (22)
Contamination par le liquide amniotique (11)	Diminution du pH (62) Augmentation des lactates
Présence d'une bosse séro-sanguine	1 % de décisions médicales non adaptées (93)
Volume insuffisant	Risque d'échec de l'analyse
Incision inadaptée du scalp (25)	Augmentation de la pO ₂ , du pH (contact prolongé du sang avec l'air ambiant) Diminution de la pCO ₂

Pour l'interprétation, il faut aussi tenir compte de la position maternelle (syndrome de posture par compression de la veine cave inférieure) et de la chronologie du micro-prélèvement par rapport à la contraction utérine (faire avant la contraction) (117).

L'interprétation passe également par l'analyse des résultats. Cependant, en l'absence de normes de référence, l'interprétation de tous les paramètres d'un prélèvement au scalp est dépendante de chaque équipe. Enfin, il s'agit d'une surveillance fœtale à un temps donné (11)

et non d'une surveillance continue. Il pourra être nécessaire de répéter le prélèvement si besoin. Actuellement, le pH au scalp est considéré comme l'examen biologique de référence pour l'évaluation du bien être fœtal (21, 54, 114). La mesure des lactates par microméthode se développe actuellement au sein de nombreuses équipes.

1-2-1. Le pH au scalp

Le pH au scalp est une technique qui mesure directement un critère définissant l'asphyxie *perpartum* (26). Depuis la mise en place de la technique du pH au scalp par Erich Saling, en 1962, de nombreuses études ont prouvé l'utilité de cet examen (51, 100). Actuellement, l'étude du pH influence la conduite de l'accouchement dans beaucoup de maternités françaises. La mesure du pH au scalp au cours du travail permet de compléter utilement l'interprétation du RCF. L'intérêt de la pratique du pH au scalp réside en sa capacité à diminuer le nombre de faux positifs du diagnostic d'asphyxie *per-partum* porté à la lecture seule du RCF (72, 105). Le pH au scalp corrige les faux positifs du RCF (11). En effet, une anomalie du RCF n'est pas synonyme d'un pH pathologique (37). Lorsque le rythme cardiaque est ininterprétable (blocs auriculo- ventriculaires ou tachycardies paroxystiques), l'accouchement peut être envisagé par les voies naturelles si le pH au scalp est normal (11).

La mesure du pH au scalp au cours du travail permet de retarder la décision d'extraire le fœtus, sans risque pour l'enfant (11). Les conséquences directes sont :

- une diminution des complications fœtales liées à un accouchement précipité (15 % des cas) (57).
- une diminution de la mortalité périnatale (52) et des convulsions néonatales (11), sans modification significative du score d'Apgar, ni du taux de transferts néonataux (11).
- une diminution de 50 à 60 % du taux de césariennes (césariennes inutiles sur RCF anormal) (11, 25, 57, 95), mais elle accroît de 30 % la fréquence des extractions instrumentales (11).
- une amélioration du pH moyen mesuré à l'artère ombilicale pour l'ensemble des naissances (11, 9).

La mesure du pH au scalp permet aussi une aide à la prise de décision rapide : en 7 à 15 min dans les cas urgents (95).

Interprétation

Pour interpréter un résultat de pH au scalp, deux éléments sont utiles :

- un seuil de pH au scalp définissant la SFA
- la comparaison du pH maternel et du pH fœtal

* Seuil du pH au scalp

Il n'y a pas de consensus établissant un seuil de pH au scalp pour intervenir. Beaucoup d'équipes utilisent de façon arbitraire, le seuil de Saling (20).

Seuil selon Saling : pH au scalp < 7.20 : acidose

pH au scalp 7.20-7.25 : préacidose

pH au scalp > 7.25 : normal

Chaque équipe a retenu le seuil qui lui paraissait le plus adapté en fonction de la littérature et de l'expérience du service (tableau VII).

Lorsque le pH est inférieur à 7,20, la naissance doit avoir lieu habituellement dans la demi-heure (6, 72) selon un algorithme de décision propre à chaque équipe (figure 8).

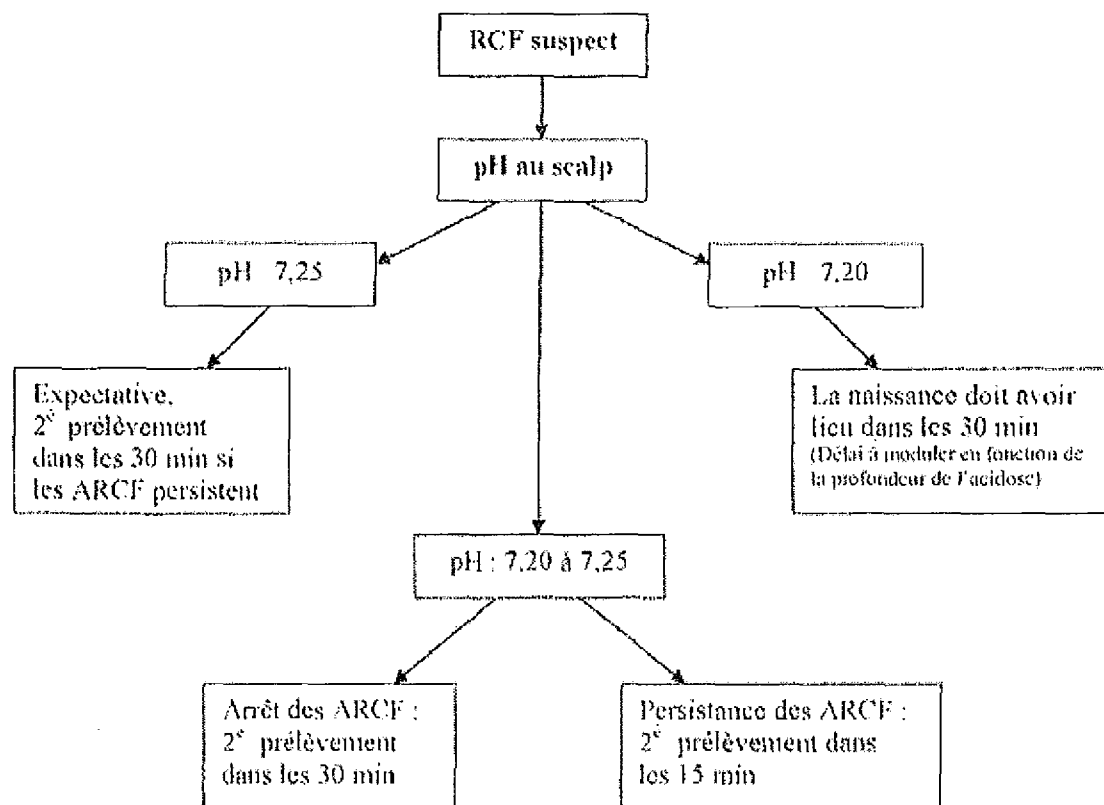


Figure 8. Interprétation du pH au scalp et arbre décisionnel (72).

ARCF : Anomalies du RCF

Tableau VII. Différents seuils des paramètres mesurés au scalp retrouvés dans la littérature pour définir une SFA.

SCALP	Méthode de mesure	Effectif	pH	Lactates (mmol/L)	Apgar
Saling 1962 (92)	NP	77	< 7,20 : acidose 7,2-7,24 : préacidose (expérimental : 2 DS)	NP	NP
Saling 1967 Bretscher (20)	NP	1500	< 7,20 : acidose (25 è percentile) 7,2-7,25 : préacidose	NP	NP
Mendez 1967 (71)	Kopp-natelson microgasometer	9	7,20	NP	< 6 à 1 et 5 min
Laplanche 96 (57)	NP	100	7,25	NP	< 7 à 5 min
Kruger 1999 (54)	Lactate Pro®, Arkray, Japon ABL 510 Radiometer, Copenhagen	1709	7,21 (25 è percentile)	4,8 (75 è percentile)	< 7 à 1min < 7 à 5 min < 4 à 5 min
Carbonne 2002 (22, 23)	NP	174	7,20 (15 è percentile)		< 7 à 5 min
Allen 2004 (3)	Accusport, Boehringer, Mannheim	140	NP	4.2	NP
Boog 2004 (12)	Lactate Pro®, Arkray, Japon NP pour le pH	200	7,20 (par expérience dans le service)	5 (par expérience dans le service)	NP
Nordstrom 2004 (77)	NP	NP	7,21 (25è percentile)	4,8 (75 è percentile)	NP
Ramanah 2005 (87)	Bayer Rapid lab 860	129	7,20 (d'après littérature) 7,21 (courbes ROC)	5 (d'après littérature) 4,97 (courbes ROC)	< 7 à 1 min et 5 min
Borruto 2007 (15)	NP	188	NP	5	NP
Annappa 2008 (1)	Bayer Rapid Lab 840	107	< 7,20 : acidose 7,20-7,25 : préacidose		NP
Ridenour 2008 (89)	Lactate Pro®, Arkray, Japon NP pour le pH	NP	7,20	4,8	NP
Wiberg 2008 (121)	Lactate Pro®, Arkray, Japon Equalis AB, Uppsala, radiometer	2992	< 7.21: acidose 7.21-7.25 : préacidose (Guidelines)	4,8 : acidose 4,2-4,8 : préacidose (Kruger 99)	< 7 à 5 min

NP : Non précisé

Tableau VIII. Erreurs pré-analytiques du dosage des lactates.

Erreurs préanalytiques	Conséquences
Stockage prolongé	Augmentation des lactates (20% en 3 minutes et 70% en 30 minutes)
Echantillon avec fort taux d'hématocrite (exemple : sang néonatal !!)	Diminution des lactates
Utiliser du sérum ou du plasma	Le sérum ou le plasma peuvent contenir plus de lactates que le sang total
Hémolyse	Diminution des lactates
Contamination par le liquide amniotique	Augmentation des lactates
Contamination par la transpiration	Augmentation des lactates
Echantillon contenant une forte concentration de substances réduites (acide ascorbique, acide urique)	Augmentation des lactates

En outre, les lactates augmentent dans de nombreuses situations pathologiques. La surproduction de lactate n'est pas toujours corrélée à une hypoxie tissulaire ou à un métabolisme anaérobie (48) (tableau IX).

Tableau IX. Etiologies de l'augmentation des lactates.

Mécanismes (48)	Etiologies
Hyperlactatémie par hypoxie tissulaire	- baisse du débit cardiaque : choc septique, hypovolémique, cardiogénique - baisse de la PO₂ : anémie sévère, anomalies de l'hémoglobine, hypoxémies sévères, asphyxie - baisse de l'utilisation d'O₂ : sepsis grave, défaillance polyviscérale, intoxication au cyanure - A cause de la pression de l'amnioscope sur le cuir chevelu, d'autant plus grande s'il existe une bosse sérosanguine, car il se crée une situation d'hypoxie localisée. allen 2004)
Hyperlactatémies et maladies systémiques	- insuffisance hépatique, - diabète sucré (↑ pyruvate) (53), - maladies néoplasiques
Hyperlactatémies et intoxications	- biguanides, fructose, éthanol, méthanol, éthylèneglycol, salicylates, cyanure, paracétamol
Hyperlactatémies et augmentation des besoins en O ₂	- Etat de mal convulsif, exercice physique violent - de façon physiologique, lors de la deuxième phase du travail (surtout l'expulsion) : des valeurs hautes de lactates ont pu être rapportées, même en cas de délivrance par voie basse chez des fœtus en bonne santé (53) (15).

On constate également que les lactates (prélevés au cordon) augmentent au cours des extractions instrumentales ou des césariennes (119). Une mesure isolée des lactates au scalp ne permet pas de définir l'origine maternelle, placentaire ou fœtale (53). En effet, les lactates d'origine maternelle peuvent être transmis au fœtus. Le placenta est également producteur de lactates, c'est pour cela que les lactates au cordon doivent être prélevés une minute maximum après le clampage (89). Comme pour le pH au scalp, le seuil des lactates au scalp pour définir la souffrance fœtale aigue, n'est pas consensuel. Beaucoup d'équipes (72) se basent sur différentes études rapportant un seuil de lactates au scalp à 4,8 mmol/L, seuil défini sur un appareil de type Lactate Pro® (54, 121).

1-2-3. L'excès de bases au scalp (EB)

C'est un paramètre calculé qui n'est pas utilisé en routine par les cliniciens.

A pH équivalent, le délai d'action est raccourci en cas de signes d'acidose métabolique (augmentation de l'excès de bases) (72).

L'excès de bases est calculé selon l'équation suivante :

$$\text{Excès de bases} = (1 - 0,014 \times \text{tHb}) \times [\text{HCO}_3^- - 24,8 + (1,43 \times \text{tHb} + 7,7) \times \text{pH} - 7,4]$$

- Avec l'hémoglobine totale et le pH mesurés au cours du dosage
- Avec les bicarbonates calculés au cours du dosage

L'excès de bases exprimé en mEq/l, représente le pouvoir tampon de la quantité d'acides ou de bases qu'il faut ajouter à l'échantillon étudié pour l'amener à un pH de 7,40, pour une pCO₂ de 40 mmHg, à une température de 37 °C.

On distingue :

- l'excès de bases réel : *in vitro*, ABE, cBase (B), BE (B)
- l'excès de bases standard : *in vivo*, SBE, cBase (Ecf)

L'excès de base réel reste une mesure *in vitro* et ne tient pas compte de la continuité du secteur vasculaire avec le secteur interstitiel dont les capacités tampons sont moindres. Ceci aboutit à une surestimation de l'excès de bases. Pour contourner ce problème, il est possible de calculer l'excès de bases standard. L'excès de bases standard (déficit de base des liquides extracellulaires) est corrigé en fonction de la concentration en hémoglobine du secteur extracellulaire (11).

Interprétation

L'EB *in vitro* sert à exprimer les anomalies de bases d'un échantillon de sang (43) (utilisé au laboratoire). L'EB *in vivo* prend en compte le pouvoir tampon de la totalité des fluides extracellulaires. L'EB sert à l'analyse de l'état acido-basique du sang, en conjonction avec la pCO₂ et le pH. L'EB permet d'établir la part métabolique d'une acidose. (43) L'intérêt de la mesure de l'EB au scalp reste à définir (72). L'EB au cordon est utilisé plus couramment pour évaluer l'état fœtal (43, 65, 121).

1-3. L'oxymétrie de pouls fœtal

En 1989, N. Johnson a effectué pour la première fois, une surveillance fœtale par oxymétrie fœtale. L'oxymétrie de pouls mesure la saturation en oxygène de l'hémoglobine (saO₂) c'est-à-dire le pourcentage d'hémoglobine transportant de l'oxygène, en analysant les spectres d'absorption des lumières rouges et infrarouges (11, 35, 97).

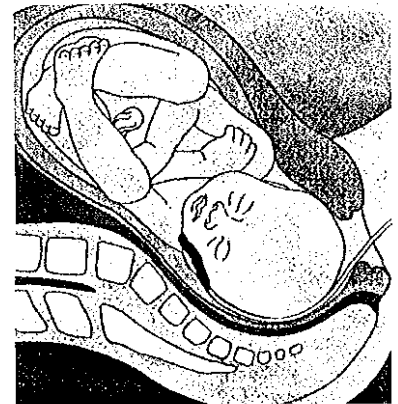


Figure 9. Capteur d'oxymétrie de pouls fœtal (d'après 55).

Présentation de la technique

Un capteur est placé sur la joue du fœtus par voie transvaginale et mesure la SaO₂ par voie transcutanée (figure 9).

En raison des difficultés d'accès au fœtus *in utero*, des oxymètres de type réflectance, où les diodes électroluminescentes et photodétecteur se trouvent du même côté du plan fœtal ont été développés (différents des oxymètres de type transmission comme chez l'adulte ou le nouveau-né) (figure 9) (55). Plusieurs types d'oxymètres existent. C'est une technique non invasive et continue permettant d'apprécier la SaO₂ du fœtus au cours du travail (11, 35, 82).

Interprétation

Certains facteurs entraînent une sous-estimation la SaO₂ (faux positifs) : la présence de méconium, une trop forte pression sur l'électrode, ou une anémie fœtale (35).

La principale difficulté réside en une perte du signal lors des contractions ou en cas de vernix en quantité importante (11, 35).

Le seuil de 30 % de SaO₂ est souvent utilisé par les équipes et correspond à un pH au scalp de 7,20 (22, 35).

Sa valeur diagnostique sur l'asphyxie *perpartum* est comparable à celle du pH au scalp. Toutefois la difficulté d'approvisionnement en capteurs limite son utilisation. L'oxymétrie n'a pas démontré de diminution du taux de césariennes en cas de RCF anormal, car parallèlement une augmentation de césariennes pour dystocies des épaules a été observée (6). L'oxymétrie utilisée conjointement au pH au scalp, permet de réduire le nombre de pH au scalp nécessaire (22, 26, 35, 114). Les sondes sont difficiles à se procurer (72).

D'autres voies de recherche sont en cours, d'une part pour mesurer la saturation en oxygène à travers la paroi abdominale maternelle, d'autre part pour mettre au point des électrodes de scalp qui permettraient non seulement de rester fixées définitivement et de fournir un signal constant, mais encore d'appliquer la technologie de la transmission au lieu de celle de la réflectance (11).

Spectroscopie infrarouge (NIRS near infrared spectroscopy)

Une sonde positionnée sur le scalp fœtal et comportant une double fibre optique permet la mesure simultanée de l'oxyhémoglobine et de la déoxyhémoglobine. Ces dernières diffèrent par leur spectre respectif d'absorption infrarouge, permettant ainsi la détermination de la saturation cérébrale moyenne. Une désaturation cérébrale peu avant la délivrance (valeurs de $\text{SaO}_2 < 25\%$) est donc corrélée à une acidémie respiratoire et métabolique, témoin de l'asphyxie fœtale (11).

1-4. Les tests de stimulation

Qu'ils soient tactiles, vibro-acoustiques ou acoustiques les tests de stimulation permettent de réduire de 50 % les indications du pH au scalp lorsque le stimulus provoque des accélérations nettes de la fréquence cardiaque fœtale (≥ 15 battements par minute pendant 15 secondes) (11, 33, 112).

1-5. En pratique ...

En 1998, Erich Saling publie des recommandations pour une surveillance du fœtus pendant le travail (99).

- Si le RCF est normal, le fœtus n'est pas à risque.
- Si le RCF est anormal, il faut compléter par une méthode biochimique : gazométrie au scalp ou oxymétrie de pouls fœtal.
- En pratique, l'oxymétrie est réalisée si une deuxième gazométrie au scalp est nécessaire. Cependant, dans certaines études, une oxymétrie est faite pour chaque RCF anormal.
- L'intervention est déclenchée pour un seuil de 30 % en oxymétrie
- La tocolyse est déclenchée pour une baisse rapide de 10 % en oxymétrie.
- En cas de situation aigue ou subaigue à pH au scalp normal, l'intervention n'est pas indiquée dans l'immédiat, par contre il est indiqué de refaire le pH au scalp, l'oxymétrie, et de suivre le RCF.
- Si le pH au scalp est inférieur à 7,20 ou entre 7,20-7,24 et en diminution, l'intervention est indiquée.

En 2002, d'autres recommandations ont été émises, au Canada (60).

Le pH au scalp est recommandé en complément du monitoring cardiaque si :

- le RCF est ininterprétable
- le RCF est pathologique (variabilité absente ou minimale, décélérations tardives non corrigées, augmentation de la tachycardie fœtale)
- l'auscultation est anormale

Les nouvelles techniques de surveillance fœtale *perpartum* (algorithmes de RCF d'interprétation informatique, l'oxymétrie fœtale, l'analyse du segment ST, la spectroscopie infrarouge) ne sont pas recommandées comme un examen de routine et de base.

En 2008, une revue systématique de la base de données Cochrane réalisée au Royaume-Uni, a examiné la sécurité et l'efficacité des nouvelles techniques (NIRS, oxymétrie fœtale, STAN, les lactates par microméthodes). Le prélèvement au scalp reste l'outil biologique de référence pour identifier une souffrance fœtale et prendre la décision de césarianiser (1).

En 2008, des recommandations françaises sont parues sur les modalités de la surveillance fœtale pendant le travail. Le pH au scalp reste la méthode de deuxième ligne recommandée. L'oxymétrie n'a pas permis de diminuer le taux de césariennes inutiles. La mesure des lactates par microméthode a une valeur prédictive comparable à celle du pH et est techniquement plus simple mais il n'existe pas d'études démontrant une réduction des césariennes et une amélioration de l'état néonatal. L'ECG fœtal et l'analyse informatisée du RCF nécessitent d'autres études avant de recommander leur utilisation (26).

2. EVALUATION DU BIEN ETRE FŒTAL EN POST-PARTUM IMMEDIAT

En combinant le score d'Apgar, reflet de l'adaptation à la vie extra-utérine et le pH artériel ombilical, reflet de l'environnement intra-utérin, il est possible d'orienter la réanimation vers le traitement d'une asphyxie (ventilation et correction de l'acidose) ou vers le traitement d'une autre cause de dépression néonatale (malformation, traumatisme, infection, conséquence d'une analgésie ou anesthésie maternelles) (11).

2-1. Le score d'Apgar

En 1953, Virginia Apgar introduit un score clinique du nouveau-né. Ce score est mondialement utilisé (9).

Présentation de la technique

Le score d'Apgar correspond au relevé de cinq paramètres du nouveau-né (à 1, 3, et 5 minutes) (tableau X). Il quantifie de manière simple et rapide l'état de l'enfant à la naissance et appréhende son adaptation à la vie extrautérine (37).

Tableau X. Le score d'Apgar (d'après 37).

Critère	Cotation			Score
	0	1	2	
Fréquence cardiaque	≤ 80/min	80 à 100/min	> 100/min	
Respiration	0	faible, irrégulière	efficace, régulière	
Tonus	0	extrémités léger tonus flexion	normal bon tonus flexion	
Réactivité	0	grimaces, léger mouvement	vive, cri	
Coloration	bleue ou blanche	imparfaite	rose	
				Total

Interprétation

Trois cas sont classiquement distingués :

- de 0 à 3, on parle de « mort apparente » ;
- de 4 à 6, on parle de score d'Apgar bas ;
- de 7 à 10, le score est considéré comme normal.

L'évolution de ce score est importante (74). Il ne permet pas de faire la part entre une hypoxie sévère et une détresse non hypoxique du fœtus. Il souffre d'une subjectivité inter-individuelle (37).

La combinaison de l'Apgar et pH au cordon à la naissance offre le meilleur reflet de la présence ou non d'hypoxie pendant le travail (17).

2-2. La gazométrie au cordon ombilical

Compte tenu de la nécessité d'évaluer les pratiques obstétricales et de pouvoir répondre clairement et sans ambiguïté à une plainte pour séquelles néonatales en rapport avec une hypoxie du *perpartum*, il est souhaitable de réaliser systématiquement une gazométrie au cordon (artérielle et veineuse si possible). Si sa réalisation systématique n'est pas possible, il est recommandé de l'effectuer en cas d'anomalies du rythme cardiaque fœtal selon un accord professionnel (15, 26, 70, 79).

En effet, la gazométrie ombilicale permet d'obtenir avec certitude l'état acido-basique du nouveau-né, à la naissance. Si l'état acido-basique du nouveau-né est normal (pH au cordon > 7,15), les signes cliniques observés ne sont pas liés à une hypoxie du *perpartum* (25, 70, 104). Actuellement, le pH au cordon est reconnu comme preuve juridique du bon déroulement de l'accouchement (15, 26, 70, 104). Une acidose métabolique mesurée à la naissance est en faveur d'une asphyxie *perpartum*.

Présentation de la technique

Le sang est prélevé avec une seringue héparinée, dans l'artère ombilicale (et la veine si possible) du cordon, qui a été clampé immédiatement après la naissance.

Interprétation

L'acidose relevée sur les vaisseaux ombilicaux est un bon témoin de l'asphyxie *in utero* (37). Pour interpréter la gazométrie au cordon, plusieurs éléments sont importants : la phase préanalytique du prélèvement, la comparaison des résultats de gazométrie de l'artère et de la veine ombilicales et le seuil du pH au cordon définissant la SFA.

La phase préanalytique de la gazométrie au cordon est essentielle, tout comme celle de la gazométrie au scalp. Une absence de clampage du cordon augmente la pCO₂ dans la veine ombilicale dans les 20-30 secondes après la naissance (70).

Certains facteurs influencent la gazométrie au cordon :

- Le tabac, l'altitude et la multiparité augmentent le pH.
- Les anesthésies régionales diminuent le pH au cordon en réduisant le flux sanguin utéroplacentaire par vasoplégie.

Les différents seuils des paramètres au cordon pour définir une SFA retrouvés dans la littérature sont résumés dans le Tableau (tableau XI).

Tableau XI. Différents seuils des paramètres mesurés au cordon retrouvés dans la littérature pour définir une SFA.

CORDON	Méthode de mesure	Effectif	pH	Lactates (mmol/L)	Excès de bases	Apgar
Boenisch 1974 (9)	NP	32 000	7,20 7,10 : acidose sévère (expérimental)	NP	NP	< 7 < 5 sévère
Brandt 1994 (17)	NP	990	7,25 7,20 sévère	NP	NP	< 6
Laplanche 1996 (57)	NP		7,25	NP	NP	NP
Carbonne 97 (21)	NP	174	7,15 (95 è percentile)	NP	-16	< 7 à 5 min
Kruger 1999 (54)	ABL 510, Radiometer, Copenhagen	1709	7	NP	- 16	< 7 à 1min < 7 à 5 min < 4 à 5 min
Boog 2001 (11)	Lactate Pro®, Arkray, Japon NP pour le pH et l'EB	200	7,15 (10 è percentile)	6	- 8 : modéré (10 è percentile) - 12 : sévère	< 7 à 5 min
Papadopoulos 2001 (80)	NP	NP	7,02-7,18	NP	NP	NP
Linnet 2002 (59)	Lactate Pro®, Arkray, Japon NP pour le pH et l'EB	200	7,15	6 (expérimental)	- 8	
Nordstrom 2004 (77)	NP	NP	7-7.10	NP	- 8 -12 : sévère	NP
Boog 2004 (12)	Lactate Pro®, Arkray, Japon	200		6,1 (90 è percentile)	12	NP

Ramanah 2005 (87)	Bayer Rapid lab 860	129	7,10 (10 è percentile)	6,35 (90 è percentile)	NP	< 7 à 1 et 5 min
Matis 2005 (70)	NP		7,15	NP	NP	NP
Carbonne 2007, 2008 (24, 25)	NP		Seuil pathologique : 7,15 (95 è percentile) Séquelles : 7	5 (95 è percentile)	- 8 : seuil pathologique : - 12 : séquelles	NP
Borruto 2007 (15)	NP			6,35	NP	< 7 à 1 et 5 min
Annappa 2008 (1)	Bayer Rapid lab 840	1450	< 7,05 7,05-7,20	NP	NP	NP
Morel 2008 (72)	NP			NP	- 12	NP
Gjerris 2008 (43)	ABL 700 radiometer copenhagen	2554		8 7 (Courbe ROC)	-12 : ABE -10 : ABE (consensus 99)	NP
Wiberg 2008 (121)	Lactate Pro®, Arkray, Kyoto Equalis AB, Uppsala, Radiometer	2992	7 7,05 si EB à -12	NP	-12	< 7 à 5 min
Vardon 2008 (114)	NP	449	7,15	NP	-12	< 7 à 5 min

La mesure du pH dans les deux vaisseaux permet :

- de vérifier la qualité des prélèvements (pH plus bas dans l'artère que dans la veine)
- de mieux comprendre l'origine de la souffrance fœtale : l'artère ombilicale représente l'état fœtal alors que la veine ombilicale représente la qualité des échanges placentaires. Plus la différence artério-veineuse du pH est élevée ($> 0,15$), plus le phénomène a de probabilité d'être aigu (25) (compression du cordon, procidence, stase sanguine secondaire à une défaillance cardiaque ...). Dans ces circonstances les valeurs veineuses sont subnormales (11) car la veine reste oxygénée par le placenta (70). Plus la différence artério-veineuse du pH est faible ($\leq 0,05$), plus le phénomène est de survenue progressive au cours du travail, voire préexistant au travail (perturbation grave des échanges utéro-placentaires, asphyxie résultant d'un hématome rétro-placentaire...)

Il peut être utile de disposer de l'ensemble du bilan acido-basique : pH, pCO₂, pO₂, BE, bicarbonates, SaO₂. En effet le pronostic d'une acidose respiratoire est plus favorable que celui d'une acidose métabolique (11).

III. LA GAZOMETRIE EN SALLE DE NAISSANCE

1. LE PRINCIPE DE LA MESURE

1-1. Analyseur à gaz du sang : GEM Premier (IL, France)

Le GEM 4000 Premier est composé d'un analyseur et d'une cartouche jetable multi-usage (figure 10). La cartouche est le principal composant du GEM (figures 11 et 12). La cartouche contient tous les éléments nécessaires à la mesure des paramètres : les électrodes (contenus dans la carte électrode), les réactifs, la sonde de prélèvement, la cuve optique du CO-Oxymètre, les tuyaux, la poubelle, la pompe d'aspiration (des échantillons et solutions de contrôle). Les cartouches varient en fonction du volume de tests réalisables et des paramètres mesurés.

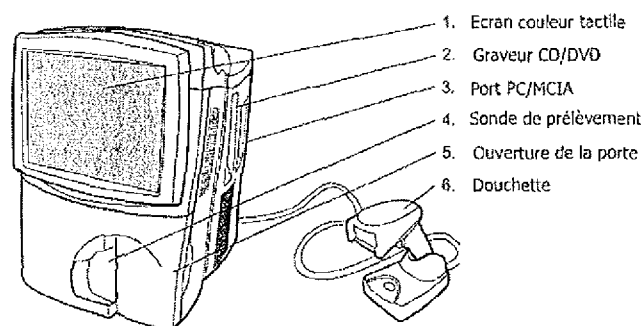


Figure 11. GEM 4000 et ses composants.

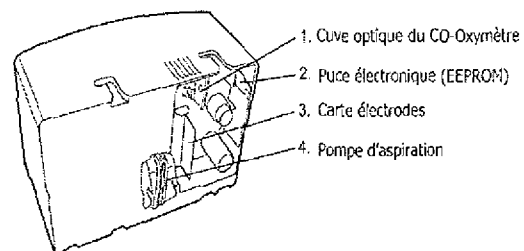
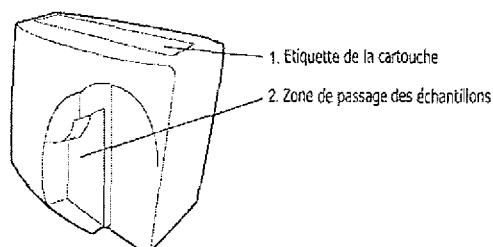


Figure 12. Face avant de la cartouche du GEM 4000.

Figure 13. Face arrière de la cartouche du GEM 4000.

Le GEM 4000 utilise la potentiométrie pour la mesure de : $p\text{CO}_2$, pH, électrolytes. Il utilise l'ampérométrie pour la mesure de : $p\text{O}_2$, glucose, lactates. La conductivité est utilisée pour la mesure de l'hématocrite. La mesure de la Co-oxymétrie est réalisée par spectrophotométrie avec une lyse chimique de l'échantillon. Les paramètres mesurés sont : le pH, les lactates, les électrolytes, le glucose, l'hématocrite, l'hémoglobine et les différentes formes de l'hémoglobine. Les paramètres calculés sont : l'excès de bases, les bicarbonates, la saturation en oxygène.

L'analyseur est muni d'une fonction IQM. L'Intelligent Quality Management (IQM) est un système de contrôle qualité qui remplace le passage quotidien des contrôles de qualité internes. L'IQM repose sur :

- L'utilisation de solutions internes de contrôle du processus analytique (solutions A, B, C, D) qui vont calibrer les électrodes et vérifier leur bon fonctionnement régulièrement. Ces quatre solutions, qui contiennent une quantité connue de paramètres, vont être libérées dans les électrodes à intervalles de temps réguliers pour vérifier l'absence de dérive. Une calibration automatique en un point, deux points et calibration basse en oxygène, sont lancées à intervalle de temps fixe. L'utilisation de solutions externes de validation de la cartouche appelées CVP (Calibration Valuation Product), utilisées uniquement au changement de cartouche.
- Le logiciel de reconnaissance des anomalies à bord de l'appareil afin de mettre en place des actions correctives
- Contrôler la performance de l'analyseur en temps réel
- Identifier les anomalies éventuelles (présence d'un caillot, interférences, dysfonctionnement d'une électrode, mauvaise calibration...)
- Mettre en place automatiquement les actions correctives adaptées (lyse du caillot, message d'interférence, réajustement de la calibration, désactivation d'une électrode)
- Faire un rapport des anomalies et des actions correctives effectuées

Le volume de l'échantillon requis pour les analyses est de 150 μ L mais il peut être réduit à 50 μ L en mode capillaire. Les paramètres obtenus en mode capillaire à partir d'un échantillon sont : le gaz du sang (pH, pO₂, pCO₂, bicarbonates, EB), les électrolytes, le glucose, les lactates.

1-2. Lecteur capillaire pour la mesure des lactates

Depuis quelques années, la détermination de la lactatémie peut s'effectuer au lit du patient grâce à des appareils portatifs (figure 13).

Figure 13. Lactatomètre.
Lactate Pro®, Arkay, Japon.



Dans ces systèmes, la lactatémie est mesurée :

- soit sur le principe de la réflectométrie (Accusport, Boehringer, Mannheim) (12): analyse par réflectance photométrique (bandelettes)
- soit sur le principe de l'ampérométrie (Lactate Pro®, Arkray, Kyoto, Japon) (12) : grâce à une réaction enzymatique catalysée par la lactate oxydase induisant un courant d'électrons (48). Les bandelettes réactives contiennent du ferricyanure de potassium et de la lactate oxydase (annexe 5) (figure 14).

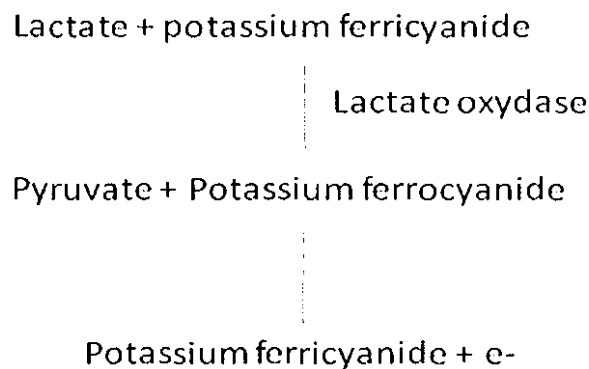


Figure 14. Principe analytique du dosage des lactates sur un lactatomètre (type Lactate Pro®).

Une bandelette de calibration est utilisée pour calibrer le lactatomètre lors de l'ouverture d'une nouvelle boîte de bandelettes réactives. En dehors de cette calibration aucun contrôle n'est effectué.

1-3. Caractéristiques des deux types d'appareillage

Certaines caractéristiques d'un analyseur à gaz du sang et d'un lactatomètre sont résumées dans le tableau XII (tableau XII). L'avantage des microméthodes est un taux d'échecs plus faible car nécessite moins de sang. L'inconvénient de la microméthode capillaire est qu'elle n'est soumise à aucune calibration, ni passage de contrôles qualité, ni validation biologique. De plus, le lactatomètre ne rend que les lactates, et empêche donc une analyse complète de l'état acido-basique.

Tableau XII. Caractéristiques d'un analyseur à gaz du sang et d'un lactatomètre.

	Analyseur a gaz du sang (Type GEM 4000)	Lactatomètre capillaire (Type Lactate Pro®)
Quantité de sang nécessaire	25 à 120 µL	5 µL
Durée de l'analyse	70 secondes	60 secondes
Praticabilité du test	20 % d'échecs	< 10 % d'échecs
Qualité	Fonction IQM : (autonome) - contrôles après chaque échantillon et toutes les 30 minutes - calibration si besoin	Une bandelette de calibration à l'ouverture d'une boîte de bandelettes
Paramètre analysé	pH, lactates, excès de bases, pO ₂ , pCO ₂	Lactates
Traçabilité	OUI - Identification patient - Connexion au système informatique du laboratoire	NON

2. LA BIOLOGIE DELOCALISEE

La biologie délocalisée peut se définir par le fait de procéder à des analyses de biologie médicale en dehors du laboratoire. La norme ISO 22870:2006 fournit des exigences spécifiques des analyses de biologie délocalisées et est destinée à être utilisée conjointement à l'ISO 15189. Les exigences de l'ISO 22870:2006 s'appliquent lorsque les analyses de biologie délocalisées sont réalisées dans un hôpital ou une clinique ou par un organisme de santé prodiguant des soins ambulatoires. Elle peut s'appliquer à des mesures transcutanées, à l'analyse de l'air expiré et à la surveillance *in vivo* de paramètres physiologiques. L'objectif de la biologie délocalisée est d'obtenir la meilleure qualité du service rendu au patient dans le cadre d'une optimisation des moyens (27, 68).

La mise en place d'un analyseur en biologie délocalisée nécessite une entente préalable entre le laboratoire et le service clinique afin de définir les responsabilités de chaque service. Le laboratoire doit assurer la qualité analytique au travers des maintenances (changements de cartouches, nettoyage de l'appareil, mise à jour du logiciel) et du passage des CQ. Le service clinique doit s'engager à analyser les échantillons dans le respect du GBEA (en particulier respect des conditions préanalytiques et respect de l'identification patient). La connexion à distance de l'analyseur délocalisé au SIL devrait être obligatoire, ainsi qu'un module de pilotage à distance. La connexion assure la traçabilité (au sein du SIL) des échantillons

analysés, sous réserve d'une identification correcte du prélèvement par l'équipe soignante réalisant l'analyse. Ce système de pilotage à distance permet au laboratoire de vérifier en temps réel, toute anomalie signalée par le service utilisateur. Dans ce type de configuration, tout incident peut être identifié et résolu dans les meilleurs délais.

PARTIE EXPERIMENTALE

OBJECTIFS

Notre étude comporte deux objectifs : Dans une approche biologique, nous avons évalué la praticabilité d'un analyseur de gaz du sang, le GEM 4000 (IL France), en biologie délocalisée pour la mesure simultanée du pH, des lactates et de l'excès de bases au scalp. Dans une approche clinique, nous avons évalué à partir d'une étude rétrospective, la pertinence (valeurs prédictives et intrinsèques) des résultats biologiques ainsi mesurés pour l'évaluation de la SFA avec confrontation de nos chiffres à ceux de la littérature, détermination de seuils de décision pour les paramètres étudiés et étude de dossiers pour conforter les résultats obtenus.

I. MATERIELS ET METHODES

1. PATIENTS

La mesure du pH au scalp a été réalisée chez 220 fœtus ayant présenté des anomalies du rythme cardiaque fœtal pendant le travail selon les recommandations 2008 du CNGOF. L'étude consiste en l'analyse des résultats de gazométrie au scalp effectuée sur une période de 20 mois (mai 2007 à décembre 2008), à la Maternité régionale de Nancy (figure 15).

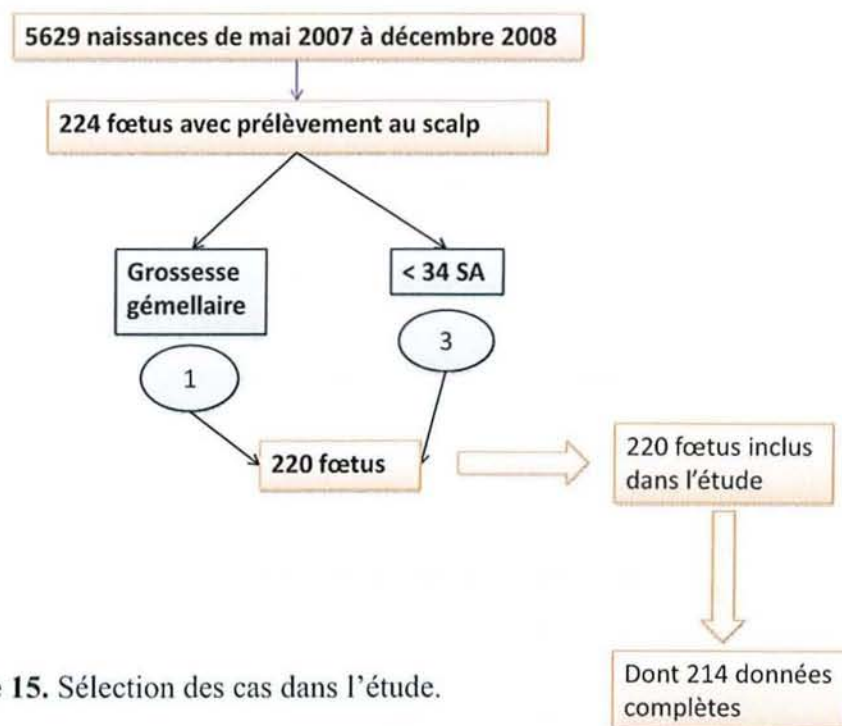


Figure 15. Sélection des cas dans l'étude.

Dans l'étude, les valeurs obtenues chez les fœtus présentant un âge gestationnel inférieur à 34 SA ou une grossesse multiple, n'ont pas été retenues. (figure 15)

Les patients ayant une SFA ont été définis dans notre étude par l'un des critères suivants (figure 16) :

- un critère médico-administratif : le code PMSI 068 +
- un critère biologique :
 - pH au cordon < 7,15
 - ou un EB au cordon < -12 mmol/L
- un critère clinique : Score d'Apgar < 7 à 1 minute

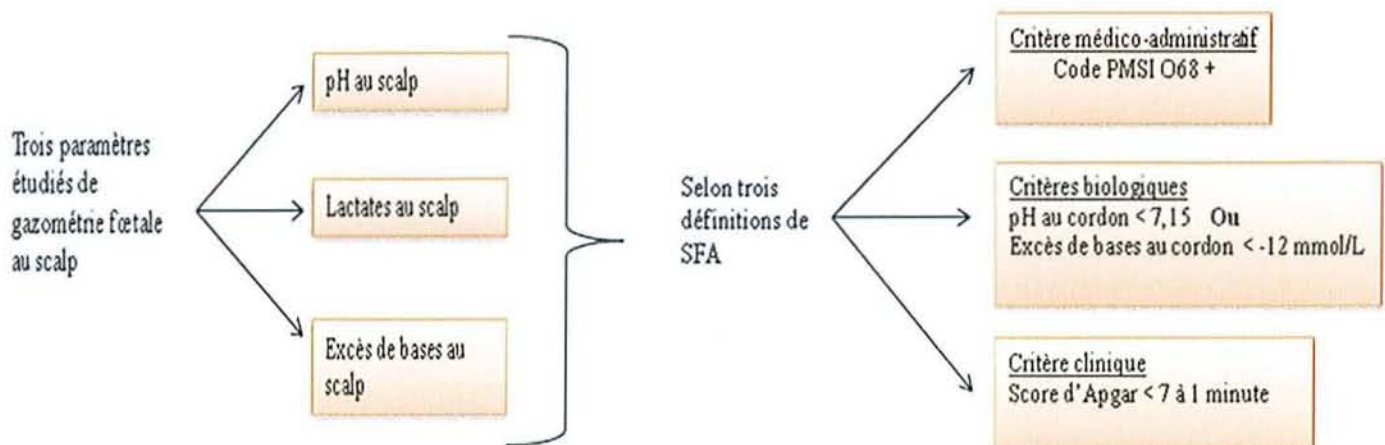


Figure 16. Etude de trois paramètres fœtaux (pH, lactates, EB) selon trois définitions de SFA.

➤ Critère médico-administratif

Le Programme de médicalisation des systèmes d'information (PMSI) est un dispositif de la réforme du système de santé français (ordonnance du 24/04/1996). Pour mesurer l'activité et les ressources des établissements, il est nécessaire de disposer d'informations quantifiées et standardisées. Les diagnostics sont codés d'après la CIM-10 (Classification internationale des maladies et recours aux services de santé N° 10) éditée par l'OMS et faisant l'objet d'extensions régulières par le ministère français de la santé. Le codage PMSI O68 de la CIM-10 est intitulé « Travail et accouchement compliqués d'une détresse fœtale » et comprend au moins un des signes suivants: anomalies du rythme cardiaque fœtal, présence de méconium, signes biochimiques de détresse fœtale (acidémie, anomalie de l'équilibre acido-basique), signes échographiques ou détresse fœtale sans précision.

➤ Critères biologiques

Il n'y a pas de Consensus international concernant la valeur seuil du pH au cordon définissant l'acidose pendant le travail. Selon les auteurs, le seuil du pH au cordon va de 7,25 à 7 pour confirmer l'acidose fœtale *perpartum* (9, 17, 21, 54, 57, 59). Dans notre étude, nous avons retenu le seuil intermédiaire de pH au cordon de 7,15 pour suspecter l'acidose pendant le travail, en accord avec la littérature (11, 37, 59, 70, 114).

Un EB au cordon inférieur à -12 mmol/L est reconnu comme marqueur biologique d'acidose métabolique chez le nouveau-né, témoin d'une acidose fœtale. Le seuil d'EB au cordon à -12 mmol/L repose sur des données bibliographiques (11, 12, 24, 25, 43, 63, 72, 114, 121) et consensuelles (65). La notion d'excès de bases est corrélée au devenir à court terme pour des valeurs seuils supérieures à 12 mmol/L et au devenir à long terme pour des valeurs très élevées, supérieures à 20 mmol/L (61).

➤ Critère clinique

Un Score d'Apgar à une minute inférieur à 7/10 a été retenu dans notre étude comme témoin d'une souffrance fœtale pendant le travail (3, 16, 54, 71, 78, 87).

2. TECHNIQUES DE PRELEVEMENT

2-1. Prélèvement au cordon ombilical

Dès l'expulsion fœtale, le cordon ombilical a été clampé entre deux pinces espacées de 10 cm, avant les premiers cris de l'enfant. Les prélèvements de l'artère ombilicale et de la veine ombilicale ont été effectués avec une seringue héparinée Preset® de 3 mL contenant 80 UI d'héparine de lithium saturée (Becton Dickinson).

2-2. Prélèvement au scalp fœtal

Les prélèvements au scalp fœtal ont été réalisés au cours du travail, après rupture de la poche des eaux, lorsque le col est praticable (dilatation de 3-4 cm). La patiente était en décubitus dorsal, en position gynécologique (figure 17).

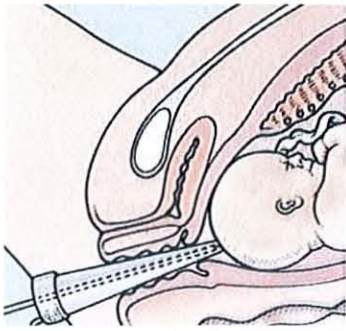


Figure 17. Schéma général d'un prélèvement au scalp fœtal *in utero* (d'après 123).

La procédure a débuté par un badigeonnage antiseptique (bétadine) et la mise en place de champs opératoires. L'amnioscope a été appliqué sur le crâne fœtal (figure 18).



Figure 18. Amnioscope.

Puis, le scalp a été nettoyé avec une compresse imbibée de vaseline liquide (figure 19).

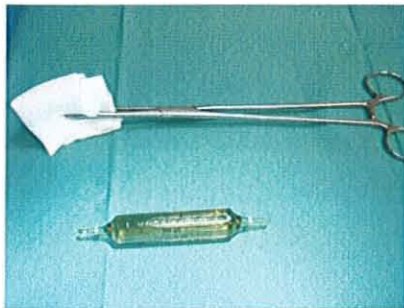


Figure 19. Compresse portée par une pince. Ampoule de vaseline liquide.

Ensuite, le scalp a été incisé avec une aiguille protégée comme le montre la figure 20.

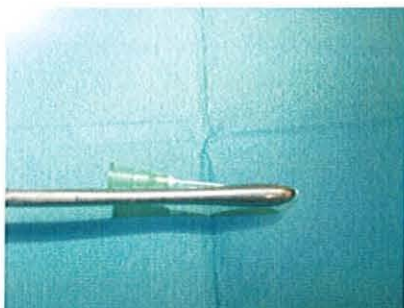


Figure 20. Aiguille protégée (aiguille montée sur une pince) pour réaliser l'incision du scalp fœtal.

L'aspiration de la goutte de sang s'est faite avec un tube capillaire plastique souple de 100 μ L (diamètre interne 1,25 mm, diamètre externe 2,05 mm) contenant 70 UI/mL d'héparine (Safe clinitubes Radiometer) (figures 21,22).

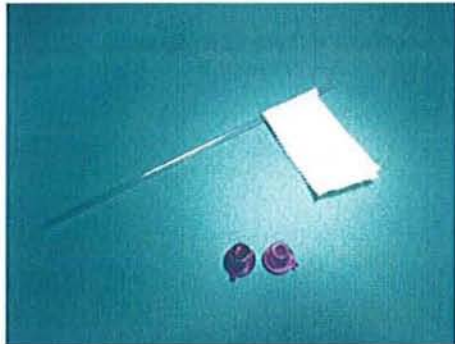


Figure 21. Tube capillaire plastique avec ses bouchons pour chaque extrémité.

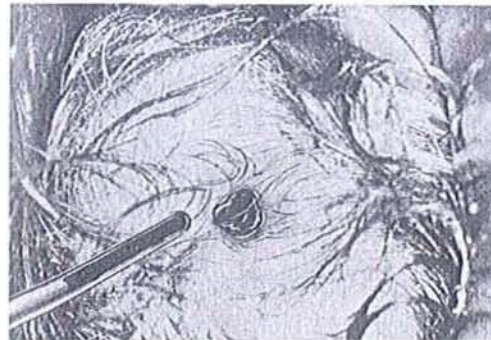


Figure 22. Aspiration de la goutte de sang du scalp fœtal par un capillaire (d'après John 52).

3. ANALYSEUR GEM 4000 (IL, FRANCE)

L'analyseur GEM 4000 (IL, France) est localisé en salle de naissance (figure 23).



Figure 23. Automate GEM 4000 Premier (IL, France).

Les échantillons ont été passés sur l'automate par le personnel en salle de naissance, immédiatement après le prélèvement. Le volume d'échantillon requis pour les seringues de sang ombilical est de 150 μ L et de 50 μ L pour les capillaires prélevés au scalp. La durée du passage de l'échantillon est de 70 secondes. Le GEM 4000 est connecté au Système informatique du laboratoire (SIL) : Biowin, Biosystem, France. Les paramètres pH, pO₂, pCO₂ et lactates ont été mesurés sur l'analyseur GEM 4000. L'EB et les bicarbonates ont été calculés sur ce même analyseur.

4. ANALYSE STATISTIQUE

Il s'agit d'une étude rétrospective monocentrique continue. Les calculs statistiques ont été réalisés avec le logiciel Microsoft Excel et SAS 9,2. Les tests statistiques utilisés sont : le test de Student, le test de Pearson, le test du chi². Le seuil de significativité employé est : $p < 0.05$. Lorsque plusieurs prélèvements au scalp ont été effectués sur le même fœtus, seul le dernier résultat a été pris en compte dans l'étude.

La sensibilité est la probabilité d'avoir un test positif chez les malades. La spécificité est la probabilité d'avoir un test négatif chez les non malades. La valeur prédictive positive (VPP) est la probabilité que le patient soit malade si le test est positif. La valeur prédictive négative (VPN) est la probabilité que le patient soit sain si le test est négatif. L'étude statistique menée a pour objectif de démontrer la valeur diagnostique des paramètres étudiés (pH, Lactates, EB) en fonction de trois définitions de SFA. Les seuils de décision des paramètres étudiés ont été calculés à partir de nos résultats.

5. A PROPOS DE SEIZE DOSSIERS PATIENTS

Nous avons consulté les dossiers cliniques des fœtus ayant présenté un pH au scalp inférieur à 7,21 (soit 16 dossiers) afin de typer l'acidose en analysant l'ensemble de la gazométrie fœtale et d'apprécier leur devenir neurologique.

II. RESULTATS

1. PRESENTATION GENERALE DE LA POPULATION

220 fœtus de la Maternité régionale de Nancy ont été inclus dans l'étude. Tous ces fœtus ont eu un prélèvement au scalp pendant la période d'étude allant de mai 2007 à décembre 2008.

La population étudiée est présentée dans le tableau XIII.

Tableau XIII. Caractéristiques de la population étudiée (n=214)

Age gestationnel (en SA)	39.5	($\pm 1,4$)
Age maternel (en années)	28.34	(± 5.4)
Sexe fœtal masculin	117	(54,42 %)
Accouchement voie basse	147	(68,37 %)
Césarienne	68	(31,63 %)
Forceps	48	(22,3 %)
Ventouses	23	(10,70 %)
Accouchement spontanés	76	(35,37 %)
Apgar à 1 minute : < 7	56	(25,45 %)
Transfert en réanimation néonatale	11	(5 %)
Transfert en néonatalogie	39	(17,7 %)
Encéphalopathie anoxo-ischémique	0	
Décès fœtal	0	

Les moyennes des paramètres de gazométrie étudiés de la population étudiée, sont résumées dans le tableau XIV.

Tableau XIV. Moyennes des paramètres étudiés de la population étudiée.

Paramètres de gazométrie étudiés	Moyenne $\pm$ Ecart-type
pH au scalp	7.29 $\pm$ 0.08
Lactates au scalp (mmol/L)	2.90 $\pm$ 1.89
Excès de bases au scalp (mmol/L)	-3,32 $\pm$ 3,25

2. STATISTIQUES DESCRIPTIVES DES DIFFERENTS PARAMETRES SELON LA DEFINITION DE LA SFA

2-1. Critère médico-administratif : la classification PMSI O68 +

Selon cette définition, 70 % des fœtus (n=145) ayant subi un prélèvement au scalp étaient en souffrance fœtale aigue. Le pH au scalp est significativement abaissé ($p < 0,0001$) et les lactates et l'EB au scalp sont significativement augmentés pour les fœtus PMSI + ($p = 0,001$ et $p = 0,02$) (tableau XV).

Tableau XV. Statistiques descriptives selon le critère PMSI.

n = 207	PMSI O68 – (n=62) Moyenne ± Ecart-type	PMSI O68 + (n=145) Moyenne ± Ecart-type	Seuil de significativité « p »
pH au scalp	7,33 ± 0,07	7,28 ± 0,08	< 0,0001*
Lactates au scalp (mmol/L)	2,29 ± 1,22	3,09 ± 2,03	0,001*
Excès de bases au scalp (mmol/L)	-2,47 ± 2,90	-3,69 ± 3,54	0,02*

2-2. Critère biologique : le pH au cordon < 7,15

Selon cette définition, 19,7 % (n= 33) des fœtus ayant subi un prélèvement au scalp étaient en souffrance fœtale aigue. On observe des lactates significativement augmentés ($p = 0,01$) ainsi que l'excès de bases ($p = 0,03$) chez les fœtus ayant un pH au cordon < 7,15 (tableau XVI).

Tableau XVI. Statistiques descriptives selon le critère pH au cordon.

n = 177	pH au cordon > 7,15 (n=144) Moyenne ± Ecart-type	pH au cordon < 7,15 (n= 33) Moyenne ± Ecart-type	Seuil de significativité « p »
pH au scalp	7,30 ± 0,06	7,28 ± 0,13	0,34 NS
Lactates au scalp (mmol/L)	2,56 ± 1,42	3,89 ± 2,79	0,01*
Excès de bases au scalp (mmol/L)	-2,93 ± 2,93	-4,33 ± 4,50	0,03 *

Parmi les 33 cas de pH au cordon < 7,15, 22 d'entre eux avaient une gazométrie au scalp normale. Parmi les 5 cas de pH au cordon < 7, un cas n'a pas été détecté par la gazométrie au scalp. Le délai entre la gazométrie au scalp et au cordon était de 1 heure dans ce dernier cas.

2-3. Critère biologique : l'excès de bases au cordon < -12 mmol/L

Selon cette définition, 4 % des fœtus (n= 9) ayant subi un prélèvement au scalp étaient en souffrance fœtale aigue. Les lactates (p = 0,006) et l'excès de bases au scalp (p = 0,02) sont significativement augmentés chez les fœtus ayant un excès de bases au cordon < -12 mmol/L (tableau XVII).

Tableau XVII. Statistiques descriptives selon le critère excès de bases au cordon.

n = 220	Excès de bases au cordon >-12 mmol/L (n= 211) Moyenne ± Ecart-type	Excès de bases au cordon <- 12 mmol/L (n= 9) Moyenne ± Ecart-type	Seuil de significativité « p »
pH au scalp	7,30 ± 0,08	7,28 ± 0,09	0,33 NS
Lactates au scalp (mmol/L)	2,64 ± 1,59	3,67 ± 2,43	0,006*
Excès de bases au scalp (mmol/L)	-2,95 ± 3,09	- 7,50 ± 4,67	0,02 *

2-4. Critère clinique : le score d'Apgar < 7 à 1 minute

Selon cette définition, 25,4 % des fœtus (n= 56) ayant subi un prélèvement au scalp étaient en SFA. Les lactates (p = 0,04) et l'excès de bases au scalp (p = 0,04) sont significativement augmentés chez les fœtus ayant un score d'Apgar < 7 à 1 minute (tableau XVIII).

Tableau XVIII. Statistiques descriptives selon le critère score d'Apgar à une minute.

n = 220	Score d'Apgar > 7 à 1 minute (n= 164) Moyenne ± Ecart-type	Score d'Apgar < 7 à 1 minute (n= 56) Moyenne ± Ecart-type	Seuil de significativité « p »
pH au scalp	7,29 ± 0,06	7,28 ± 0,11	0,17 NS
Lactates au scalp (mmol/L)	2,75 ± 1,60	3,34 ± 2,49	0,04 *
Excès de bases au scalp (mmol/L)	- 3,06 ± 3,09	- 4,08 ± 3,96	0,04 *

On constate une variation du pourcentage de SFA selon la définition retenue (figure 24) mais les valeurs biologiques moyennes sont assez proches quelque soit la définition de SFA (figure 25).

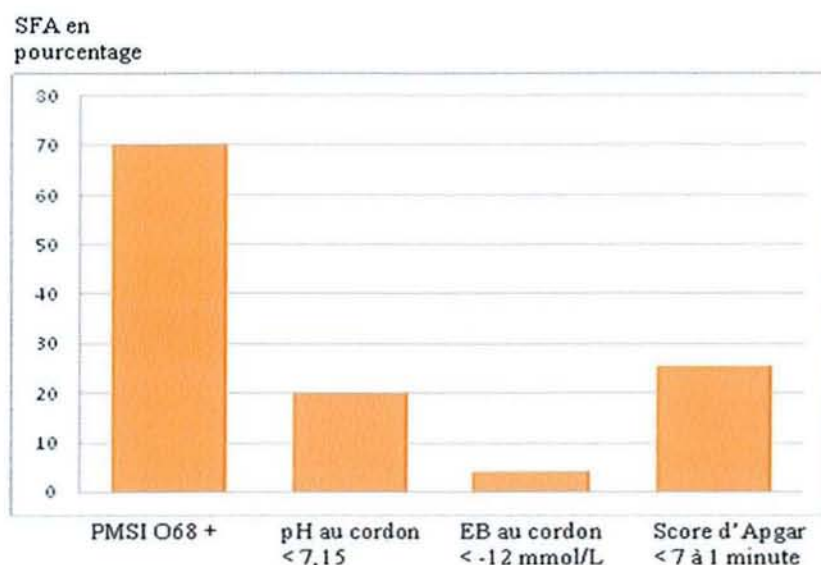


Figure 24. Pourcentage de SFA selon la définition choisie de la SFA.

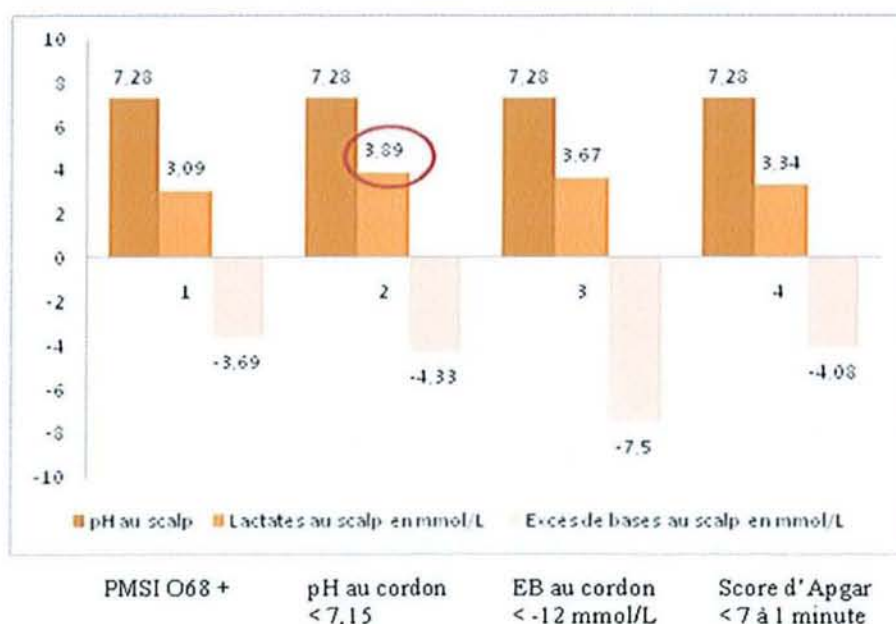


Figure 25. Moyennes des paramètres étudiés en fonction de la définition de la SFA.

On note que les lactates au scalp sont plus augmentés dans la SFA définie par le pH au cordon. En revanche, on constate que le pH a une moyenne de 7,28 quelle que soit la définition de SFA. La moyenne du pH au scalp est très supérieure au seuil de 7,20 admis généralement. Les lactates sont inférieurs au seuil habituellement retenu de 4,8 mmol/L.

3. VALEURS INTRINSEQUES (SENSIBILITE, SPECIFICITE) ET VALEURS PREDICTIVES POSITIVE (VPP) ET NEGATIVE (VPN)

3-1. pH au scalp au seuil de 7,20

Dans la littérature, le seuil de pH au scalp le plus fréquemment retenu pour définir une SFA liée à une acidose *in utero* est de 7,20 (1, 12, 37, 54, 71, 72, 77, 87, 89, 92, 121). La spécificité du pH au scalp au seuil de 7,20 est excellente quelle que soit la définition de la SFA. Le taux de faux positifs est faible (0 à 4 %). On constate de bons résultats pour la valeur prédictive négative. La sensibilité du test est faible (tableau XIV).

Tableau XIV. Valeurs intrinsèques et prédictives du pH au scalp au seuil de 7,20, pour prédire une SFA.

Pour un pH au scalp au seuil de 7,20	Spécificité (en %)	Sensibilité (en %)	Valeur prédictive négative (en %)	Valeur prédictive positive (en %)
PMSI O68 +	100	11,7	32,6	100
pH cordon < 7,15	95,8	18,2	83,6	50
Excès de bases cordon < - 12 mmol/L	95,5	14,3	76,3	47,1
Score d'Apgar < 7 à 1 minute	94,5	14,3	76,4	47,1

Le pH au scalp au seuil de 7,20 a une spécificité de 100 % pour prédire une SFA selon le code PMSI O68. Dans la population étudiée, 16 cas présentent un pH au scalp inférieur à 7,21. Tous ces cas présentent soit une perturbation des paramètres respiratoires (pO₂, pCO₂ au scalp), soit des paramètres métaboliques (lactates ou EB au scalp).

3-2. Lactates au scalp au seuil de 4,8 mmol/L

Dans la littérature, le seuil de lactates au scalp le plus fréquemment retenu pour définir une acidose *in utero* est de 4,8 mmol/L (54, 72, 77, 89, 121). La spécificité des lactates au scalp au seuil de 4,8 mmol/L est inférieure à celle du pH au scalp quelle que soit la définition de SFA retenue. De même, le taux de faux positifs est un peu plus élevé (1 à 6,8 %) que pour le pH au scalp. La VPN est similaire à celle du pH au scalp (tableau XX).

Tableau XX. Valeurs intrinsèques et prédictives des lactates au scalp pour prédire une SFA.

Lactates au scalp au seuil de 4,8 mmol/L	Spécificité (en %)	Sensibilité (en %)	Valeur prédictive négative (en %)	Valeur prédictive positive (en %)
PMSI O68 +	95,2	15,2	34,4	88
pH cordon < 7,15	91,7	21,2	83,5	36,8
Excès de bases cordon < -12 mmol/L	91,46	25	78,1	50
Score d'Apgar < 7 à 1 minute	90,2	21,4	77,7	42,8

Dans la population étudiée, 31 cas présentent une augmentation des lactates au scalp au-delà de 4,8 mmol/L. Parmi ces 31 cas, 7 ont une augmentation isolée des lactates au scalp et 10 ont une augmentation conjointe des lactates et de l'EB au scalp (paramètres au cordon normaux).

3-3. Excès de bases au scalp au seuil de -6 mmol/L

Très rares sont les auteurs qui proposent un seuil d'EB au scalp. Matis et al.

évoquent un seuil à 5 mmol/L (70). Nous avons choisi un seuil d'excès de bases à -6 mmol/L pour définir une acidose *in utero*. Au seuil de « -6 mmol/L », l'EB a une spécificité plus médiocre et un taux de faux positifs plus élevé (3,9 à 11%) que les deux autres paramètres étudiés (tableau XXI).

Tableau XXI. Valeurs intrinsèques et prédictives de l'excès de bases au scalp pour prédire une SFA.

Excès de bases au scalp au seuil de -6 mmol/L	Spécificité (en %)	Sensibilité (en %)	Valeur prédictive négative (en %)	Valeur prédictive positive (en %)
PMSI O68 +	87,1	15,7	31,4	73,3
pH cordon < 7,15	89,3	27,3	84,9	37,5
Excès de bases cordon < - 12 mmol/L	88,3	55,5	97,3	20,8
Score d'Apgar < 7 à 1 minute	88,1	23	79,9	40,6

Dans la population étudiée, 33 cas présentent une augmentation de l'EB au scalp au-delà de 6 mmol/L. Parmi ces 33 cas, 9 ont une augmentation isolée de l'EB au scalp et 10 ont une augmentation conjointe des lactates et de l'EB au scalp (paramètres au cordon normaux).

4. DETERMINATION D'UN SEUIL

En considérant un pH au cordon $< 7,15$ comme marqueur de SFA, nous avons déterminé les seuils de nos différents paramètres (pH, lactates et excès de bases au scalp) afin de les rendre cliniquement intéressants puis les comparer à ceux de la littérature.

4-1. Détermination d'un seuil de pH au scalp

Pour un seuil de 7,20, le pH au scalp a une excellente spécificité (95,83%) pour prédire un pH au cordon $< 7,15$ (tableau XXII). D'après nos résultats, le seuil de pH au scalp de 7,20 semble meilleur que le seuil de 7,21

Tableau XXII. Détermination d'un seuil de pH au scalp pour prédire un pH au cordon $< 7,15$.

Seuil de pH au scalp	Spécificité (en %)	Sensibilité (en %)
7,24	86,81	21,21
7,23	90,97	18,18
7,22	92,36	18,18
7,21	93,75	18,18
7,2	95,83	18,18
7,19	97,22	15,15
7,16	97,92	12,12
7,14	98,61	9,09
7,12	99,31	9,09
7,11	100,00	9,09

4-2. Détermination d'un seuil de lactates au scalp

Pour un seuil de 4,8 mmol/L, les lactates au scalp ont une bonne spécificité (91,24%) pour prédire un pH au cordon $< 7,15$. D'après nos résultats, un seuil plus élevé apporterait une plus grande spécificité. Au seuil de 6 mmol/L par exemple, les lactates ont une spécificité de 94,89 % (tableau XXIII).

Tableau XXIII. Détermination d'un seuil de lactates au scalp pour prédire un pH au cordon < 7,15.

Seuil des lactates au scalp (mmol/L) SFA-pH cordon	Spécificité (en %)	Sensibilité (en %)
4,6	89,05%	29,03%
4,7	90,51%	29,03%
4,8	91,24%	29,03%
4,9	91,24%	22,58%
5	91,24%	19,35%
5,4	92,70%	19,35%
5,7	93,43%	16,13%
6	94,89%	16,13%
6,1	96,35%	16,13%
6,3	97,08%	16,13%

4-3. Détermination d'un seuil d'excès de bases au scalp

Pour un seuil de 6 mmol/L, l'EB a une bonne spécificité (89,3 %) (tableau XXI) pour prédire une SFA définie par un pH au cordon < 7,15. D'après nos résultats, un seuil plus élevé apporterait une plus grande spécificité. Un seuil de 6,6 mmol/L apporterait une spécificité de 91,4 % (tableau XXIV).

Tableau XXIV. Détermination de l'excès de bases au scalp pour prédire un pH au cordon < 7,15.

Seuil des excès de bases au scalp (mmol/L) SFA-pH cordon	Spécificité (en %)	Sensibilité (en %)
-5	82	36
-5,3	85,7	36,6
-5,5	87,8	33,3
-5,8	88,6	30,3
-6,3	89,5	27
-6,5	90	27
-6,6	91,4	24,2
-6,9	92,1	18
-7,1	92,8	18

5. DEVENIR DES ENFANTS

5-1. Parcours hospitalier des enfants étudiés

* Sur les 220 enfants, 39 ont été hospitalisés en néonatalogie (pour 2 jours le plus souvent) dont 11 ont initialement eu un séjour en réanimation (figure 26).

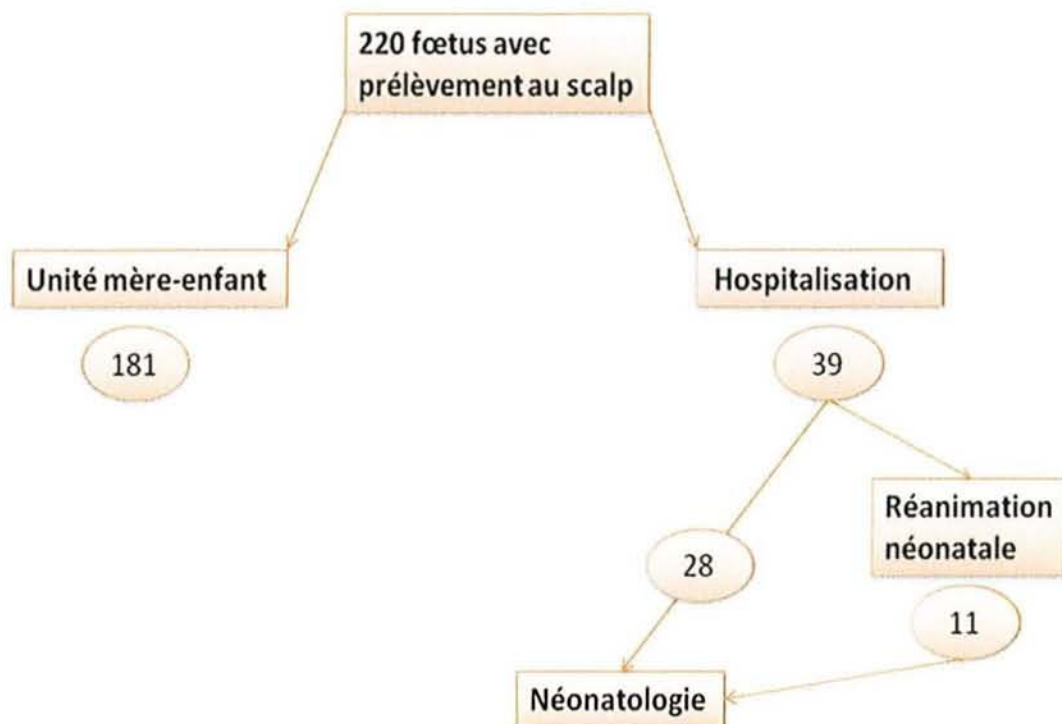


Figure 26. Parcours hospitalier de tous les fœtus étudiés.

Un reflet des valeurs normales des paramètres de gazométrie au scalp et au cordon est donné à partir de la moyenne des paramètres des 181 nouveau-nés qui n'ont pas été hospitalisés. Le pH moyen est de l'ordre de $7,30 \pm 0,06$ (tableau XXV). Tous les paramètres de gazométrie (scalp et cordon) mesurés sont significativement plus perturbés chez les enfants hospitalisés que chez les enfants en unité mère-enfant, sauf le pH, la pO₂ et la pCO₂ au scalp.

Tableau XXV. Statistiques descriptives des paramètres de gazométrie selon le parcours hospitalier.

Paramètres	Unité mère-enfant Moyenne $\pm$ Ecart type	Hospitalisation Moyenne $\pm$ Ecart type	Seuil de significativité « p »
pH au scalp	7,30 $\pm$ 0,06	7,26 $\pm$ 0,11	0,06 NS
Lactates au scalp (mmol/L)	2,62 $\pm$ 1,51	4,16 $\pm$ 2,74	0,002*
Excès de bases au scalp (mmol /L)	-2,8 $\pm$ 2,80	-5,5 $\pm$ 4,60	0,001*
pO2 au scalp (mmHg)	15, 59 $\pm$ 11,60	16,05 $\pm$ 9,18	0,8 NS
pCO2 au scalp (mmHg)	49,9 $\pm$ 10,27	49,8 $\pm$ 16,60	0,9 NS
pH cordon	7,23 $\pm$ 0,08	7,15 $\pm$ 0,11	< 0,001*
Lactates cordon (mmol /L)	3,84 $\pm$ 1,78	5,62 $\pm$ 2,57	< 0,001*
Excès de bases cordon (mmol /L)	- 5,7 $\pm$ 2,97	-8,6 $\pm$ 4,02	0,001*
pO2 au cordon (mmHg)	14,01 $\pm$ 8,01	10,13 $\pm$ 6,23	0,01*
pCO2 au cordon (mmHg)	53,6 $\pm$ 11,12	61,03 $\pm$ 15,44	0,01*

* Parmi les 220 enfants, 60 % des enfants qui avaient un score d'Apgar inférieur à 7 à une minute ont été hospitalisés, contre 10 % de ceux qui avaient un score d'Apgar normal (figure 27).

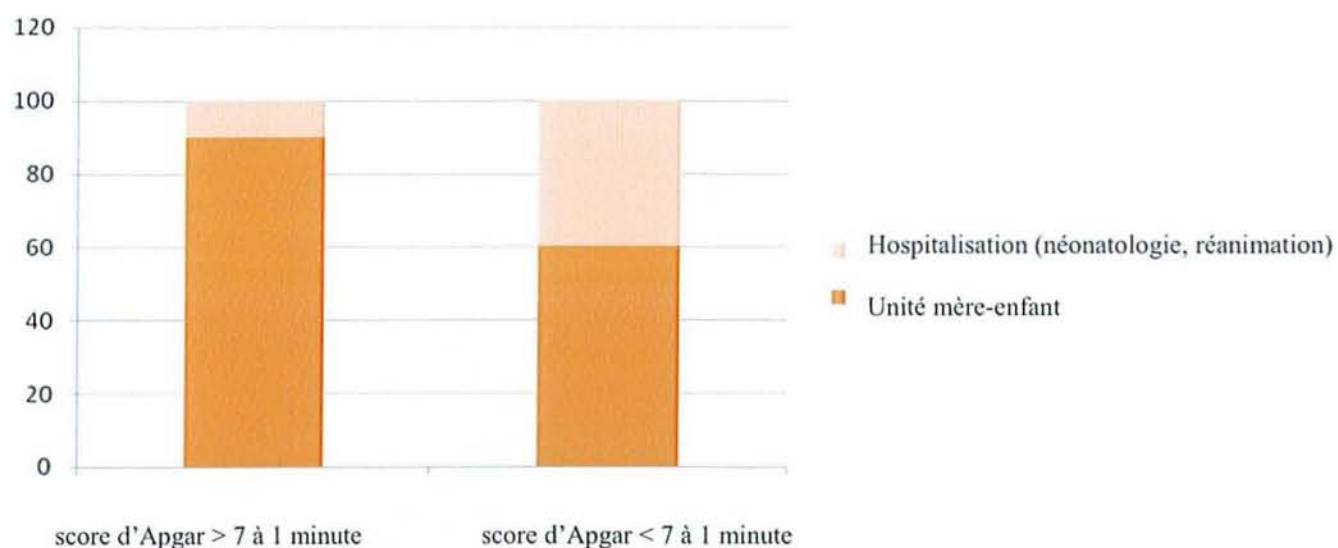


Figure 27. Parcours hospitalier et score d'Apgar à une minute.

* Sur les 220 fœtus étudiés, 16 avaient un pH au scalp < 7,21.

Parmi ces 16 fœtus, 37,5 % ont fait un séjour en hospitalisation (néonatalogie ± réanimation) (figure 28).

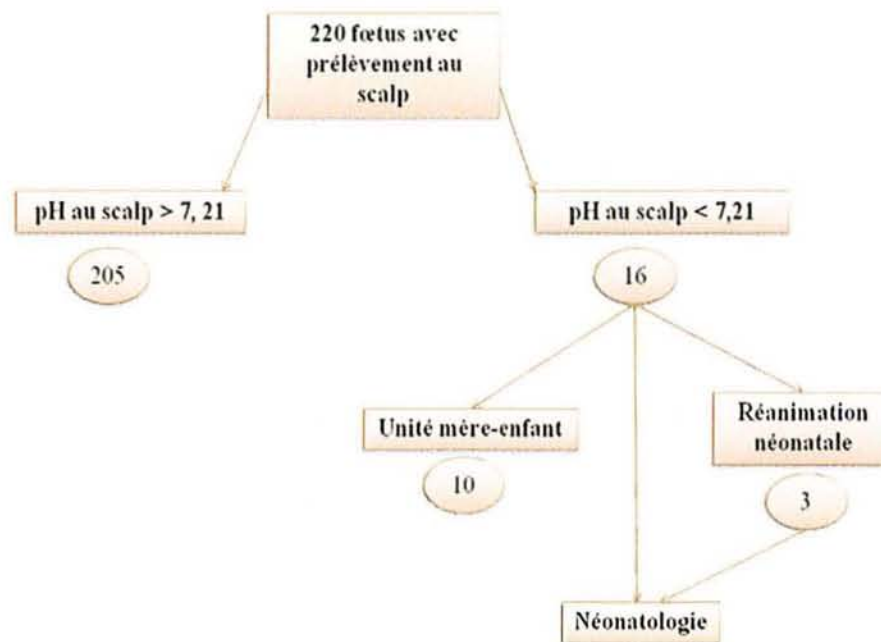


Figure 28. Parcours hospitalier et pH au scalp < 7,21.

5-2. Etude des dossiers à pH au scalp < 7,21

Dans notre étude, 16 fœtus ont eu un pH au scalp < 7,21. Nous avons analysé les dossiers de ces cas (figure 29) (tableau XXVI).

Les dossiers ont été classés en acidose respiratoire, métabolique ou mixte en fonction de l'interprétation de l'ensemble de la gazométrie fœtale (pH, lactates, EB, pO₂, pCO₂, bicarbonates). Les cas d'acidoses mixtes présentent les pH les plus bas. Les cas d'acidoses métaboliques présentent les valeurs d'EB les plus perturbées. En cas d'acidose respiratoire, le pH au scalp descend rarement en dessous du seuil de 7,20. Dans les dossiers étudiés, la baisse du pH en dessous du seuil de 7,21, s'accompagne toujours, soit d'une participation respiratoire (PO₂, PCO₂ perturbées) (cas N°1 à cas N° 7), soit d'une participation métabolique (Lactates et EB perturbés) (cas N° 8 à cas N° 16).

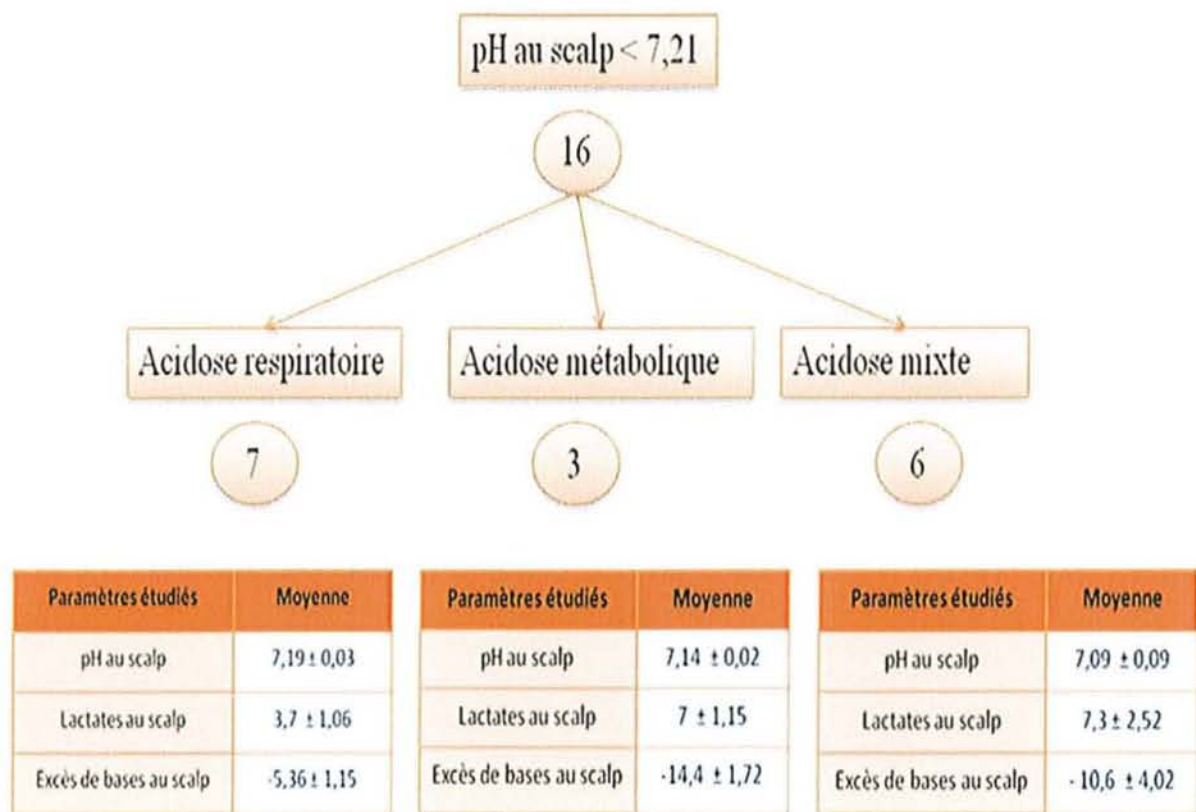


Figure 29. Analyse des 16 cas de pH au scalp < 7,21.

Tableau XXVI. Données cliniques de 16 enfants ayant présenté un pH au scalp < 7,21.

	pH scalp	Lactates Scalp	EB scalp	pO2	pCO2	pH cordon Délai scalp-cordon	Score Apgar	Cause supposée de la SFA	Interprétation biologique	Evolution
Cas 1	7,20	2,1	-3,8	8	69	7,27 Délai 3h17	1 min : 8 5 min : 9	Cordon (circulaire serré)	Acidose respiratoire	Bonne
Cas 2	7,20	4,6	-7,1	9	56	7,25 Délai 27 min	1 min : 9 5 min : 9	Cordon (circulaire serré)	Acidose respiratoire	Bonne
Cas 3	7,20	4,2	-6	5	61	7,19 Délai 23 min	1 min : 5 5 min : 9	Cordon (circulaire serré) RPM>24h	Acidose respiratoire	Bonne
Cas 4	7,12	4,6	-5,8	15	84	7,28 Délai 21 min	1 min : 9 5 min : 10	Cordon (circulaire serré)	Acidose respiratoire	Bonne
Cas 5	7,20	2,4	-4	9	69	7,18 Délai 27 min	1 min : 6 5 min : 8	Incompatibilité Rhésus ?	Acidose respiratoire	Bonne
Cas 6	7,20	4,5	-5,3	9	62	7,11 pO2 < 5 pCO2 63 Délai 18 min	1 min : 1 3 min : 5 5 min : 9	Efforts expulsifs inefficaces, LA méconial (aspiration gastrique : Très nombreux GB)	Acidose respiratoire	Bonne
Cas 7	7,19	3,6	-5,5	8	64	6,93 pO2<5 pCO2 99 EB -14 Lactates 8,8 Délai 18 min	1 min : 1 3 min : 3 5 min : 5	<u>Cordon</u> : circulaire serré, nœuds irrégulier <u>Placenta</u> : congestion, thromboses	Acidose respiratoire <i>in utero</i> puis mixte à naissance SFA sur SFC ?	Hypotonie stade I Bonne par la suite

RPM : rupture prématurée des membranes

LA : liquide amniotique

Cas 8	7,14	6,6	-16,4	26	34	7,27 Délai 9 min	1 min : 9 5 min : 10	Infection materno-foetale	Acidose métabolique	Bonne
Cas 9	7,13	8,3	-13,9	20	45	7,23 Délai 1h20	1 min : 3 5 min : 9	Disproportion foetopelvienne <u>LA</u> : méconial <u>Cordon</u> : pseudo noué <u>Placenta</u> : thromboses	Acidose métabolique	Bonne
Cas 10	7,16	6,1	-13,1	17	43	7,29 Délai 29 min	1 min : 8 3 min : 9 5 min : 10	<u>LA</u> : légèrement teinté <u>Cordon</u> : varices <u>Placenta</u> : congestion thromboses	Acidose métabolique	Bonne
Cas 11	7,17	6,3	-5,3	10	66	7,31 Délai non précisé	1 min : 1 5 min : 7	cordon (circulaire serré), grêle, artère unique + chorioamniotite	Acidose mixte	Bonne
Cas 12	7,11	7	-12,9	10	55	7,04 pCO2 61 pO2<5 EB -15,3 Lactates 9 Délai 25 min	apgar 1 min : 2 apgar 5 min : 6 apgar 10 min : 7	Cordon (circulaire serré) SFA sur extraction forceps	Acidose mixte	Troubles neuro J1, hématome sous dural Suivi RAPHAEL
Cas 13	7,16	4,9	/	9	/	7,29 Délai 35 min	1 min : 6 5 min : 9	Incompatibilité ABO	Acidose mixte	Ictère Bonne
Cas 14	6,94	10,9	-15,4	14	94	6,95 pCO2 90 pO2 8 EB -15,10 Lactates 12,5 Délai 21 min	Pas dossier	SFA inexpliquée RCIU inexpliqué	Acidose mixte SFA sur SFC	EEG anormal Bonne par la suite
Cas 15	7,02	9,8	-11,5	13	81	7,19 Délai 44 min	1 min : 2 5 min : 7	Efforts expulsifs inefficaces Cordon (circulaire serré)	Acidose mixte	Bonne
Cas 16	7,16	4,9	-7,9	14	62	7,09 pCO2 71 pO2 < 5 EB -10 Lactates 6,3 Délai 40 min	1 min : 8 5 min : 8	Diabète type II	Acidose mixte SFA sur SFC ?	Bonne

SFC : souffrance fœtale chronique

RAPHAEL : réseau d'accompagnement des familles en lorraine

6. EVALUATION DU GEM 4000

6-1. Utilisation quotidienne

➤ Prise d'essai

La prise d'essai a été de 150 µL pour une gazométrie au cordon prélevée sur seringue héparinée. La prise d'essai théorique de 50 µL pour une gazométrie au scalp prélevée sur capillaire a été réduite à 40 µL.

➤ Taux d'échecs

Initialement à 40 %, le taux d'échecs a été réduit à 20 % grâce à l'amélioration de la technique. En cas d'échecs, l'analyseur affichait un code d'erreur en rapport avec un dysfonctionnement. Les codes d'erreurs les plus fréquents étaient les codes « 203 » et « 222 » en rapport avec la présence de bulles d'air dans l'échantillon, ainsi que le code « 204 » lorsque l'échantillon n'a pas été détecté (tableau XXVII). Dans ces cas, l'analyseur indique à l'opérateur de répéter le test.

Tableau XXVII. Codes erreurs associés à des dysfonctionnements

Code	Cause de l'erreur	Message opérateur
201	Solution PC non détecté	Solution PC non détecté. Préparation pour le changement de cartouche. Veuillez patienter
203	Air détectée avant l'échantillon	Echantillon non détecté. Répéter le test.
204	Echantillon non détecté	Echantillon non détecté. Répéter le test.
220	La sonde de prélèvement ne s'est pas correctement remise dans son logement	Erreur de la sonde de prélèvement. Préparation pour le changement de cartouche. Veuillez patienter
222	Air détecté dans l'échantillon pendant l'aspiration	Echantillon insuffisant. Répéter le test.
223	Air détecté dans l'échantillon après l'aspiration	Air détecté à l'intérieur de l'échantillon. Répéter le test.

➤ Contrôle qualité et Rapports IQM

- Les quatre solutions externes (CVP), ont été passées comme « contrôles qualité » lors du changement de cartouche pour valider la cartouche.
- Les quatre solutions internes (A, B, C, D), tonométrées, de contrôle du processus analytique ont été analysées à intervalles de temps réguliers pour calibrer (A, B, C) puis vérifier l'absence de dérive.
- La solution A est analysée toutes les 4 heures pour tous les paramètres et permet de faire une calibration en deux points. La solution B est mesurée toutes les 30 minutes ou après chaque patient. Elle vérifie l'absence de dérive grâce à un passage toutes les 30 secondes si nécessaire. Elle baigne les électrodes. La solution C est analysée toutes les 24 heures et mesure principalement le niveau bas d'oxygène et vérifie les membranes des électrodes lactate et glucose. La pO₂ est utilisée pour vérifier la stabilité du système : car l'oxygène est le paramètre le plus sensible à la contamination des solutions. La solution D est passée toutes les 12 heures et n'est pas utilisée pour les calibrations ce qui en fait un contrôle qualité.
- Une calibration en un point est réalisée après chaque échantillon, ou toutes les 30 minutes si aucun échantillon n'est passé voire toutes les 3 minutes pendant 18 minutes si une interférence est détectée sur un échantillon. Une calibration automatique en un point sera également effectuée si une électrode dérive. Une calibration en deux points est effectuée toutes les 4 heures, 30 minutes après la calibration basse en oxygène et toutes les heures pendant 4 heures si un microcaillot est détecté. Enfin, une calibration basse en oxygène est réalisée toutes les 24 heures.

Précision

Sur sang total, le pH a un CV < 0,15 % (tous niveaux confondus) alors que les lactates ont un CV de 2,6 % pour une valeur de 4,23 mmol/L et un CV de 7 % pour une valeur de 2,38 mmol/L, d'après les données du fournisseur.

Exactitude : Rapport Delta Chart

L'inexactitude, d'après le fournisseur, est de 0,02 pour le pH (tous niveaux confondus) et de - 0,1 à + 0,2 pour les lactates selon le niveau. L'IQM est paramétré avec une erreur totale acceptable de 0,04 pour le pH et de 0,4 mmol/L pour les lactates.

Le rapport « Delta chart » établi par la fonction IQM de l'analyseur, a permis une vérification de la qualité des résultats. Ces mesures représentent la différence « Delta » entre les résultats

mesurés et la valeur cible attendue. Les Delta charts montrent les valeurs journalières des delta minimum, maximum et moyen par rapport à la valeur cible des solutions internes (figure 30 et 31).

Exemple 1 : La solution B est mesurée au minimum toutes les 30 minutes ou après chaque patient. De plus, la solution B baigne dans les électrodes en continu et peut faire l'objet d'une mesure toutes les 30 secondes pour détecter les dérives. Un delta minimum ou maximum apparaît, représenté par une barre verticale, avec une moyenne de delta qui correspond toujours à la valeur cible. On constate que certaines mesures du CQ sont en dehors de l'intervalle des valeurs acceptables. En revanche, la moyenne des CQ est stable et le nombre de passage de CQ par jour est très important (figure 30).

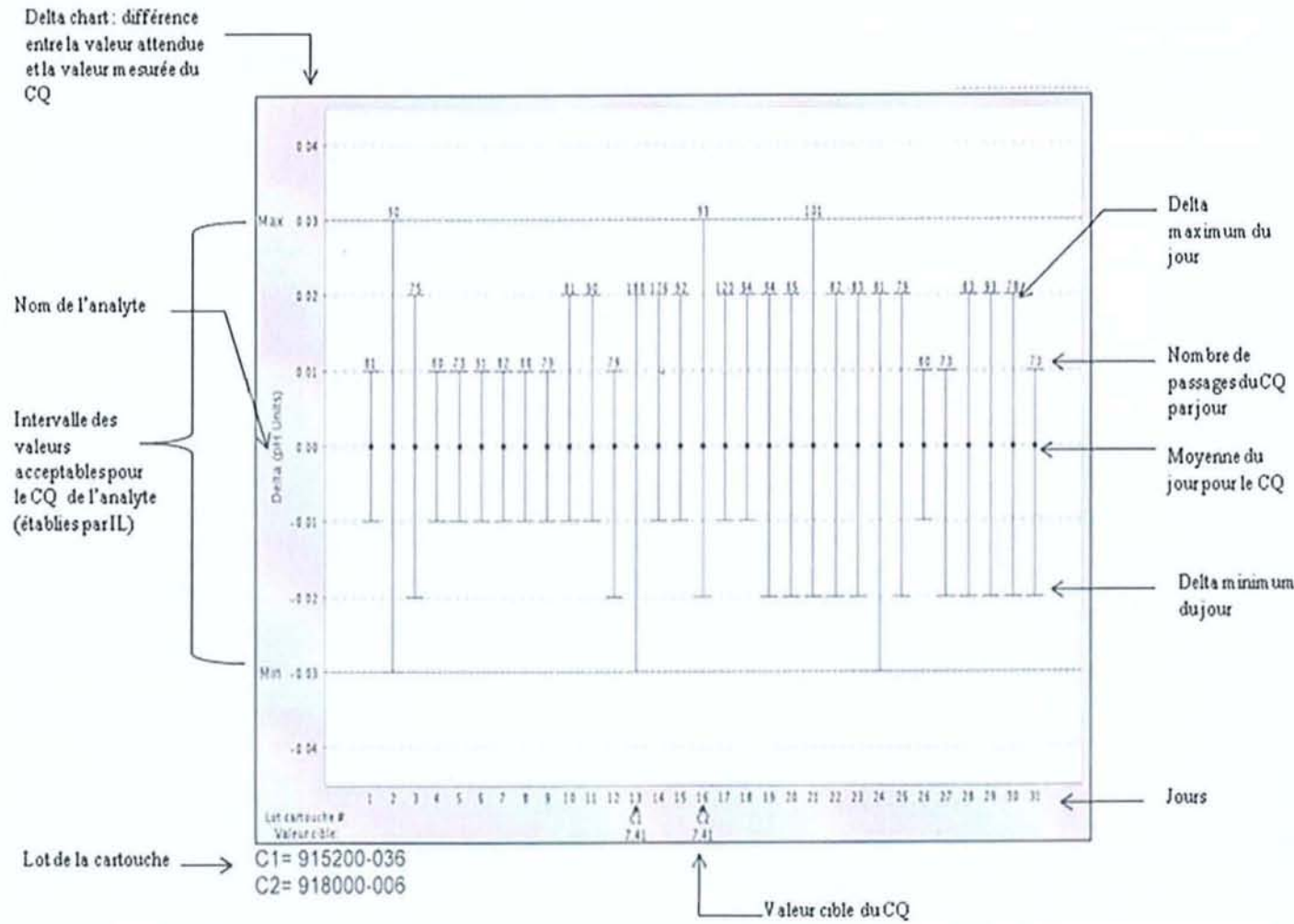


Figure 30. Rapport Delta Chart mensuel pour l'analyte pH. Représentation de l'écart des valeurs mesurées avec celle attendue du CQ embarqué (solution interne B).

Exemple 2 : La solution D a été mesurée au minimum toutes les 12 heures. Le premier jour du mois, la moyenne des deux valeurs obtenues (identiques) pour la solution D a été inférieure à la valeur cible de 0,3 mmol/L. La différence entre la valeur mesurée et la valeur cible est au maximum de 0,4 mmol/L, soit 10 % du seuil de 4,8 mmol/L des lactates au scap que nous utilisons. A la moitié du mois, une légère dérive a été constatée, qui reste largement dans l'intervalle des valeurs acceptables. Mais le 16 du mois, la cartouche a été changée. Ce n'est donc pas une dérive mais tout simplement un lot de cartouche différent. On constate également qu'une cartouche mise en place le 13 a été retirée le 16 du mois. Pour connaître les raisons du retrait de cartouche, il faut consulter le rapport d'actions correctives (paragraphe ci-dessous) (figure 31).

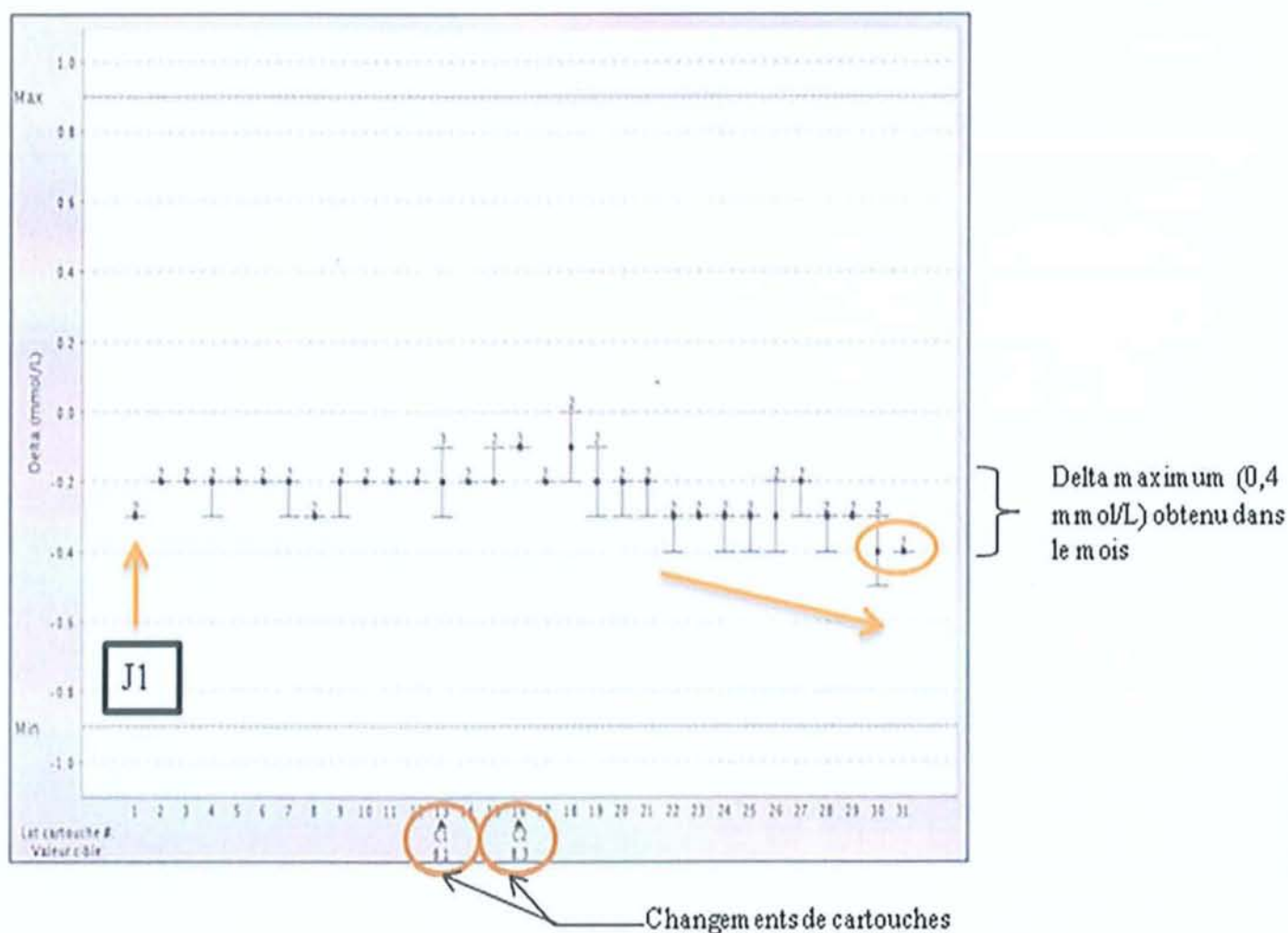


Figure 31. Rapport Delta Chart mensuel pour l'analyte Lactate. Représentation de l'écart des valeurs mesurées avec celle attendue du CQ embarqué (solution interne D).

Rapport d'actions correctives

La fonction IQM a également établi des rapports des événements accompagnés de leurs actions correctives (figure 32). Les caillots et traces de fibrine ont été détectés car leur adhérence aux électrodes a entraîné un changement de leurs caractéristiques (et donc des dérives et rejets de CQ). Une solution de rinçage a entraîné la plupart du temps la lyse du caillot. L'électrode concernée a temporairement été désactivée. Parfois le changement de cartouche a été nécessaire. Le temps d'indisponibilité de l'analyseur est de 4,7 min en moyenne lors d'une action corrective (daures 2006).

Date	Lot Cart #	Événement	Action corrective	Résultat	
08/07/2009 14:07:19	907200-046	Cartouche retirée. Tests restants = 195. Nombre de passage de la solution B = 66			Détecté d'un microcaillot. Echec de sa destruction. Changement de cartouche nécessaire.
08/07/2009 14:00:24	907200-046	Erreur de la Solution A pour pCO_2	Tension de l'électrode ajustée	Corrigé	
08/07/2009 11:45:06	907200-046	Micro-caillot détecté après l'échantillon # . Opérateur :	Opérateur informé. Rinçage et contrôle des électrodes.	pCO_2 , pH temporairement désactivé	
03/07/2009 08:42:51	907200-046	Interférence détectée après l'échantillon # . Opérateur :	Opérateur informé. Tension de l'électrode ajustée.	Fonctionnel	Détecté d'un microcaillot. Destruction de celui-ci.
03/07/2009 05:47:48	907200-046	Erreur de la Solution A pour pCO_2	Tension de l'électrode ajustée	Corrigé	
01/07/2009 09:51:06	907200-046	Erreur IQM résolue pour Hct	Tension de l'électrode ajustée	Hct réactivé ;	
01/07/2009 09:49:04	907200-046	Micro-caillot détecté après l'échantillon # . Opérateur :	Opérateur informé. Rinçage et contrôle des électrodes.	Hct temp désactivé	

Figure 32. Rapport d'actions correctives du GEM 4000.

Sauvegarde des données IQM

A chaque changement de cartouche (tous les 28j en moyenne), les données IQM ont été sauvegardées sur un CD room.

➤ Procédures

Pendant l'étude, plusieurs procédures concernant le GEM 4000 ont été réalisées. La procédure de l'identification de l'échantillon (Identification patient) est essentielle car elle permet la traçabilité des résultats. Les autres procédures du GEM 4000 qui ont été écrites sont : Copie des données IQM (sur CD), la procédure d'accord de l'utilisation de l'analyseur en salle de

naissance, la procédure de réalisation de l'analyse d'un gaz du sang, la procédure de changement de cartouche, la procédure de passage des contrôles CVP (annexe 7).

6-. En biologie délocalisée

Le GEM 4000 a été installée en salle de naissance en décembre 2006 (figure 33). Les analyses ont été passées et identifiées sur le l'analyseur par le personnel obstétrical. Le GEM 4000, connecté au SIL via le réseau intranet, a permis une autocréation de dossiers dans le SIL à partir du numéro d'hospitalisation de la mère du fœtus, puis une validation biologique des analyses *a posteriori* par le laboratoire ainsi qu'une traçabilité.

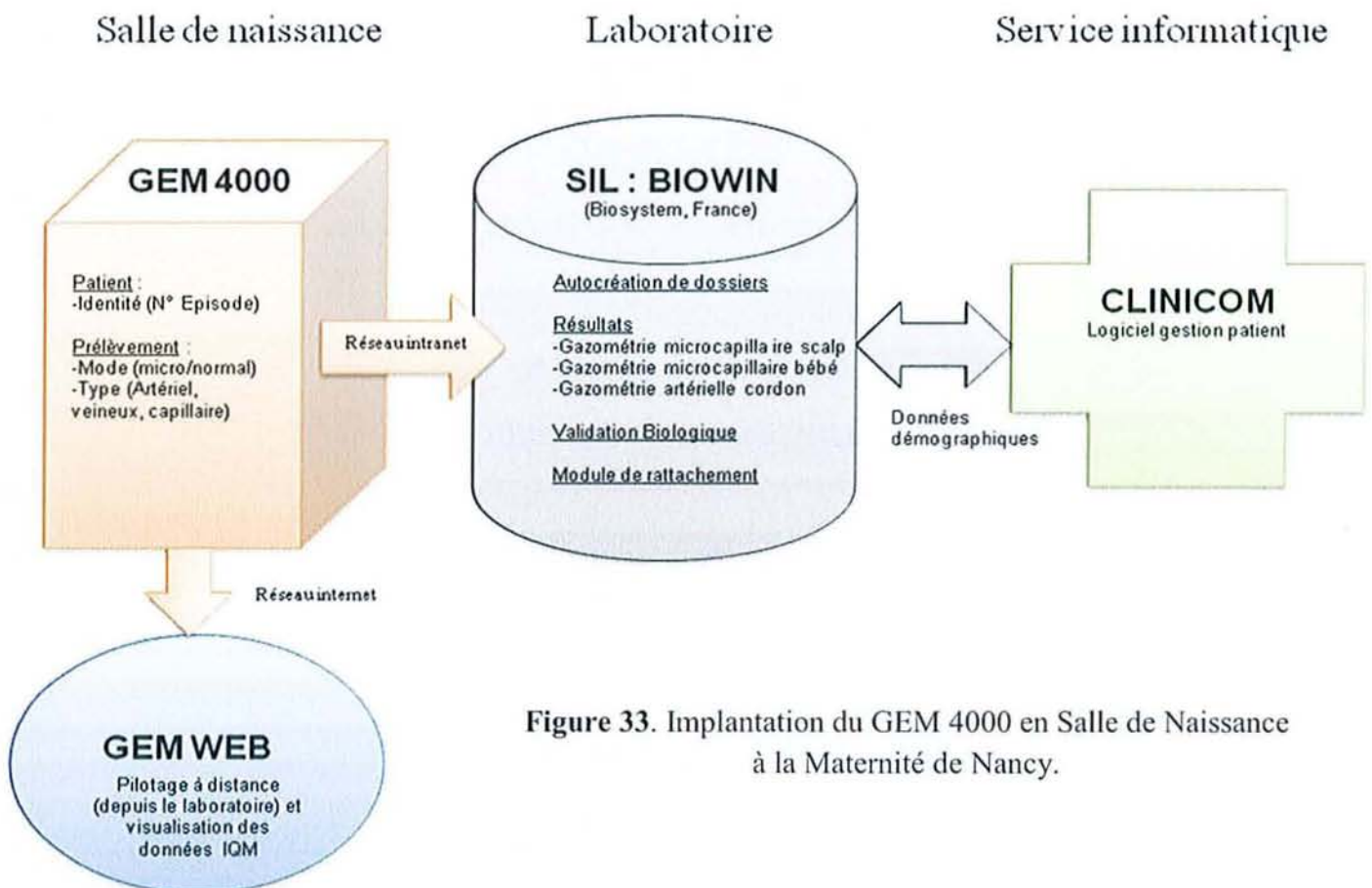


Figure 33. Implantation du GEM 4000 en Salle de Naissance à la Maternité de Nancy.

(SIL : Système Informatique du Laboratoire)

Une recherche de résultats archivés dans le SIL a été possible pour cette étude rétrospective. Le module de rattachement a été développé pour pallier aux erreurs d'identification patient. Dans ce module, les dossiers non identifiés ont pu l'être car le GEM a été paramétré pour préciser le type de l'échantillon et l'heure de l'échantillon, ce qui a évité toute confusion avec

un autre patient. Le GEM Web a permis un pilotage à distance et la visualisation des rapports IQM en direct, via le réseau internet.

III. DISCUSSION

L'évolution défavorable d'une souffrance fœtale aiguë, menant à l'asphyxie fœtale est encore à l'origine de 10 à 15 % des infirmités motrices cérébrales voire parfois de décès néonataux (18, 85). Il est donc important de pouvoir dépister la SFA précocement pour diminuer ce taux d'IMC. A l'inverse, plus de 60 % des césariennes effectuées pour suspicion de SFA évaluée sur un rythme cardiaque fœtal anormal auraient pu être évitées (95). La difficulté réside en fait à définir la SFA afin de pouvoir l'évaluer. Actuellement, il n'existe aucun d'examen « Gold Standard » pour le diagnostic de SFA. Le dépistage repose sur un faisceau d'arguments dont l'électrotocardiographie externe, qui manque de spécificité. Seulement 11 % des fœtus ayant un RCF anormal, présentent une acidose *in utero* (23). La gazométrie au scalp vient utilement compléter les tracés pathologiques du RCF dans l'évaluation de la SFA. Dans ce contexte, le pH au scalp est depuis plusieurs années considéré comme le paramètre biologique de référence. L'objectif de notre travail a été double. Dans une approche biologique, nous avons évalué la praticabilité d'un analyseur de gaz du sang en biologie délocalisée pour la mesure simultanée du pH, des lactates et des excès de bases au scalp. Dans une approche clinique, nous avons évalué à partir d'une étude rétrospective, la pertinence clinique des résultats biologiques ainsi mesurés pour l'évaluation de la SFA.

Le terme de SFA est parfois employé pour parler d'une « hypoxie in utero », d'autres fois il signifie « asphyxie in utero » prédisant des lésions neurologiques à la naissance. En réalité, il est difficile de faire précisément la différence entre tous les stades de manque d'oxygène. Le mot « SFA hypoxique » serait plus approprié pour regrouper tous ces stades. Suivant les auteurs, la souffrance fœtale s'évalue en fonction d'un ou des critères suivants à la naissance : le pH au cordon (3, 11, 13, 23, 32, 43, 55, 114, 121), l'excès de bases au cordon, (13, 32, 54, 114, 121), le score d'Apgar (3, 11, 23, 55, 114, 121), l'encéphalopathie anoxo-ischémique, le décès néonatal (54), le transfert en réanimation néonatale (23, 114), la détresse respiratoire secondaire (11, 114), et la présence de méconium (3). De même, en fonction des publications, le « seuil » retenu pour les paramètres de la gazométrie au scalp correspond à : une suspicion de SFA (12, 25, 37), un début de détresse fœtale, un risque d'hypoxie (4, 37), un risque d'asphyxie (54), une acidose (72), une valeur pathologique (87), la prédiction d'un mauvais état néonatal (1, 3), ou à un seuil d'intervention (1, 72). Il en est de même pour les seuils de gazométrie au cordon ; ils déterminent en fonction des équipes : une acidose néonatale (25), ou une acidose pendant le travail (43), un mauvais état néonatal (114) ou alors

l'évaluation d'une pratique obstétricale (37). Actuellement seule l'asphyxie fœtale est définie selon un consensus par un pH au cordon inférieur à 7, un EB inférieur à -12 mmol/L, un score d'Apgar inférieur à 3 à 5 minutes (65).

Notre étude s'inscrit dans une démarche préventive, utilisée en pratique, pour le dépistage précoce d'une SFA, d'un début d'hypoxie, afin d'entraîner une action appropriée avant que la situation ne perdure et ne devienne grave. Le but n'est pas de détecter l'asphyxie fœtale mais de la prévenir en identifiant précocement une SFA (19, 47, 72, 104). Dans différents travaux, les paramètres au scalp sont étudiés en fonction d'issues néonatales variables, révélatrices d'une SFA plus ou moins sévère *in utero*. Dans notre travail aucune encéphalopathie, ni aucun décès à la naissance parmi les 220 fœtus étudiés n'ont été observés. L'encéphalopathie n'aurait donc pas pu être utilisée comme marqueur de SFA (121). Nous avons donc utilisé des « soft markers » pour évaluer la SFA, comme le soulignent également Allen et al. dans son étude (3). Pour utiliser des marqueurs sévères de SFA (mortalité, EIA...), il faudrait des cohortes beaucoup plus importantes. De plus, il est évident qu'un RCF anormal accompagné d'une gazométrie fœtale anormale va conduire à une action visant à stopper la poursuite de l'hypoxie, donc très peu de cas ont pu être rescencés jusqu'à présent (11).

Contexte de l'étude

Les fœtus de moins de 34 SA, ont été exclus pour que notre étude bien que rétrospective, soit comparable aux autres études (78, 105). L'interprétation du pH ne varie pas en fonction de l'âge gestationnel. Le pH à la naissance des enfants prématurés est similaire à celui des enfants à terme. Mais aucune étude ne permet cependant d'affirmer l'innocuité ou le danger d'un tel prélèvement aux âges gestationnels plus faibles (47). D'autre part, nous avons exclu une grossesse gémellaire car la mesure n'était faite que chez un des deux fœtus et nous n'avons pas de données dans ce cas précis de jumeauté. Sur la période d'étude (mai 2007 à décembre 2008), nous avons effectué une gazométrie au scalp sur 4,65 % des naissances. Actuellement, le taux est proche de 5,84 %. Ce taux est en accord avec l'équipe d'Annappa et al. avec 4,8 % (sur 1450 naissances). En revanche d'autres équipes présentent un taux plus élevé, par exemple 10 % pour Carbonne sur une cohorte de 2700 naissances, 9,6% pour Bénéteau et al. (sur 3694 naissances) (8), 11 % pour Allen sur une étude Irlandaise de 20313 naissances (41) et 20 % pour Saling (95). Malgré quelques données manquantes, notre étude,

avec 220 fœtus étudiés est ainsi, l'étude française possédant la plus grande cohorte de gazométrie au scalp.

La mesure du pH au scalp remonte à 1962, proposée par le professeur Erich Saling. Dans les années 60 à 80, différentes études concernant le pH au scalp sont parues (17, 20, 46, 56, 94, 92, 99, 101). Récemment, de nombreux articles sont sortis sur les lactates mesurés au scalp sur les lactatomètres (3, 12, 16, 54, 87, 89, 120). Des études de comparaison « lactates versus pH » ont ainsi été effectuées, les lactates étant mesurés sur un lactatomètre et le pH sur un analyseur classique à gaz du sang. Les études de Wiberg et al. (121) affirment que les lactates mesurés sur Lactate Pro® sont équivalents au pH pour détecter une hypoxie pendant le travail, alors que la prise d'essai est plus faible (54, 77, 121). L'excès de bases au scalp n'a jamais fait l'objet d'études à grande échelle.

Le regain d'intérêt récent pour la gazométrie fœtale s'explique pour plusieurs raisons : la récente mise sur le marché à grande échelle des lactatomètres (après des résultats d'études multicentriques) (121), la déception d'autres méthodes de seconde ligne, comme l'oxymétrie qui, au final, ne diminue pas le nombre de césariennes (car augmentation des césariennes pour dystocie des épaules) (35, 111) et enfin l'augmentation du nombre de procès en obstétrique avec la nécessité d'avoir des arguments médico-légaux tels que la gazométrie fœtale et néonatale pour la défense des médecins.

Statistiques descriptives des paramètres étudiés selon la définition de la SFA

Dans ce travail rétrospectif, nous avons évalué trois paramètres (pH, lactates, EB au scalp) au travers de trois définitions différentes de la SFA : une définition d'ordre médico-administrative (PMSI 068+) qui permet de déterminer de façon générale le type de pathologie et de prise en charge du patient, une définition biologique à partir de la valeur du pH au cordon ($< 7,15$) habituellement retenue pour apprécier une SFA, une autre définition biologique, à la fois consensuelle et prédictive du devenir neurologique (61), consistant en la valeur d'EB au cordon (< -12 mmol/L) et une définition clinique représentée par le score d'Apgar < 7 à une minute. D'autres auteurs se sont basés sur les mêmes seuils au cordon (11, 21, 24, 114) et le même score d'Apgar (16, 54, 87). Par contre, les études de Kruger et al., Wiberg et al., Nordstrom et al. utilisent les seuils de l'asphyxie dans leurs calculs et dans leur détermination de seuil des paramètres au scalp (54, 77, 121).

Dans notre étude, nous constatons que les lactates sont significativement plus élevés quelle que soit la définition de SFA proposée. Le pH au scalp est significativement abaissé lorsque la SFA est définie par le code PMSI. Cependant le pH est un des critères qui a pu être intégré dans le codage PMSI. Le pH n'est pas significatif quand la SFA est définie par le pH au cordon ou l'excès de bases de cordon.

pH au scalp

Dans notre étude, le pH au scalp a une excellente spécificité, légèrement supérieure à celle des lactates ou à celle de l'excès de bases au scalp, quelle que soit la définition de la SFA.

Pour prédire une SFA à partir d'un pH au cordon à 7,15, le pH au scalp (au seuil de 7,20) a une spécificité de 95,8% et une VPN de 83,6 % malgré une sensibilité faible. Nous obtenons de meilleurs chiffres que ceux retrouvés dans la littérature, pour prédire le pH au cordon avec un pH au scalp. En effet, pour prédire un pH cordon à 7,15 (avec un pH au scalp à 7,20), dans son étude multicentrique, Carbonne et al. trouvent une spécificité de 91%, une VPN de 82% (21). Pour prédire un pH cordon à 7 (avec un pH au scalp à 7,21), Kruger et al. trouvent une spécificité de 74 % (53, 54). Pour prédire une issue défavorable, Boog en 2002 trouve une spécificité de 91 %, une VPN de 88 % (22). Pour prédire un pH cordon à 7,25 (avec un pH scalp à 7,25), Laplanche et al a une spécificité de 98.5% et une VPN correspondante est de 70,3 % (57). Pour prédire un pH cordon à 7,10, Ramanah évoque une spécificité à 92%, une VPN à 92 % (25, 87).

Cette excellente spécificité du pH fœtal signifie un taux très faible de faux positifs : de 0 à 4 % suivant la définition de SFA. Ces faux positifs correspondent souvent à une acidose respiratoire fœtale (acidose qui disparaît à la naissance). Cette valeur de faux positifs est meilleure que celle observée de 6 % dans l'étude de Carbonne et al. (pour pH au cordon à 7,25) ou celle de 6,4% de l'étude de Brandt et al. (pour pH au cordon à 7,20) (17, 23). Pour prédire un score d'Apgar < 7 à une minute, le pH au scalp a une spécificité de 94,5 %, d'après notre étude. Kruger et al. retrouvent une spécificité de 75 % pour prédire le score d'Apgar à une minute. (54) Borruto et al. n'ont pas obtenu de corrélation entre le pH au scalp et le score d'Apgar, expliquée par le nombre trop faible de cas avec un score d'Apgar bas (deux cas de score d'Apgar anormaux) (16).

Les principales causes des faux-positifs du pH au scalp correspondent aux situations d'acidose (pH fœtal < 7,20) sans SFA. Les acidoses respiratoires des compressions du

cordon : le diagnostic ne peut être fait que par la mesure simultanée des lactates, de l'excès de base, de la pCO₂ et de la pO₂ (11). Les acidoses métaboliques de la mère transmises au fœtus pendant le travail : le diagnostic repose sur la différence de pH entre la mère et le fœtus. L'acidose est d'origine maternelle lorsque le « delta pH » est inférieur à 0,15, sinon l'origine est fœtale. La mesure du delta pH améliore la sensibilité du diagnostic de la souffrance fœtale d'environ 30 %, mais sans augmenter la spécificité, d'après certains auteurs (11).

La sensibilité du pH fœtal est en revanche insuffisante : sensibilité de 18 % pour prédire un pH au cordon < 7,15, liée à un fort taux de faux négatifs (15-20 % jusqu'à 60 % si la SFA est définie par le code PMSI O68). Ces situations vont se rencontrer quand la gazométrie au scalp est effectuée à trop grande distance de l'accouchement : en fait, si le premier chiffre est proche de la zone pathologique ou si de nouvelles anomalies du RCF surviennent, il ne faut pas hésiter à répéter le prélèvement après 20 ou 30 minutes (72). Un pH scalp $\geq$ à 7,20 n'exclut pas totalement la possibilité d'un pH artériel au cordon < 7 à la naissance. En effet, il faut tenir compte du délai entre le pH scalp et la naissance, délai au cours duquel une baisse importante de pH peut survenir. Chaque événement est un instantané de la situation et les répétitions des prélèvements doivent être d'autant plus rapprochés que les anomalies du RCF sont importantes (10-20 min jusqu'à 60 min) selon un accord professionnel (25), une surveillance continue de la gazométrie étant impossible (66). La répétition du prélèvement au scalp n'est pas toujours aisée car c'est un geste invasif pour le fœtus (risque d'hémorragie et d'infection). Un pH légèrement bas peut traduire une hypoxie relative, plus ou moins dangereuse selon qu'elle est ou non associée à une pathologie chronique. Ce fait explique qu'il n'y ait pas de véritable proportionnalité entre la baisse du pH et le risque de séquelles (11). Un fœtus de poids normal peut maintenir son pH à des valeurs normales pendant plus de 90 minutes, même en présence de ralentissements tardifs du RCF traduisant une hypoxie manifeste, d'où une fausse sécurité de l'accoucheur, à moins de répéter systématiquement les prélèvements (11). L'hypoxie ne doit pas être considérée dans tous les cas en constante évolution. Il peut s'agir d'un événement isolé qui va être compensé par un mécanisme de défense fœtale, à moins que les capacités fœtales ne soient dépassées (16).

Une autre cause de faux négatif peut être une mauvaise adaptation à la vie extra-utérine dont l'origine n'est pas anoxique liée à un accouchement traumatique, une malformation, une prématurité, une anesthésie. Il est également fréquent d'observer une chute tardive du pH en

cas d'infection fœtale (11). Enfin, l'acidose fœtale peut être masquée par l'alcalose maternelle (hyperventilation maternelle) : seule la mesure de l'excès de bases au scalp permettrait de diagnostiquer la détresse fœtale (11).

Lactates fœtaux

Au seuil de 4,8 mmol/L, les lactates au scalp ont une spécificité de 91,7 % et une VPN de 83,5 % pour prédire une SFA définie par un pH au cordon < 7,15. Ces chiffres sont comparables à ceux de la littérature. Pour prédire un pH au cordon à 7 au même seuil de lactates, Kruger et al. en 1999, trouvent une spécificité de 77 %, et une sensibilité de 58% (77). Pour prédire un pH cordon à 7,10, l'étude française de Ramanah et al., trouvent une spécificité de 95 %, une VPN 89 % sur le Rapid Lab 860 ® (Bayer) (25, 87). D'après Wiberg et al, les lactates mesurés sur le Lactate Pro® ont une valeur prédictive semblable au pH au scalp, tout en étant plus faciles à prélever (121).

Les études ayant déterminé le seuil de 4,8 mmol/L au scalp ont utilisé le Lactate Pro® (54, 77, 121). Notre étude est une des premières, avec l'étude de Ramanah et al., à redéfinir un seuil d'acidose pour les lactates au scalp sur un véritable analyseur à gaz du sang (27). On constate que la spécificité des lactates pour prédire le pH au cordon est supérieure sur l'analyseur classique à gaz du sang. Notre étude montre une spécificité des lactates de 90,2 % pour prédire un score d'Apgar à 7 à une minute. Kruger et al. retrouvent une spécificité de 78 % pour prédire le score d'Apgar à une minute (54). Dans l'étude de Borruto et al. les lactates au scalp ne sont pas corrélés à l'Apgar (à 1 et 5 minutes). Borruto et al. expliquent cela par un nombre non significatif de nouveau-nés avec des complications immédiates (15). Dans notre étude, les lactates au scalp présentent un taux de faux positifs de 1 à 6,8 % suivant la définition de la SFA choisie. Les lactates présentent donc davantage de faux positifs que le pH au scalp. Cette différence peut s'expliquer par l'instabilité du taux des lactates qui peuvent être produits très rapidement par la glycolyse des hématies. Le taux de faux négatifs est également élevé (de 14 à 19 % jusqu'à 59 % si la SFA est définie par le code PMSI).

Excès de bases fœtaux

La spécificité de l'EB est environ de 88 % quelle que soit la définition de SFA retenue, inférieure à la spécificité des lactates et du pH au scalp. En revanche, l'EB aura une meilleure sensibilité. L'EB présente une spécificité à 89,3 % pour prédire un pH au cordon inférieur à 7,15. L'EB au scalp présente donc un taux plus important de faux positifs : de 3,9 à 11 % suivant la définition de SFA. Cela peut s'expliquer par le fait que les bases excès sont une

valeur calculée et non mesurée, ou encore parce que le seuil de 6 mmol/L au scalp est trop bas. Le taux de faux négatifs est de 2 à 58 % selon la définition de SFA.

Seuil de décision

Quel est le but du seuil ? Il faut un cut-off pour intervenir avant que l'acidose ne soit totalement établie afin que l'action soit préventive (121).

A partir des données colligées dans notre travail nous avons évalué nos seuils d'acidose pour les paramètres étudiés en définissant la SFA par un pH au cordon < 7,15. D'après notre étude, un pH au seuil de 7,20 donne une spécificité de 95,83 %. Ce seuil correspond à celui retrouvé dans la littérature. Un seuil de lactates à 6 mmol/L au scalp apporterait une spécificité de 94,8 %. Dans la littérature, le seuil des lactates au scalp à 4,8 mmol/L est défini sur Lactate Pro® et sert à prédire un pH au cordon à 7. Notre seuil de lactates à 6 mmol/L a été défini sur un analyseur à gaz du sang classique et sert à prédire un pH au cordon à 7,15. La différence des techniques de mesure pourrait expliquer l'écart entre ces deux seuils. Un autre exemple en est la preuve : d'après Allen et al., le seuil des lactates au scalp mesurés sur Accusport Boehringer, UK est 4,1- 4,2 mmol/L, d'après les courbe ROC, pour prédire une issue défavorable (Apgar < 7 à 1 min, pH cordon < 7,20, présence de méconium, unité de réanimation néonatale) (3). Or l'Accusport est un lactatomètre similaire au Lactate Pro®. D'après notre étude, un seuil d'excès de bases à 6,6 mmol/L apporterait une spécificité de 91,4 %. Certains articles évoquent l'utilité des bases excès au scalp mais ne se prononcent pas sur un seuil (72).

A propos de seize cas

A partir de ces seuils nous avons analysé seize dossiers cliniques de fœtus présentant un pH au scalp inférieur à 7,21. Le pH est plus bas dans les acidoses métaboliques et mixtes (Cas N° 7-16). Le pH reste proche de 7,20 dans les acidoses uniquement respiratoires (Cas N° 1 à 6). Les lactates et l'EB évoluent toujours ensemble dans les acidoses métaboliques ou mixtes (Cas N° 7-16).

En étudiant les étiologies de ces acidoses fœtales, nous constatons que les acidoses respiratoires sont dues à un circulaire serré dans la plupart des cas. Parmi les acidoses métaboliques, on retrouve surtout des anomalies du placenta ou du cordon (thromboses placentaires, varices du cordon...) et une infection materno-fœtale. Parmi les acidoses mixtes, les étiologies sont beaucoup plus disparates (chorioamniotite, incompatibilité ABO, diabète

maternel, efforts expulsifs inefficaces, circulaire serré, hypotrophie inexpliquée). Concernant l'évolution des fœtus, on constate que les acidoses uniquement respiratoires se normalisent très rapidement à la naissance lors des premiers mouvements respiratoires du nouveau-né (Cas N° 1 à 6). Trois nouveau-nés ont présenté des troubles neurologiques à la naissance mais aucune séquelle à distance (Cas N° 7, 12, 14). Les trois avaient une acidose mixte sévère à la naissance avec un pH au cordon de 6,93 à 7,04. Deux avaient une acidose mixte sévère également *in utero* (Cas N° 12,14) et un une acidose respiratoire *in utero* (Cas N° 7). Pour le cas N° 7, on peut supposer qu'il s'agissait d'une SFA sur souffrance fœtale chronique car le placenta et le cordon présentaient des anomalies antérieures à la naissance (14). Ce qui explique alors que cette acidose respiratoire ait mal évolué. Selon Loron et al. la lactatémie artérielle précoce (dans la 1ère heure de vie) est bien corrélée au pronostic à court terme. L'association d'un « base deficit » supérieur à 12.5 mmol/L et d'une lactatémie supérieure à 9 mmol/L est prédictive du risque de survenue d'encéphalopathie anoxo-ischémique avec une sensibilité de 68 % et une spécificité de 87% selon Loron et al. (61) En étudiant les dossiers de pH au scalp < 7,21, on observe qu'il n'y a pas réellement de faux positifs avec le pH au scalp. En effet, chaque pH au scalp < 7,21 est accompagné soit d'une participation respiratoire (avec pO2 basse et pCO2 élevée), soit d'une participation métabolique (EB et lactates élevés). A la naissance, le pH au cordon est normal car l'enfant respire. On comprend donc que ces écarts entre le pH au scalp et au cordon sont expliqués par les acidoses respiratoires (Cas N° 1-6).

Biologie délocalisée

L'analyse simultanée des différents paramètres de gazométrie a été possible car les dosages ont été réalisés sur un analyseur à gaz du sang capable de rendre une gazométrie complète en moins d'une minute. Le choix de cet analyseur a également été motivé par son utilité à la fois chez les enfants (gazométrie au scalp fœtal, au cordon ombilical, au talon du nouveau-né) et chez les adultes. De plus, bien que dédié à la biologie délocalisée, le GEM 4000 utilise les principes habituels de potentiométrie et d'ampérométrie des gazomètres classiques.

Grâce à sa cartouche embarquée et sa fonction IQM, cet automate est complètement autonome tout en rendant un résultat de qualité. En effet, la cartouche de 350 tests correspond à une autonomie d'environ 28 jours selon l'activité de notre établissement. Des solutions internes sont analysées régulièrement, après chaque patient et au minimum toutes les trente minutes, afin de calibrer les électrodes. Les solutions externes permettant de valider la

cartouche sont passées à chaque changement de cartouche et correspondent à des contrôles qualité. Le GEM Web a permis un pilotage à distance et la visualisation des rapports IQM en direct, via le réseau internet ce qui est un gage de qualité pour le laboratoire. Le GEM 4000 est donc soumis à un système de contrôle de qualité fiable. La sauvegarde automatique des données dans la mémoire de l'analyseur permet d'avoir une traçabilité des résultats pendant la durée de vie de la cartouche. De plus, l'analyseur est relié au laboratoire par sa connexion au SIL, ce qui permet un suivi permanent ainsi qu'une validation biologique à distance. Les résultats des patients sont ainsi sauvegardés dans le SIL, offrant une traçabilité de longue durée. On notera que les gazométries au scalp sont enregistrées au nom de la mère du fœtus car le fœtus *in utero* n'a pas encore d'identité juridique, bien qu'il ait déjà souvent un prénom! Bien qu'il soit loin du laboratoire, le GEM 4000 offre la fiabilité et la justesse d'un automate à gaz du sang classique, ce qui répond totalement à la norme ISO 22870:2006 des analyses de biologie délocalisée. De plus, comme le GEM 4000 est très accessible, il rend possible la réalisation systématique de la gazométrie au cordon à chaque naissance, qui peut argumenter la défense de l'obstétricien en cas de plainte médico-légale. D'après Boog et al., le coût d'une indemnisation d'un enfant gravement handicapé équivaldrait à 70 000-100 000 prélèvements gazeux au cordon ! Alors la gazométrie en biologie délocalisée n'apparaît plus si honoreuse (11)!

La prise en main de cet analyseur récemment mis sur le marché, s'est révélée délicate dans le cadre de la gazométrie au scalp. Les limites sont une prise d'essai théorique de 50 µL en mode capillaire (au lieu de 5 µL), avec nécessité d'avoir un échantillon de qualité impeccable (sans bulles, sans caillots) alors que la technique de prélèvement au scalp est extrêmement délicate. Au début de l'installation du GEM 4000 en salle de naissance, lors du passage d'un échantillon, l'automate affichait régulièrement un message d'erreur « air détecté avant l'échantillon » ou « échantillon non détecté » (annexe 6). Ces échecs pouvaient s'expliquer par la présence de bulles ou de caillots dans le capillaire, liés soit à la difficulté du prélèvement au scalp ou encore à l'utilisation de vaseline. Pour améliorer cette technique, un travail collaboratif entre l'équipe de salle de naissance, le laboratoire et le fournisseur a été nécessaire.

Tout d'abord, le fournisseur a proposé une évolution de la version du logiciel, afin d'améliorer le passage des échantillons avec microcaillots. D'autre part, des capillaires de calibres différents ont été testés : des capillaires de calibre plus grand pour réduire les

difficultés liés aux caillots et des capillaires de calibre plus fin pour améliorer le remplissage par le sang. Ces essais de capillaires ont permis finalement de réduire la prise d'essai à 40-45 μL , comme le constate l'équipe de Beneteau et al. qui emploie le même automate (8). Enfin, afin de mieux homogénéiser le prélèvement et d'éviter d'introduire des éléments non souhaitables (coagulum, vaseline...) et pouvant bloquer l'analyseur, il a été proposé de positionner le capillaire par le côté opposé au prélèvement. Grâce à l'obtention d'un prélèvement de qualité préanalytique incontestable, sans caillots, ni bulles d'air, grâce au perfectionnement de la technique de prélèvement et au bon usage du GEM 4000, le taux d'échecs est d'environ 20 %, des échantillons analysés, pourcentage proche du taux d'échecs d'autres équipes pour la gazométrie au scalp : 20,6% pour westgreen et al., 11-20% pour Wiberg et al. (121), 13 % pour Annappa et al. (1), et 10% pour Carbonne et al.

Compte tenu de ce taux résiduel d'échecs sur l'analyseur, le service s'est également équipé, d'un lactatomètre Lactate Pro®. Ce petit analyseur, bien que très facile d'utilisation et ayant une prise d'essai très faible de 5 μL , souffre de deux grandes limites. La première est qu'il ne répond pas à la norme ISO 22870:2006 des analyses de biologie délocalisée, car aucun contrôle de qualité n'est analysé sur ce type d'appareillage, aucune traçabilité du résultat n'est possible. Le paramètre lactate, permettant de détecter le versant métabolique d'une acidose est sujet à variation dans bien d'autres situations. Par exemple, le taux de lactates continue d'augmenter dans le capillaire car la glycolyse des globules rouges se poursuit *in vitro* (augmentation de 20% du taux en 3 minutes et 70% en 30 minutes) ! Il paraît donc délicat avec ce seul paramètre mesuré, d'évaluer une acidose sans risque de surévaluer régulièrement cette situation pathologique. Nous voyons ainsi l'intérêt de disposer de l'ensemble des paramètres des gaz du sang, afin d'avoir une interprétation globale et fiable de l'état acido-basique du sujet.

CONCLUSION

A partir de la plus grande cohorte française de fœtus ayant eu une gazométrie au scalp, nous avons montré l'intérêt de cette analyse pour compléter utilement le RCF. En effet, les paramètres étudiés présentent une grande spécificité et très peu de faux positifs pour détecter une SFA. La gazométrie au scalp est un examen utile s'il est bien indiqué (indication : RCF pathologiques d'après les recommandations 2008) car c'est une méthode invasive non dénuée de risques, dont les plus fréquents sont les hémorragies au point de piqûre et les infections. Malgré sa forte spécificité, cet examen est grevé d'une très faible sensibilité. La gazométrie au scalp doit rester un examen de seconde ligne, servant à contre-indiquer une césarienne inutile, établie sur un RCF anormal. Cet examen ne doit pas être fait en première ligne pour poser l'indication de césariser. Les seuils redéfinis dans l'étude améliorent encore la spécificité des paramètres. L'étude menée fut une des premières à redéfinir le seuil des lactates au scalp sur un analyseur à gaz du sang et non sur un lactatomètre. C'est aussi une des seules études qui proposent un seuil d'excès de bases au scalp, paramètre souvent oublié. La gazométrie au scalp est possible dans la pratique quotidienne grâce à un automate de biologie délocalisée tel que le GEM 4000. D'une part, il offre la fiabilité d'un analyseur classique avec une qualité d'analyse, un contrôle qualité régulier ainsi qu'une connexion à distance. D'autre part, il permet la mesure de tous les paramètres d'un gaz du sang, de déterminer le type de l'acidose et d'affiner le diagnostic de SFA. Une étude ultérieure à partir des enfants hospitalisés en réanimation pourrait confirmer les seuils établis dans ce travail préliminaire.

REFERENCES

BIBLIOGRAPHIQUES

1. Annappa R, Campbell DJ, Simpson Nigel A.B. Fetal blood sampling in labour and the decision to delivery interval. *Eur J Obstet Gynecol Biol Reprod* 2008 ; 141 : 10-12
2. Alexander J.M, Leveno K.J, Haulth J, Landon M.B, Thom E, Spong C.Y et al. Les lésions fœtales associées à l'extraction par césarienne. *Obstet Gynecol* 2006 ; 108 : 885-90
3. Allen RM, Bowling FG, Oats JJ. Determining the fetal scalp lactate level that indicates the need for intervention in labour. *Aust N Z J Obstet Gynaecol* 2004 ; 44(6) : 549-52
4. Arabin B, Snyders R, Nicolaides K.H, Versmold H.K, Weitzel H.K, Giffel J, Saling E. Systematic antenatal fetal evaluation ('safe') - A concept for fetal functional diagnostics in threatened hypoxia. *Geburtshilfe und Frauenheilkunde* 1993 ; 53 (12): 835-842
5. Atanasov B, Ignatov P. Quantitative cardiotocography. *Akush Ginecol (Sofia)* 2008 ; 47(2) : 11-5
6. Audibert F. Techniques alternatives de surveillance fœtale pendant le travail : futur ou passé ? *J Obstet Gynecol Biol Reprod* 2008 ; 37 : 633
7. Bartnicki J, Saling E. The influence of maternal oxygen administration on the fetus. *J Obstet Gynecol* 1994 ; 45: 87-95
8. Beneteau B, Ripert S, Pernet P, Carbonne B, Bosselut N, Vaubourdolle M. Blood gas point-of-care testing with the GEM 4000 in the labor and delivery room. A nine month experience. *IL* 2008
9. Boenisch H, Saling E. A combined clinical-biochemical scoring of the newborn. *J Perinat Med* 1974 ; 2 : 122
10. Bon C, Raudrant D, Poloce F, Champion F, Golfier F, Pichot F, Revol A. Etude biochimique du sang fœtal prélevé par cordocentèse au cours de 35 grossesses compliquées de retard de croissance. *Pathologie Biologie* 2007 ; 55(2) : 111-120
11. Boog G. Souffrance fœtale aigue. *J gynecol Obstet Biol Reprod* 2001 ; 30(7) : 393-432
12. Boog G. Microdosage rapide des lactates au sang du cordon et au scalp fœtal. *Gynecol Obstet Fertil* 2004 ; 32 : 241-244
13. Boog G. Fetal monitoring with the ST analyser: need for a long-term follow-up of the infants. *Am J Obstet Gynecol* 2005 ; 193(5) : 1884
14. Boog.G. Pourquoi il ne faut pas trop vite jeter le placenta. *Gynecol Obstet Fertil* 2007 ; 35 : 721-723
15. Borruto F, Comparetto C, Wegher E, Treisser A. Screening of foetal distress by assessment of umbilical cord lactate. *Clin Exp Obstet Gynecol* 2006; 33(4): 219-22

16. Borruto F, Comparetto C, Treisser A. Prévention of cerebral palsy during labour : role of fetal lactate. Arch Gynecol Obstet 2008 ; 278 : 17-22
17. Brandt-Niebelschütz, Saling E. Indications of operative termination of labor on cardiotocography and fetal blood analysis : the reliability of these methods. J Perinat Med 1994 ; 22 : 19-27
18. Breart G, Rumeau-Rouquette C. Infirmité motrice cérébrale et asphyxie périnatale chez l'enfant né à terme. Arch Pediatr 1996 ; 3 : 70-74
19. Bretelle F, Le Du R, Foulhy C. Surveillance fœtale continue ou discontinue, télémètre et centrale d'analyse. J gynecol Obstet Biol Reprod 2008 ; 37 : S23-33
20. Bretscher J, Saling E. pH values in the human fetus during labor. Am J Obstet Gynecol 1967; 97 : 906-11
21. Carbonne B, Langer B, Goffinet F, Audibert F, Tardif D, Le goueff F, Laville M, Maillard F. Multicenter study on the clinical value of fetal pulse oximetry. Compared predictive values of pulse oximetry and fetal blood analysis. Am J Obstet Gynecol 1997 ; 593-598
22. Carbonne B, Cudeville C, Maillard F, Goffinet F. Predictive value of pulse oximetry and fetal scalp blood pH in the case of meconium-stained amniotic fluid. Eur J Obstet Gynecol Biol Reprod 2003 ; 109 : 27-32
23. Carbonne B, Gougeul V, Fekih K.-M. Techniques de surveillance fœtale pendant le travail : les anciennes et les modernes. J Gynecol Obstet Biol Reprod 2003 ; 32 (1) : 1S79-1S84
24. Carbonne B. Asphyxie fœtale per-partum : physiopathologie et exploration biochimique. Spectra biologie 2007 ; 161 : 64-67
25. Carbonne B, Nguyen A. Surveillance fœtale par mesure du pH et des lactates au scalp au cours du travail. J Obstet Gynecol Biol Reprod 2008 ; 37S, S65-S71
26. Collège national des gynécologues et obstétriciens français. Texte de recommandations sur la modalité de surveillance fœtale pendant le travail. J Gynecol Obstet Biol Reprod 2008 37S, S 101-S107
27. Daures M.F, Sol H. Délocalisation des gaz du sang. L'expérience de Montpellier. Spectra biologie 2006 ; 153 : 36-46
28. Daures M.F, Combescure C, Cristol J.P. Etude comparative de six analyseurs de gaz du sang. Ann Biol Clin 2007 ; 65(5) : 505-518
29. De Haan J. Fetal monitoring by physical methods. Interpretation of phenomena. Eur J Obstet Gynecol Biol Reprod 1973 ; 3 : 95-103

30. Dupuis O, Simon A. La surveillance fœtale pendant l'expulsion. *J Obstet Gynecol Biol Reprod* 2008 ; 37S : S93-S100
31. Dussol B. Equilibre acidobasique. *Encycl Med Chir* 2000 ; 18-033-C-10
32. Eckhart J, Velaphi C. Confidential enquiries into hypoxic ischaemic encephalopathy. *Best Pract Res Clin Obstet Gynaecol* 2009 ; 23(3) : 357-68
33. Elimian A, Figueroa R, Tejani N. Intrapartum assessment of fetal well-being : a comparison of scalp stimulation with scalp blood pH sampling. *Obstet Gynecol* 1997 ; 89(3) : 373-376
34. Ellenberg JH, Nelson KB. Early recognition of infants at high risk for cerebral palsy : examination at age four months. *Dev Med Child Neurol* 1981 ; 23(6) : 705-16
35. Eszto M-L, Morel O, Deval B, Thiébauges O. Oxymétrie de pouls fœtal. *Gynecol Obstet Fertil* 2007 ; 35 : 576-581
36. Fédération internationale des gynécologues et obstétriciens. Guidelines for the use of fetal monitoring. *Int J Gynecol Obstet* 1987 ; 25 : 159-67
37. Fournié A, Connan L, Parant O, Lesourd-Pontonnier F. Souffrance fœtale aiguë. *Encycl Med Chir* 1999 ; 5-077-A-30
38. Fournié A, Kessler S, Biquard F, Parant O, Connan L. Hypotrophie, retard de croissance intra-utérin, souffrance fœtale chronique. *Encycl Med Chir* 2004; 5-076-E-10
39. Fournie A. Est-ce possible de prévenir l'infirmité motrice cérébrale ? *Gynecol Obstet Fertil* 2007 ; 35 : 498-9
40. Frasch Martin G, Mansano Roy Z, Gagnon R, Richardson Bryan S, Ross Michael G. Measures of acidosis with repetitive umbilical cord occlusions leading to fetal asphyxia in the near-term ovine fetus. *Am J Obstet Gynecol* 2008 ; 10.022
41. Geisler minna, McAuliffe Fionnuala, O'Herlihy Colm. Continuing contribution of fetal blood sampling to assessment of intrapartum fetal wellbeing. . *Am J Obstet Gynecol* 2008 ; 199(6) : S218
42. Georges J, Boog J. Fetal monitoring with the ST analyser: Need for a long-term follow-up of the infants. *Am J Obstet Gynecol* 1884; 195(5) : 1884
43. Gjerris Anne Cathrine, Staer-Jensen Jette, Stener Jorgensen Jan, Bergholt Thomas, Nickelsen Carsten. Umbilical cord blood lactate: A valuable tool in the assessment of fetal metabolic acidosis. *Eur J Obstet Gynecol Biol Reprod* 2008 ; 139 : 16-20
44. Gofinet F. Méthodes et organisation des modalités de surveillance fœtale pendant le travail. *J Gynecol Obstet Biol Reprod* 2008 ; 37S : S5-S6

45. Grether JK, Nelson KB. Maternal infection and cerebral palsy in infants of normal birth weight. *JAMA* 1997 ; 278 : 207-11
46. Hope P.L, Reynolds E, Langner K, Schmidt S, Dudenhausen J.W, Saling E, Friedburg H, Höpfel D. NMR to measure brain pH. *The lancet* 1984; 324 : 292
47. Houfflin-Debarge V, Closset E, Deruelle P. Surveillance du travail dans les situations à risque. *J Gynecol Obstet Biol Reprod* 2008 ; 37S : S81-S92
48. Ichai C, Guérin J.P, Leverve X, Grimaud D. Le lactate en réanimation. Conférences d'actualisation 2000 ; 503-524
49. Ichai C, Massa H, Hubert S. Troubles de l'équilibre acidobasique chez l'adulte. *Encycl Med Chir* 2006; 36-860-A-50
50. Ingemarsson I, Amerwählin I, Liedman R, Lindoff C, Westgren M. Cord arterial blood glucose levels. *Am J Obstet Gynecol* 1997 ; 176 : S164
51. Janecek P, Di Renzo GC, Bossart H. A new instrument for measurement of actual instantaneous pH in obstetric. *J Gynecol Obstet Biol Reprod* 1978 ;7(3) : 439-45
52. John S. Mc Donald M.D. Evaluation of fetal blood pH as a reflection of fetal well being. *Am J Obstet Gynecol* 1967 ; 97 : 912-918
53. Kruger K, Kublickas M, Westgren M. Lactate in scalp abd cord blood from fetuses with ominous fetal heart rate patterns. *Obstet Gynecol* 1998 ; 92(6): 918-922
54. Kruger K, Hallberg B, Blennow M, Kublickas M, Westgren M. Predictive value of fetal scalp blood lactate concentration and pH as markers of neurologic disability. *Am J Obstet Gynecol* 1999 ; 185(5) : 1072-1078
55. Langer B, Vayssière C, Fritz G, David E. Oxymétrie, ECG fœtal et enregistrement informatisé (comparaison avec le pH). *J Obstet Gynecol Biol Reprod* 2008 ; 37S : S72-80
56. Langner K, Schmidt S, Dudenhausen J.W, Saling E, Friedburg H, Höpfel D, Helledie N. Measurement of fetal pH in the guineapig by NMR. *The lancet* 1984; 323: 1361
57. Laplanche B, Brandel E, Magnin G. Should pH scalp blood sampling still be done during labor? *J Gynecol Obstet Biol Reprod* 1996 ; 25(6) : 612-6
58. Le Ray C, Audibert F. Durée des efforts expulsifs : données de la littérature. *J Gynecol Obstet Biol Reprod* 2008 ; 37 : S1-100
59. Linet T, Laporte J, Gueye H, Boog G. Evaluation du du bien-être néonatal par microdosage rapide des lactates au sang du cordon. *J Gynecol Obstet Biol Reprod* 2002 ; 31 : 352-7

60. Liston R, Crane J, Hamilton E, Hughes O , Kuling S, MacKinnon, McNamara H, Milne K, Richardson B, Trépanie MJ. Fetal health surveillance in labor. *J Obstet Gynaecol Can* 2002 ; 24(3) : 250-76
61. Loron G. Marqueurs biologiques de l'encéphalopathie anoxo-ischémique chez le nouveau-né à terme. *Biotribune* 2006 ; 18 : 23-28
62. Lösch A, Kainz C, Kohlberger P, Heinze G, Hefler L, Lahodny J, Tempfer C. Influence on fetal blood pH when adding amniotic fluid ; an in vitro model. *BJOG* 2003 ; 110(5) : 453-6
63. Low J. Intrapartum fetal asphyxia: Definition, diagnosis, and classification. *Am J Obstet Gynecol* 1997 ; 176(5) : 957-959
64. Luttkus AK, Norén H, Stupin JH, Blad S, Arulkumaran S, Erkkola R, Hagberg H, Lenstrup C, Visser GH, Tamazian O, Yli B, Rosén KG, Dudenhausen JW. Fetal scalp pH and ST analysis of the fetal ECG as an adjunct to CTG. A multi-center, observational study. *J Perinat Med*. 2004 ; 32 (6):486-94
65. MacLennan A. A template for defining a causal relation between acute intrapartum events and cerebral palsy: international consensus statement. *BMJ* 1999 ; 319 (7216) : 1054-1059
66. MacNamara HM, Dildy GA. Continuous intrapartum pH, pO₂, pCO₂ and SpO₂ monitoring. *Obstet Gynecol Clin North Am* 1999 ; 26(4) : 671-93
67. Majeed R, Memon Y, Majeed F, Shaikh NP, Rajar UD. Risk factors of birth asphyxia. *J Ayub Med Coll Abbottabad* 2007 ; 19(3) : 67-7
68. Marchand M, Guibourdenche J. Biochimie néonatale : des pistes pour une pratique raisonnée. *Spectra biologie* 2007 ; 161 : 73-76
69. Martin A. Rythme cardiaque fœtal pendant le travail : définitions et interprétation. *J Gynecol Obstet Biol Reprod* 2008; 37: 34-45
70. Matis R. Sortez couvert avec un pH. *Gynecol Obstet* 2005
71. Mendez-Bauer C, Arnt IC, Gulin L, Escarena L, Caldeyro-Barcia R. Relationship between blood pH and heart rate in the human fetus during labor. *Am J Obstet Gynecol* 1967; 97 : 530-45
72. Morel O, Richard F, Thiébauges O, Malartic C, Clément D, Akerman G, Barranger E. pH au scalp foetal : intérêt pratique en sale de naissance. *Gynecol Obstet Fertil* 2007 ; 35 : 1148-1154
73. Neilson J. Fetal scalp sampling in labour. *Br Med J* 2008 ; 336 : 1257-1258
74. Nelson KB, Ellenberg JH. Apgar scores as predictors of chronic neurologic disability. *Pediatrics* 1981; 68(1) : 36-44

75. Nelson KB, Grether JK. Maternal infection, potentially asphyxiating conditions and spastic cerebral palsy in infants of normal birth weight. *Am J Obstet Gynecol* 1997 ; 507-514
76. Noren H, Luttkus AK, Stupin JH, Blad S, Aralkumaran S, Erkkola R, Luzietti R, Visser GH, Yli B, Rosen KG. Fetal scalp pH and ST analysis of the fetal ECG as an adjunct to cardiotocography to predict fetal acidosis in labor a multicenter, cas controlled study. *J Perinat Med* 2007 ; 35(5) : 408-14
77. Nordström L. Fetal scalp and cord blood lactate. *Best Pract Res Clin Obstet Gynaecol* 2004 ; 18(3) : 467-76
78. Okosun H, Arulkumaran S. Intrapartum fetal surveillance. *Curr Obstet gynecol* 2005 ; 15 : 18-24
79. Ostrzenski A, Ostrzenski BA, Gleason JP, Burkhart RW. Roles of medical consultants and expert witness in cerebral palsy litigation : a review. *J reprod Med* 2005 ; 50 (4) : 273-83
80. Papadopoulos J, Durand P, Devictor D. Equilibre acido-basique du nouveau-né. *Encycl Med Chir* 2001 ; 4-002-R-50
81. Pachydakis A, Belgaumkar P, Sharmah A. Persistent scalp bleeding due to fetal coagulopathy following fetal blood sampling. *Int J Gynaecol Obstet* 2006 Jan ; 92(1) :69-70
82. Pernet P, Bénéteau-Burnat B. Les difficultés d'interprétation diagnostique de la co-oxymétrie. *Revue Francophone des Laboratoires* 2006 ; N°383
83. Philopoulos D. Réponse à « Est-ce possible de prévenir l'infirmité motrice cérébrale? » *Gynecol Obstet Fertil* 2008 ; 36 : 494-498
84. Pontonnier G, Grandjean H, Derache P, Reme JM, Boulogne M, de Mouzon J. The value of measuring blood pH in fetal monitoring during labour. *J Gynecol Obstet Biol Reprod* 1978 ; 7(6):1065-77
85. Racinet C, Cans C, Jouk P-S. Séquelles neurologiques et asphyxie foetale per-partum : approche médico-légale. *J Gynecol Obstet Biol Reprod* 2004 ; 33 : 82
86. Racinet C. Comment on "Is cerebral palsy preventable?". *Gynecol Obstet Fertil* 2007 ; 35(11) : 1180-1
87. Ramanah R, Martin A, Riethmuller D, Maillet R, Schaal J-P. Intérêt de la mesure des lactates au scalp foetal au cours du travail. Etude comparative avec le pH au scalp. *Gynecol Obstet Fertil* 2005 ; 33 :107-112
88. Raymond W. Cerebral palsy in term infants: a clinicopathologic analysis of 158 medicolegal case reviews. *Pediatr Dev Pathol* 2008 ; 11 : 456-464

89. Ridenour Robert V, GADA Ravi P, Brost Brian C, Karon Brad S. Comparison and validation of point of care lactate meters as a replacement for fetal pH measurement. Clin Biochem 2008 ; 41 : 1461-1465
90. Rooth G, Fall O, Huch R, Huch A, Saling E. Capillaires in the fetal scalp. The lancet 1980 ; 15 : 369-370
91. Rosen K, Luzietti R. Intrapartum fetal monitoring : its basis and current developments. J Perinat Neonatal Nurs 2000; 5: 155-68
92. Saling E. Neues vorgehen zur untersuchung des kindes unter der geburt. Einführung, technik und grundlagen. Archiv für gynäkologie 1962 ; 197 : 108-122
93. Saling E. Intrauterine asphyxia. The lancet 1964; 719-720
94. Saling E. Elektronische und biochemische Überwachung der Feten unter der Geburt. Bull Soc Roy Belge Gynec Obstet 1968 ; 38 : 289-99
95. Saling E. Introduction and clinical aspects of biochemical monitoring of the fetus. J Perinat Med 1988; 16(1) : 23-47
96. Saling E. Intensive monitoring of the fetus sub partu value and false interpretation. Geburtshilfe Frauenheilkd 1995; 55(11) : 628-33
97. Saling E. Fetal pulse oximetry during labor: issues and recommendations for clinical use. J Perinat Med 1996 ; 24(5) : 467-78
98. Saling E. Comments on past and present situation of intensive monitoring of the fetus during labor. J Perinat Med 1996 ; 24(1) : 7-13
99. Saling E. Recommendations for a combined supervision of the fetus during labor by cardiotocography, fetal blood analysis and pulse oximetry. Fetal Diagn Ther 1998 ; 13 : 4-7
100. Saling E. The first 40 years. A subjective review. J perinat med 2001; 29: 275-280
101. Saling E. Fetal blood analysis during labor. Am J Obstet Gynecol 2006 ; 194(3) : 896-9
102. Sarnat HB, Sarnat MS. Neonatal encephalopathy following fetal distress. A clinical and electroencephalographic study. Arch Neurol 1976 ; 33(10) : 696-705
103. Schaal J-P, Dreyfus M, Bretelle F., Carbonne B, Langer B, Martin A, Mercier C, Mignon A, Poulain P, Hoffmann P, Pierre F. Durée des efforts expulsifs : pousser n'est pas jouer. Réponse à l'article de C. Le Ray et F. Audibert Gynecol Obstet Biol Reprod 2008 ; 37(7) : 715-23
104. Schaal J.P. Introduction des modalités de surveillance foetale pendant le travail. J Gynecol Obstet Biol Reprod 2008 ; 37S : S3-S4

105. Schiermeier S, Pildner von Steinburg S, Thieme A, Reinhard J, Daumer M, Schloz M, Hartzmann W, Schneider KTM. Sensitivity and specificity of intrapartum computerised FIGO criteria for cardiotocography and fetal scalp pH during labour: multicentre, observational study. *BJOG* 2008 ; 115 : 1557-1563
106. Schmidt S, Langner K, Gesche J, Dudenhausen J.W, Saling E. Correlation between transcutaneous pCO₂ and the corresponding values of fetal blood. A study at a measuring temperature of 39°C. *Eur J Gynecol Obstet Biol Reprod* 1984 ; 17(6) : 387-395
107. Sentilhes L. Comment diminuer le taux de césariennes? *J Obstet Gynecol Biol Reprod* 2008 ; 37 : 10-12
108. Silver RM, Iandon MB, Rouse DJ, Leveno KJ, Spong CY, Thom EA, Caritis SN, harper M, Wapner RJ, Sorokin Y, Miodovnik M, Carpenter M, Peaceman AM, O'Sullivan SM, Sibal B, Langer O, Thorp JM, Ramin SM, Mercer BM. Morbidité maternelle en relation avec les césariennes itératives multiples. *Obstet Gynecol* 2006 ; 107 : 1226-32
109. Simm Andrew, Mathew Darly. Caesarean section : techniques and complications. *Obstet Gynecol Reprod Med* 2008 ; 18 (4) : 93-98
110. Strijbis EMM, Oudman I, Van Essen P, Mac Lennan AH. Application des critères internationaux de l'asphyxie perpartum à une population d'enfants infirmes moteurs cérébraux. *Obstet Gynecol* 2006 ; 107 : 1357-65
111. Thoulon J-M. A propos de l'article : « la souffrance fœtale aiguë ». *J Gynecol Obstet Biol Reprod* 2008 ; 30(7) : 715
112. Trochez RD, Sibanda T, Sharma R, Draycott T. Fetal monitoring in labor : are accelerations good enough ? *J Matern Fetal Neonatal Med* 2005 ; 18(5) : 349-52
113. Van den Berg P, Schmidt S, Gesche J, Saling E. Fetal distress and the condition of the newborn using cardiotocography and fetal blood analysis during labour. *Br J Obstet Gynecol* 1987 ; 94(1):72-5.
114. Vardon D, Hors Y, Grossetti E, Creveuil C, Herlicoviez M, Dreyfus M. Oxymétrie de pouls fœtal en pratique clinique. *J Gynecol Obstet Biol Reprod* 2008 ; 37 ; 697-704
115. Verspyck É, Riethmuller D, Hoffmann P, Pierre F. Durée des efforts expulsifs : pousser n'est pas jouer. *J Gynecol Obstet Biol Reprod* 2008 ; 37 : 715-723
116. Wayenberg JL, Vermeulen, Damis E. Définition de l'asphyxie à la naissance et incidence des complications neurologiques et systémiques chez les nouveau-né à terme. *Arch Pediatr* 1998 ; 5 : 1065-71
117. Verspyck E, Sentilhes L. Pratiques obstétricales associées aux anomalies du rythme cardiaque fœtal (RCF) pendant le travail et mesures correctives à employer en cas d'anomalies du RCF pendant le travail. *J Gynecol Obstet Biol Reprod* 2008 ; 37 : S61-S64

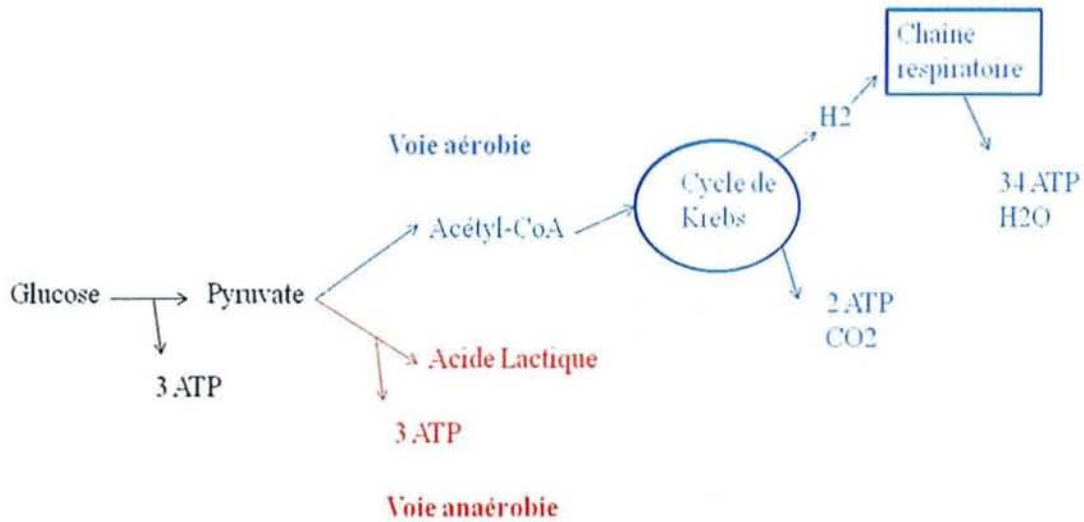
118. Westerhuis ME, Moons KG, Van Beek E, Bijvoet SM, Drogtróp AP, van Geijn HP, van Lith JM, Mol BW, Nijhuis JG, Oei SG, Porath MM, Rijnders RJ, Schuitemaker NW, van der Tweel I, Visser GH, Willekes C, Kwee A. A randomised clinical trial on cardiotocography plus fetal blood sampling versus cardiotocography plus ST-analysis of the fetal electrocardiogram (STAN) for intrapartum monitoring. *BMC Pregnancy Childbirth* 2007; 7 : 13
119. Westgren M, Divon M, Horal M, Ingemarsson I, Kublickas M, Markus C, Persson B, Shimojo N, Nordström L. Routine measurements of umbilical artery lactate in the prediction of perinatal outcome. *Am J Obstet Gynecol* 1995 ; 173 : 1416-22
120. Westgren M, Kruger K, Ek S, Grunevald C, Kublickas M, Naka k, Wolff K, Persson B. Lactate compared with pH analysis at fetal scalp blood sampling: a prospective randomised study. *Br J Obstet Gynaecol* 1998; 105(1) : 29-33
121. Wiberg-Itzel E, Lipponer C, Norman M, Prebensen D, Hansson A, Bryngelsson A-L, Christoffersson M, Sennström M, Wennerholm U-B, Nordström L. Détermination of pH or lactate in fetal scalp blood in management of intrapartum fetal distress: randomised controlled multicentre trial. *Br Med J* 2008 ; 336 : 1284-1287
122. Zupan Simunek V. Définition de l'asphyxie intrapartum et conséquences sur le devenir. *J Gynecol Obstet Biol Reprod* 2008 ; 37S : S7-S15

REFERENCES INTERNET

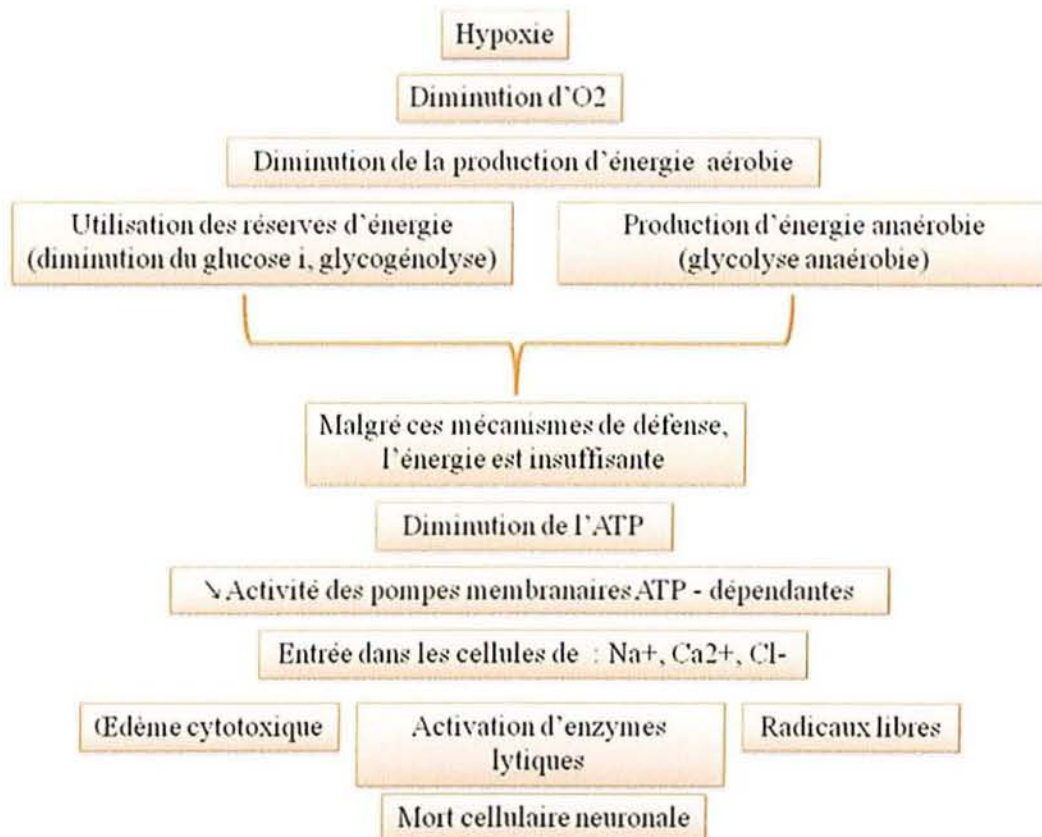
123. [http ://www.birthright.co.nz/images/PR_11.jpg](http://www.birthright.co.nz/images/PR_11.jpg)
124. L.Vorvick
http://www.henryford.com/body.cfm?xyzpdqabc=0&id=46333&action=detail&AEProductIDSRC=Adam2004_102&AEArticleID=19505&AEProductID=Adam2004_102&AEProjectTypeIDURL=APT_6

ANNEXES

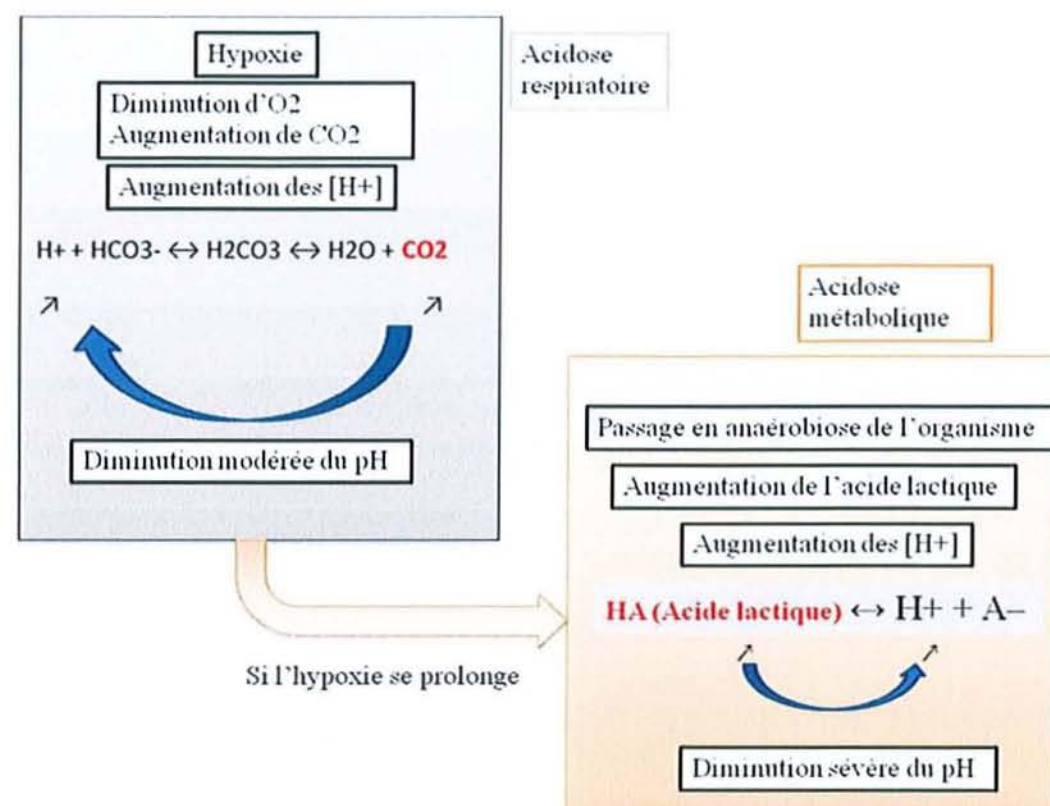
Annexe 1. Les deux voies de la glycolyse. Lien entre le passage en anaérobiose de l'organisme et la formation d'acide lactique.



Annexe 2. Mécanismes biochimiques des lésions neuronales au cours de l'EAI (d'après 61).



Annexe 3. Lien entre l'hypoxie et l'acidose (31, 49).

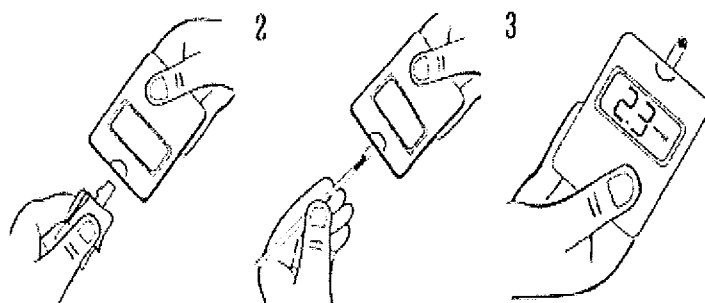


Annexe 4. Classification des éléments du RCF selon la FIGO (36).

Élément étudié	Normal	Suspect	Pathologique
Rythme de base en bpm	110-150	100-110 150-170	< 100 > 170
Variabilité (amplitude en bpm)	5-25	5-10 pendant plus de 40 minutes > 25	< 5 pendant plus de 40 minutes
Décélérations	aucune	variables	variables : sévères précoces : répétées et sévères prolongées tardives

bpm : battements par minute.

Annexe 5. Mode opératoire du Lactate Pro (12).



1. Mise en place de la bandelette réactive dans l'appareil
2. Dépôt d'une goutte de sang sur la bandelette
3. Lecture après une minute du taux de lactates

Annexe 6. Codes erreurs associés à des dysfonctionnements.

Code	Cause de l'erreur	Message opérateur
201	Solution PC non détecté	Solution PC non détecté. Préparation pour le changement de cartouche. Veuillez patienter
203	Air détectée avant l'échantillon	Echantillon non détecté. Répéter le test.
204	Echantillon non détecté	Echantillon non détecté. Répéter le test.
220	La sonde de prélèvement ne s'est pas correctement remise dans son logement	Erreur de la sonde de prélèvement. Préparation pour le changement de cartouche. Veuillez patienter
222	Air détecté dans l'échantillon pendant l'aspiration	Echantillon insuffisant. Répéter le test.
223	Air détecté dans l'échantillon après l'aspiration	Air détecté à l'intérieur de l'échantillon. Répéter le test.
224	Volume insuffisant pour le dosage de la CO-Oxymétrie	Volume insuffisant pour le dosage de la CO-Oxymétrie
230	Bloc de température en dehors des températures acceptables	Température en dehors des limites. L'analyseur va s'éteindre, veuillez contacter le service technique.
236	Tension d'alimentation en dehors des limites	Erreur de tension d'alimentation. L'analyseur va s'éteindre, veuillez contacter le service technique.
240	Pas d'air détecté avant le passage de la solution PC	Solution PC non détecté. Préparation pour le changement de cartouche. Veuillez patienter
241	Valve rotative non trouvée	Erreur de valve rotative. Préparation pour le changement de cartouche. Veuillez patienter
260	Le capteur de la porte ne répond pas	Anomalie de la porte. Préparation pour le changement de cartouche. Veuillez patienter
264	Anomalie du temps d'intégration de la CO-Ox	Anomalie du CO-Oxymètre. L'analyseur va s'éteindre, veuillez contacter le service technique.
265	Voltage de référence en dehors des limites	Voltages en dehors des limites. L'analyseur va s'éteindre, veuillez contacter le service technique.
266	Voltages de la polarisation des électrodes en dehors des limites	Voltages en dehors des limites. L'analyseur va s'éteindre, veuillez contacter le service technique.
267	Erreur de la pompe d'aspiration	Erreur cartouche. Préparation pour le changement de cartouche. Veuillez patienter
270	Fuite d'un composant analytique	Erreur cartouche. Préparation pour le changement de cartouche. Veuillez patienter
280	Erreur de valve de distribution	Erreur de valve. L'analyseur va s'éteindre, veuillez contacter le service technique.
285	Anomalie de la calibration de la lampe néon du CO-Ox	Anomalie du CO-Oxymètre. L'analyseur va s'éteindre, veuillez contacter le service technique.

CHANGEMENT DE CARTOUCHE

Pour visualiser la date d'expiration de la cartouche appuyer sur le pavé TESTS

Pour changer la cartouche.

- 1) **Au Menu choisir**

RETIRER LA CARTOUCHE

Vous ne pouvez plus réutiliser à nouveau cette cartouche

- 2) **Au message « Souhaitez-vous vraiment retirer la cartouche » taper OUI**
- 3) **Au message « PREPARATION DE LA CARTOUCHE » le capot s'ouvre – Enlever la cartouche usagée**
- 4) **Retirer la cartouche et appuyer sur OK**
- 5) **Jeter l'ancienne cartouche dans la poubelle jaune**
- 6) **Enlever l'emballage et le cache de la nouvelle cartouche**
- 7) **Placer la nouvelle cartouche**
- 8) **Fermer la porte pour insérer la cartouche à fond**
- 9) **Attendre les 40 minutes de chauffe**
- 10) **Faire 2 calibrations en 2 points**
MENU
DIAGNOSTIC
Lancer la calibration
- 11) **Après changement de cartouche passer les 4 contrôles CVP (cf. Procédure passage CTRL)**
- 12) **Faire une copie des données (cf. Procédure)**

VU

NANCY, le 7 septembre 2009

Le Président de Thèse

Professeur J.M. HASCOËT

NANCY, le 7 septembre 2009

Le Doyen de la Faculté de Médecine

Professeur H. COUDANE

AUTORISE À SOUTENIR ET À IMPRIMER LA THÈSE

NANCY, 10 septembre 2009

LE PRÉSIDENT DE L'UNIVERSITÉ DE NANCY 1

Par délégation

Madame C. CAPDEVILLE-ATKISON

NOM & Prénom : ENET Esther

**GAZOMETRIE IN UTERO : INTERET DE LA BIOLOGIE DELOCALISEE ET
EVALUATION CLINIQUE DES PARAMETRES MESURES**

Le monitoring obstétrical *per-partum* par l'enregistrement du rythme cardiaque fœtal (RCF) a permis de diminuer la mortalité périnatale par souffrance fœtale hypoxique (SFA). Le RCF manque de spécificité ce qui conduit à des césariennes inutiles. La gazométrie au scalp fœtal vient utilement compléter le RCF. L'objectif de notre travail a été double. Nous avons évalué la praticabilité d'un analyseur de gaz du sang, le GEM 4000 (IL France), en biologie délocalisée pour la mesure du pH, des lactates et de l'excès de bases au scalp. A partir d'une étude rétrospective nous avons évalué, la pertinence clinique des résultats biologiques pour évaluer la SFA. Avec 220 fœtus étudiés, notre étude possède la plus grande cohorte de gazométrie au scalp, en France. Le pH au scalp présente une excellente spécificité (95,8 %) légèrement supérieure à celle des lactates (91,7 %) pour prédire un pH au cordon à 7,15, même si la sensibilité du pH au scalp reste faible (18,2 %). Notre travail est le premier à évaluer la pertinence de l'excès de bases au scalp. La réévaluation des seuils d'acidose amène à des valeurs de 7,20 pour le pH, 6 mmol/L pour les lactates (redéfini sur analyseur classique et non lactatomètre) et à 6,6 mmol/L pour l'excès de bases au scalp. Le GEM 4000 sur son premier site en France, offre une analyse complète de l'état acido-basique fœtal, tout en respectant la norme ISO 22870:2006, en assurant un contrôle qualité et une traçabilité des analyses.

**FETAL BLOOD SAMPLING DURING LABOR (PH, LACTATES, BASE EXCESS
MEASUREMENTS) : ASSESSMENT OF POINT-OF-CARE BLOOD GAS ANALYSIS**

THESE : MEDECINE SPECIALISEE-ANNEE 2009

MOTS CLEFS : Souffrance fœtale aigue, pH, lactates, excès de bases, scalp, gazométrie fœtale, asphyxie.

INTITULE ET ADRESSE DE L'UFR :

Faculté de Médecine de Nancy
9, avenue de la Forêt de Haye
54505 VANDOEUVRE LES NANCY Cedex