

**UFR de médecine d'Amiens**

**THESE D'ETAT DE DOCTEUR EN MEDECINE**

**Mention Spécialité**

Présentée et soutenue publiquement

Par

**Céline DUBOS**

Le 4 mars 2020

TITRE DE LA THESE :

**ENVIRONNEMENT THERMIQUE DU NOUVEAU-NE DANS LE  
SECTEUR NAISSANCE LORSQUE LES SOINS EN PEAU A PEAU  
DOIVENT ETRE INTERROMPUS.**

**Numéro de thèse : 2020-11**

Le Président de Jury,

**Monsieur le Professeur Fabrice Sergent**

Les juges,

**Monsieur le Professeur Cyril Page**

**Madame le Docteur Emilie Bourel-Ponchel**

**Madame le Professeur Véronique Bach**

Le directeur de thèse,

**Monsieur le Professeur Pierre Tourneux**

*A mon Président de jury,*

**Monsieur le Professeur Fabrice SERGENT**

Professeur des Universités – Praticien Hospitalier

(Gynécologie et Obstétrique)

*Vous me faites l'honneur de présider ma soutenance de thèse.*

*Je vous adresse mes sincères remerciements et ma profonde reconnaissance.*

*A mon directeur de thèse,*

**Monsieur le Professeur Pierre TOURNEUX**

Professeur des Universités – Praticien Hospitalier

(Pédiatrie)

Pôle « Femme – Couple – Enfant »

*Vous m'avez fait confiance pour la réalisation de ce travail.*

*Votre disponibilité, votre rigueur méthodologique, vos connaissances scientifiques et la qualité de votre enseignement ont été pour moi une grande aide et une source de progrès.*

*Je vous exprime mes plus sincères remerciements*

*A mes juges,*

**Monsieur le Professeur Cyril PAGE**

Professeur des Universités – Praticien Hospitalier

(ORL)

Chef du Service ORL et de la Chirurgie « Face et Cou »

Chef du Pôle des 5 Sens

*Vous avez toute ma reconnaissance pour votre participation à ce jury et votre enseignement à  
la faculté.*

**Madame le Docteur Emilie BOUREL-PONCHEL**

Maître de Conférence des Universités – Praticien Hospitalier

Exploration fonctionnelle du système nerveux.

*Vous avez aimablement accepté de juger ce travail.*

*Très sensible à cet honneur, je vous prie ici de trouver l'expression de mes remerciements.*

*Soyez assuré de ma reconnaissance et de mon profond respect.*

**Madame le Professeur Véronique BACH**

Professeur des Universités

(Physiologie)

*Vous me faites l'honneur d'apporter votre expérience à la critique de ce travail en siégeant dans mon jury de thèse. Je vous prie de bien vouloir accepter ma respectueuse considération.*

**A ma famille, mes amies, mes collègues, à William :**

A *mes parents*, pour vos sacrifices et votre soutien inconditionnel tout au long du chemin parcouru, pour être toujours là dans les moments qui comptent pour moi. C'est grâce à vous si j'en suis là aujourd'hui. Merci pour tout.

A *William*, pour sa présence, sa confiance, son soutien, sa patience, pour avoir su trouver les mots justes dans les moments les plus difficiles.

A *mes amies, Laurine, Malory et Inès*, merci pour ces bons moments à vos côtés, pour les nombreux à venir, mes études auraient été bien fades sans vous.

A *mes belles sœurs, Laure et Cécile*, pour toutes les vacances passées ensemble et les balades à cheval bien-sûr.

A *mes neveux et nièces, Léon, Jean et Carla*, merci pour toutes les bêtises et l'affection que l'on partage.

A *ma belle-famille*, merci de m'avoir accueilli parmi vous et merci pour tous les bons moments passés ensemble.

## Résumé

### Introduction :

Les nouveau-nés sont sujets à l'hypothermie immédiatement après la naissance. L'hypothermie est associée à une augmentation du taux de morbidité. Cette étude a pour objectif d'évaluer l'environnement thermique et le coût énergétique en secteur naissance lorsque les soins peau à peau (PàP) doivent être interrompus.

### Matériel et Méthodes :

Les variables environnementales (la température de l'air :  $T_a$  ; l'humidité relative : HR ; la température radiative :  $T_r$  et la vitesse de convection de l'air) ont été enregistrées pendant les soins en peau à peau ainsi que dans les différentes salles de la maternité. À partir de ces données, les pertes de chaleur corporelle (PCT) ont été calculées par calorimétrie analytique.

### Résultats :

L'analyse des 1280 mesures de  $T_a$ , HR,  $T_r$  et de vitesse de convection de l'air lors du PàP, dans les environnements passifs et actifs a révélé que : i) l'environnement thermo-hygrométrique était optimal lors du PàP ( $T_a$   $32,7 \pm 3,2$  °C ; RH  $50,9 \pm 5,6$  %) ; ii) les pertes caloriques totales augmentaient lorsque les soins PàP doivent être interrompus et iii) l'incubateur radiant prévenait la survenue d'hypothermie en réduisant les pertes caloriques sèches, au détriment des pertes caloriques humides ( $9,4 \pm 1,5$  kcal/kg/h ;  $p < 0,001$ ) comparativement au peau à peau ( $5,8 \pm 2,0$  kcal/kg/h ;  $p < 0,001$ ).

### Conclusion :

L'environnement thermo-hygrométrique est optimal lors des soins en PàP. Cependant, lorsque le PàP doit être interrompu, la  $T_a$  et l'HR diminuent, ainsi les pertes caloriques sont importantes lorsque l'environnement n'est pas optimisé.



## **Abstract**

### **Introduction:**

Newborns are prone to hypothermia immediately following birth. Hypothermia is associated with increased morbidity and mortality rates. This study aimed at assessing the thermal environment and the metabolic cost due to the exposures to various environments in the delivery room when skin-to-skin care (SSC) cannot be used.

### **Material and methods:**

Environmental variables (Air temperature:  $T_a$ ; Relative Humidity: RH; Radiative temperature:  $T_r$  and air convection velocity) were recorded during SSC and in the various room of the maternity unit. From these data the body heat loss (BHL) was calculated by analytic calorimetry.

### **Results:**

Analyzing 1280 measurements of  $T_a$ , RH,  $T_r$ , and air convection velocity in SSC, passive environment and active environment revealed that : i) an optimal thermohygro-metric environment was observed for SSC ( $T_a$   $32.7 \pm 3.2$  °C; RH  $50.9 \pm 5.6$  %); ii) increased BHL was encountered when SSC had to be interrupted and iii) radiant incubator prevented hypothermia, reduced dry BHL, but not humid BHL ( $9.4 \pm 1.5$  kcal/kg/h;  $p < 0.001$ ) compared to SSC ( $5.8 \pm 2.0$  kcal/kg/h;  $p < 0.001$ ).

### **Conclusion:**

An optimal thermohygro-metric environment was observed for the newborn infant during SSC in the delivery room. When SSC was interrupted,  $T_a$  and RH decreased, whereas BHL increased in all passive environments.

# **TABLE DES MATIERES**

Abréviations : .....	11
I – Introduction : .....	12
II – Matériel et Méthodes : .....	13
Calculs .....	14
Analyses statistiques : .....	16
III – Résultats : .....	17
V – Discussion : .....	24
VI – Conclusion : .....	26
VII - Références bibliographiques : .....	28
VIII – Annexes .....	30

## **Abréviations :**

USIN : unité de soins intensifs néonataux

PàP : peau à peau

$T_a$  : température de l'air

HR : humidité relative

$P_{aH_2O}$  : pression partielle en vapeur d'eau

$T_r$  : température de rayonnement

S-ACC : salles d'accouchement

S-C : salles de césarienne

SR-ACC : salles de réanimation des nouveau-nés liées aux salles d'accouchement

SR-C : salles de réanimation des nouveau-nés liées aux salles de césarienne

TR : table radiante

IT : incubateur de transport

PCS : pertes caloriques sèches

PCH : pertes caloriques humides

PCT : pertes caloriques totales

## I – Introduction :

Après avoir été dans un environnement thermique relativement stable *in utero* pendant toute la grossesse, le nouveau-né est immédiatement exposé à un changement brutal d'environnement et peut être exposé à des pertes de chaleur importantes dans les premières minutes de vie [1]. Les échanges thermiques avec l'environnement sont plus importants chez le nouveau-né que chez l'adulte, ce qui explique le risque accru d'hypo ou d'hyperthermie [2].

L'hypothermie à l'admission en unité de soins intensifs néonataux (USIN) est associée à une augmentation de la morbi-mortalité chez le nouveau-né prématuré [3, 4]. L'exposition au froid réduit la pression partielle en oxygène [5] et augmente le risque d'acidose métabolique [6]. L'hémorragie intraventriculaire [7], le besoin d'une assistance respiratoire [8, 9], l'hypoglycémie [4] et le sepsis tardif [4] sont ainsi communément associés à l'hypothermie dans la littérature médicale. De plus, diverses études ont mis en évidence des interactions entre le stress thermique et certaines fonctions physiologiques telles que le sommeil [10, 11, 12], le contrôle du rythme cardiaque [13], la ventilation et l'incidence des épisodes apnéiques [12].

Le but est donc de maintenir le nouveau-né en zone de neutralité thermique. Il s'agit d'une plage de température ambiante à laquelle la température corporelle est constante (36,5-37,5°C) et l'activité métabolique ainsi que la consommation en oxygène minimales. Ainsi, la régulation de la température corporelle n'est assurée que par des processus thermorégulateurs passifs (vasomotion et comportement périphériques) [2]. La pratique du peau à peau (PàP) en salle de naissance s'est avérée efficace pour prévenir l'hypothermie chez le nouveau-né à terme [14] et prématuré [15, 16, 17]. Le PàP offre également de nombreux avantages à court et à long termes pour le nouveau-né, notamment une meilleure qualité des liens affectifs, de l'allaitement, du sommeil, du contrôle de la douleur, du devenir neurocognitif et une diminution du stress parental [14, 15, 16, 17, 18, 19, 20]. Une méta-analyse de Cochrane a mis en évidence les avantages du PàP pour le contrôle de la température du nouveau-né en salle de naissance [21]. Le PàP est considéré comme une procédure standard dans diverses directives pour la prise en charge du nouveau-né dans la salle d'accouchement qui doit être chauffée à 23°C - 25°C [22] et protégée des courants d'air [23].

Cependant, environ 10% des nouveau-nés ont besoin de mesures de réanimation respiratoire simples durant les premières minutes de vie ; des mesures de réanimation plus lourdes ne sont en revanche nécessaires que pour 1% d'entre eux [24]. Ainsi, si le nouveau-né nécessite une réanimation, il doit être placé sur une surface préchauffée sous un chauffage

radiant. S'il a besoin de soins spécifiques prolongés, celui-ci sera transféré en USIN dans un incubateur fermé. Il en résulte que la fluctuation de l'environnement thermique, même si elle est de très courte durée, peut changer très rapidement et dans une large mesure. Actuellement, il n'existe aucune étude évaluant l'environnement thermo-hygrométrique du nouveau-né dans les maternités.

L'objectif de l'étude est d'évaluer l'environnement thermique, de calculer le coût énergétique dû aux expositions à ces différents environnements et d'évaluer l'efficacité des soins de peau à peau. Les échanges de chaleur corporelle ont été évalués à partir de l'équation du bilan thermique du corps qui permet de connaître les contributions respectives des différents transferts de chaleur entre le corps et son environnement. Les variables environnementales utilisées pour évaluer les transferts de chaleur ont été mesurées de juillet à septembre 2019 dans 17 pièces et dispositifs différents.

## **II – Matériel et Méthodes :**

Cette étude a été menée dans une maternité de niveau III construite en 2014. La température de l'air ( $T_a$ , °C), l'humidité relative (HR, %), la température de rayonnement ( $T_r$ , °C) et la vitesse de l'air ( $m.s^{-1}$ ) ont été mesurées à l'aide des thermomètres HD32.2© (Delta Ohm, Andilly, France) et iLog© (Cryopak, Maromme, France) dans les différents endroits de la maternité. La température et l'humidité relative ont été enregistrées avec une précision de 0,1 °C et 0,1 %, respectivement. Les instruments de mesure étaient conformes à la norme ISO7726 ("Ergonomie des environnements thermiques - Instruments pour la mesure de grandeurs physiques"). Pour garantir un état thermique stable, les deux appareils ont nécessité une période de stabilisation de 15 minutes. La période d'acquisition a été de 5 minutes avec un enregistrement des données toutes les 15 secondes.

L'environnement passif comprenait : les salles d'accouchement (S-ACC), les salles de césarienne (S-C), les salles de réanimation des nouveau-nés liées aux salles d'accouchement (SR-ACC), les salles de réanimation des nouveau-nés liées aux salles de césarienne (SR-C), les couloirs et les salles de transfert.

L'environnement actif comprenait la table radiante (TR) (Panda warmer, GE Healthcare, Chicago, USA) réglée à une puissance de 25%, 50%, 75% puis 100% et l'incubateur de transport NITE (IT) (Mediprema, Tauxigny, France) préchauffé à 36°C. Aucun changement n'a été apporté aux politiques au sein des différentes unités.

Les mesures en PàP ont été effectuées chez un individu sain (CD) vêtu d'une couverture de coton après un exercice physique simulant le travail. Les deux thermomètres ont été placés entre la surface de la peau de la région abdominale et la couverture de coton. Les données ont été enregistrées de manière similaire aux autres mesures de l'environnement. La pièce était chauffée à 23,0°C avec une humidité relative de 51%.

## Calculs

Les échanges thermiques entre la peau du nouveau-né et son environnement se font par conduction (K), convection (C), rayonnement (R) et évaporation (E). Il existe également des échanges entre l'air se déplaçant sur les voies respiratoires et son environnement par convection ( $C_{res}$ ) et évaporation ( $E_{res}$ ). Ces différents échanges de chaleur peuvent être évalués à partir d'expressions mathématiques utilisant la loi de Newton. Les différentes équations sont détaillées dans l'annexe A.

L'équilibre thermique a été défini à partir de l'équation caractérisant le premier principe de la thermodynamique de la conservation de l'énergie :  $S = M \pm R \pm C \pm K \pm C_{res} - E - E_{res}$  ; où S était le stockage de chaleur corporelle ( $\text{kJ h}^{-1}$ ) et M était la production de chaleur métabolique ( $\text{kJ h}^{-1}$ ). Les échanges thermiques ont été affectés d'un signe négatif lorsqu'il s'agissait d'une perte de chaleur de l'organisme vers l'environnement et d'un signe positif dans le cas contraire. Tous les échanges de chaleur ont été convertis de  $\text{kJ/kg/h}$  en  $\text{Kcal/kg/h}$ . L'homéothermie qui caractérise le maintien d'une température interne stable dans l'organisme est obtenue lorsque les gains équilibrent les pertes de chaleur (stockage de chaleur nul dans l'organisme avec  $S = 0$ ). Lorsqu'elle n'est assurée que par des processus thermorégulateurs passifs, cette situation définit la neutralité thermique. En effet, dès que la température critique supérieure ( $S > 0$ ) ou inférieure ( $S < 0$ ) de la zone de thermoneutralité est franchie, une réponse thermorégulatrice active, coûteuse en énergie est mise en jeu.

La pression partielle de vapeur d'eau ( $P_{aH_2O}$ , mBar) a été calculée à partir de l'humidité relative de l'air (HR) et de la température de l'air ( $T_a$ ) de la manière suivante :

$$P_{aH_2O} \text{ (mbar)} = 6,11 \frac{HR(\%)}{100} \cdot e^{17,2694 \cdot \frac{T_a(^{\circ}C)}{T_a(^{\circ}C)+238,1}}$$

La température de rayonnement ( $T_r$ ) a été calculée à partir de la température d'un globe noir (diamètre 5 cm ; émissivité : 0,95). La température du globe ( $T_g$ ) a permis de calculer  $T_r$  de la manière suivante :

$$\bar{T}_r \text{ (}^{\circ}\text{C)} = [(T_g + 273)^4 + \frac{0.25 \cdot 10^8}{\varepsilon} \cdot \left(\frac{|T_g - T_a|}{d}\right)^{0.25} \cdot (T_g - T_a)]^{0.25}$$

Les différents échanges thermiques et le stockage de la chaleur corporelle ont été calculés pour un nouveau-né de 40 SA, d'un poids de naissance de 3500 g et d'une taille de 51 cm (selon les courbes de Fenton), portant une couche et un bonnet [25,26] en coton (isolation thermique  $0,038 \text{ m}^2\text{C/W}$ ), avec 80% de mouillure.

Pour évaluer l'effet de l'enveloppement sur le stockage de la chaleur corporelle, une couverture en coton (isolation thermique =  $0,074 \text{ m}^2\text{C/W}$ ) recouvrant le nouveau-né a été utilisée.

#### Analyses statistiques :

Toutes les situations expérimentales ont été comparées au PàP (Gold Standard). La température et l'humidité de l'air ont été comparées à l'aide du test de Student. L'impact de l'utilisation de la couverture a été évaluée par la méthode ANOVA à 2 facteurs. Les résultats ont été analysés à l'aide du logiciel Statview® 5.0 (SAS Institute Inc., Caroline du Nord, États-Unis). Les données ont été exprimées en moyenne  $\pm$  1 écart-type de la moyenne (ETM). Le niveau de significativité a été défini par  $p < 0,05$ .



### III – Résultats :

Nous avons effectué 1280 mesures de  $T_a$ , RH,  $T_r$  et de la vitesse de convection de l'air.

La vitesse de convection de l'air était toujours comprise entre 0,01 et 0,02  $m.s^{-1}$ , reflétant la convection naturelle.

En PàP, les moyennes de  $T_a$ , RH,  $T_r$  et  $Pa_{H_2O}$  étaient respectivement de  $32,7 \pm 3,2$  °C,  $50,9 \pm 5,6$  %,  $34,5 \pm 0,5$  °C et  $25,0 \pm 3,6$  mBar. Nous avons comparé tous les environnements actifs et passifs au PàP (Gold Standard).

La  $T_a$  a diminué dans les 6 environnements passifs avec une température moyenne de  $23,4 \pm 2,0$  °C ( $p < 0,001$ ). Inversement, la  $T_a$  a légèrement augmenté dans les environnements actifs avec une  $T_a$  moyenne de  $34,4 \pm 4,2$  °C (NS). La  $T_a$  était surtout liée à la puissance de chauffe de la table radiante (tableau 1, figure 1).

L'HR dans les environnements passifs n'était pas différente de celle du PàP soit une HR moyenne de  $51,5 \pm 6,8$  %, (NS). L'HR a diminué dans les environnements actifs soit une HR moyenne de  $20,5 \pm 5,7$  % ( $p < 0,001$  ; tableau 1, figure 2).

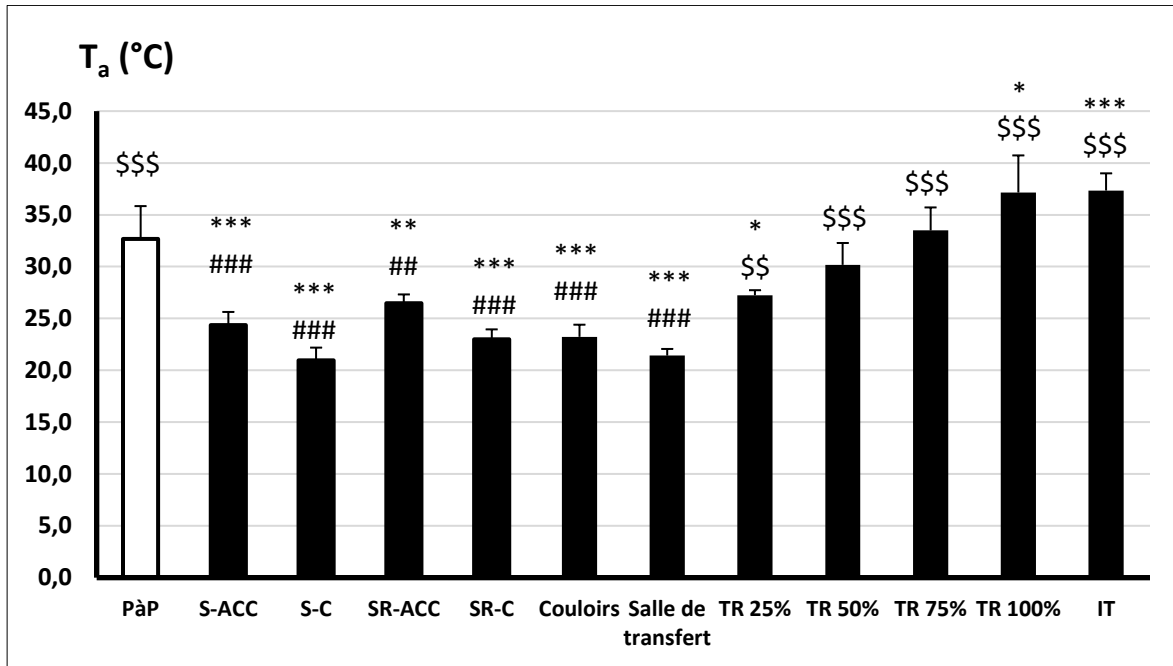
La  $T_r$  a diminué dans les environnements passifs soit une  $T_r$  moyenne de  $23,7 \pm 2,0$  °C ( $p < 0,001$ ). Pour les environnements actifs, la  $T_r$  n'était pas différente de celui du PàP soit une  $T_r$  moyenne de  $34,3 \pm 3,9$  °C (NS) (tableau 1, figure 3).

La  $Pa_{H_2O}$  a diminué dans les environnements passifs et actifs soit une  $Pa_{H_2O}$  moyenne de  $14,7 \pm 2,1$  °C ( $p < 0,001$ ) et  $11,0 \pm 2,9$  °C ( $p < 0,001$ ) respectivement (tableau 1, figure 4).

**Tableau 1 : Environnement thermo-hygro-métrique en secteur naissance.**

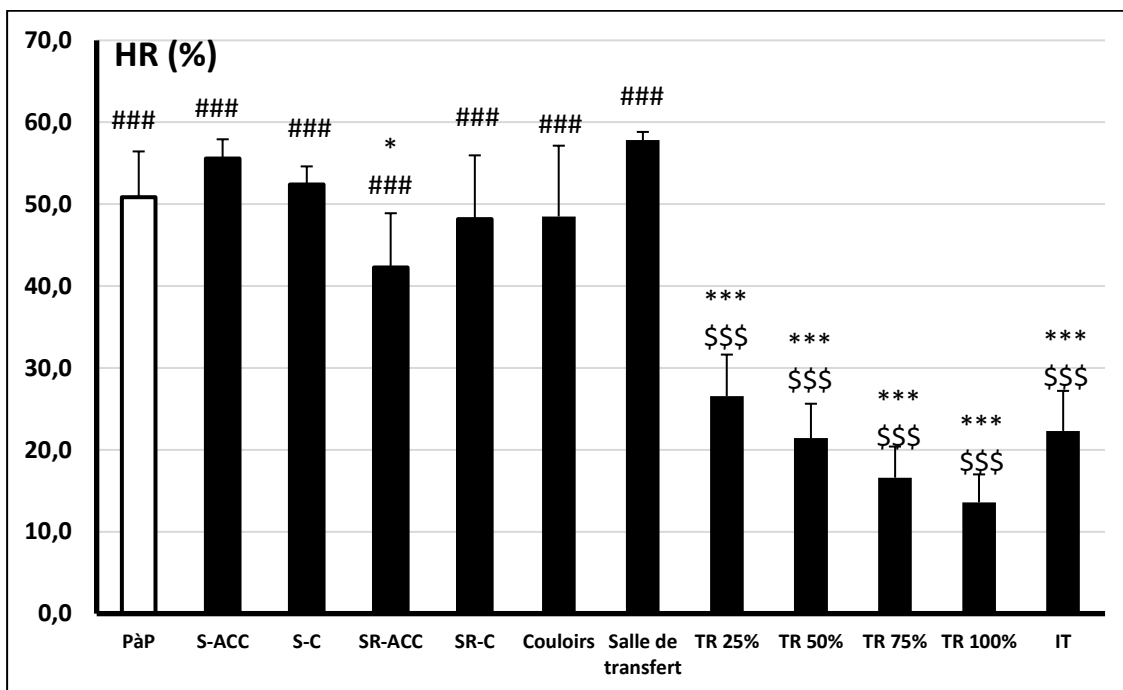
	PàP	Environnements passifs							Environnements actifs					
		S-ACC	S-C	SR-ACC	SR-C	Couloirs	Salle de transfert	Moyenne passif	TR 25%	TR 50%	TR 75%	TR 100%	IT	Moyenne actif
<b>T<sub>a</sub></b> (°C)	32.7±3.2 \$\$\$	24.4±1.3 *** ###	21.0±1.2 ***###	26.5±0.9 **##	23.0±1.0 ***###	23.2±1.2 ***###	21.4±0.6 ***###	23.4±2.0 ***###	27.2±0.5 *\$	30.2±2.1 \$\$\$	33.5±2.2 \$\$\$	37.2±3.6 *\$\$\$	37.3±1.7 ***\$\$\$	34.4±4.2 \$\$\$
<b>RH</b> (%)	50.9±5.6 ###	55.6±2.4 ###	52.4±2.2 ###	42.3±6.6 *###	48.2±7.8 ###	48.5±8.6 ###	57.8±1.0 ###	51.5±6.8 ###	26.6±5.1 ***\$\$\$	21.4±4.2 ***\$\$\$	16.6±3.8 ***\$\$\$	13.6±3.4 ***\$\$\$	22.3±4.9 *** \$\$\$	20.5±5.7 ***\$\$\$
<b>T<sub>r</sub></b> (°C)	34.5±0.5 \$\$\$	24.5±1.3 *** ###	21.5±0.7 ***###	26.9±1.0 ***##	23.4±0.6 *** ###	23.4±0.9 ***###	21.4±0.7 ***###	23.7±2.0 ***###	27.6±0.3 ***\$\$	30.5±1.7 ***\$\$\$	33±2.2 *\$\$\$	38.6±0.7 ***\$\$\$	36.7±1.5 *** \$\$\$	34.3±3.9 \$\$\$
<b>PaH<sub>2</sub>O</b> (mBar)	25.0±3.6 \$\$\$ ###	16.9±0.8 ***###	13±0.4 ***	14.6±2.5 ***	13.4±1.4 ***	13.9±3.5 ***	14.7±0.3 ***#	14.7±2.1 ***###	9.5±1.6 ***\$\$\$	9.0±0.9 ***\$\$\$	8.4±0.8 ***\$\$\$	8.4±0.3 *** \$\$\$	14.0±1.7 ***	11.0±2.9 ***\$\$\$

**Figure 1 :**



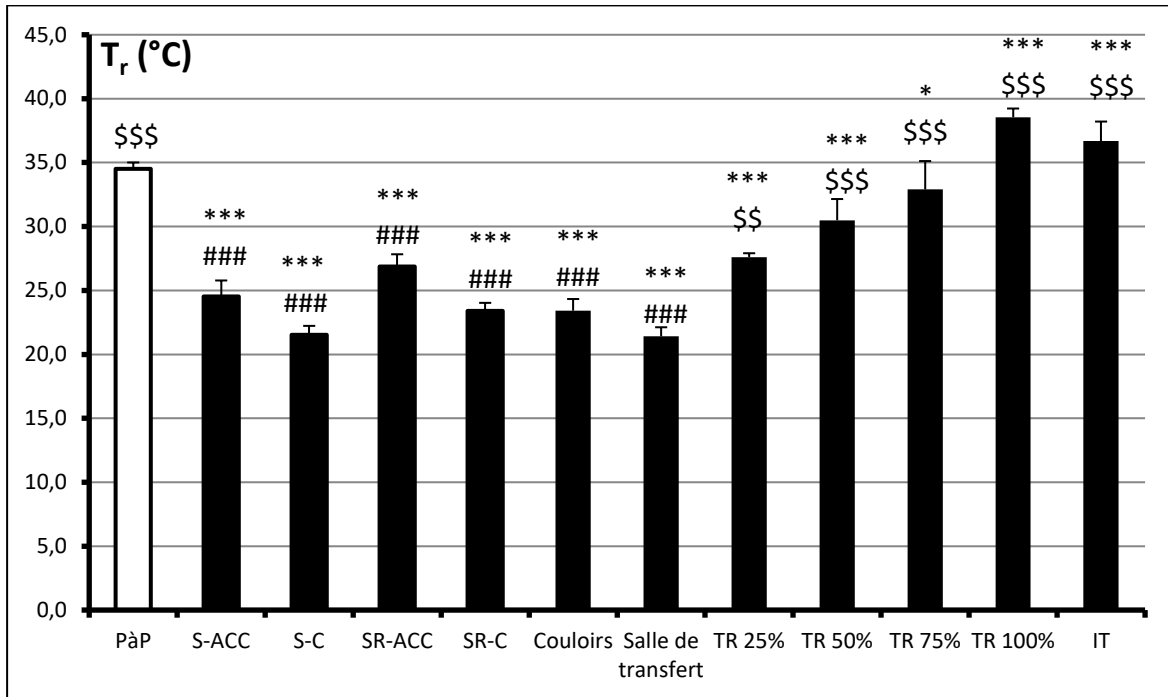
\* =  $p < 0.05$ , \*\* =  $p < 0.01$ , \*\*\* =  $p < 0.001$  vs PàP ; \$ =  $p < 0.05$ , \$\$ =  $p < 0.01$ , \$\$\$ =  $p < 0.001$  vs environnement passif ; # =  $p < 0.05$ , ## =  $p < 0.01$ , ### =  $p < 0.001$  vs environnement actif.

**Figure 2 :**



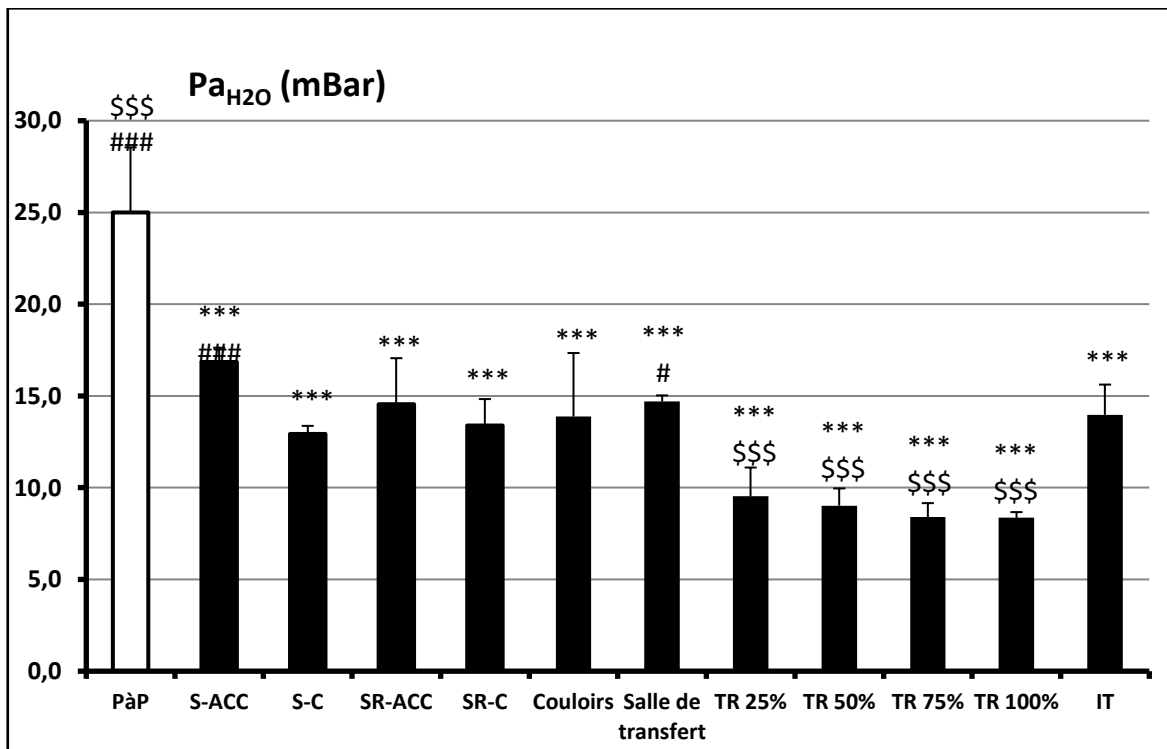
\* =  $p < 0.05$ , \*\* =  $p < 0.01$ , \*\*\* =  $p < 0.001$  vs PàP ; \$ =  $p < 0.05$ , \$\$ =  $p < 0.01$ , \$\$\$ =  $p < 0.001$  vs environnement passif ; # =  $p < 0.05$ , ## =  $p < 0.01$ , ### =  $p < 0.001$  vs environnement actif.

**Figure 3 :**



\* =  $p < 0.05$ , \*\* =  $p < 0.01$ , \*\*\* =  $p < 0.001$  vs PàP ; \$ =  $p < 0.05$ , \$\$ =  $p < 0.01$ , \$\$\$ =  $p < 0.001$  vs environnement passif ; # =  $p < 0.05$ , ## =  $p < 0.01$ , ### =  $p < 0.001$  vs environnement actif.

**Figure 4 :**



\* =  $p < 0.05$ , \*\* =  $p < 0.01$ , \*\*\* =  $p < 0.001$  vs PàP ; \$ =  $p < 0.05$ , \$\$ =  $p < 0.01$ , \$\$\$ =  $p < 0.001$  vs environnement passif ; # =  $p < 0.05$ , ## =  $p < 0.01$ , ### =  $p < 0.001$  vs environnement actif.

Les pertes caloriques sèches (PCS), humides (PCH) et totales (PCT) étaient respectivement de  $0,4 \pm 0,9$  kcal/kg/h,  $5,8 \pm 2,0$  kcal/kg/h et  $6,2 \pm 2,8$  kcal/kg/h, sans couverture, en PàP (tableau 2).

Les PCS moyennes ont augmenté dans les environnements passifs soit  $5,5 \pm 1,3$  kcal/kg/h ( $p < 0,001$  ; Tableau2 ; Figure 5). Pour l'environnement actif, les PCS étaient similaires au PàP (NS). Les PCS ont diminué selon la puissance réglée de la table radiante, ce qui a entraîné plutôt un gain qu'une perte calorique lorsqu'elle était réglée à 100 % ( $F_{(11,98)} = 183,3$  ;  $p < 0,001$  ; tableau 2 ; figure 5).

Par rapport au PàP, les PCH moyennes ont augmenté dans les environnements passifs et actifs avec des PCH moyennes de  $12,8 \pm 1,5$  kcal/kg/h ( $p < 0,01$ ) et  $10 \pm 1,7$  kcal/kg/h ( $p < 0,001$ ) respectivement ( $F_{(11,98)} = 39,4$  ;  $p < 0,001$  ; tableau 2 ; figure 5).

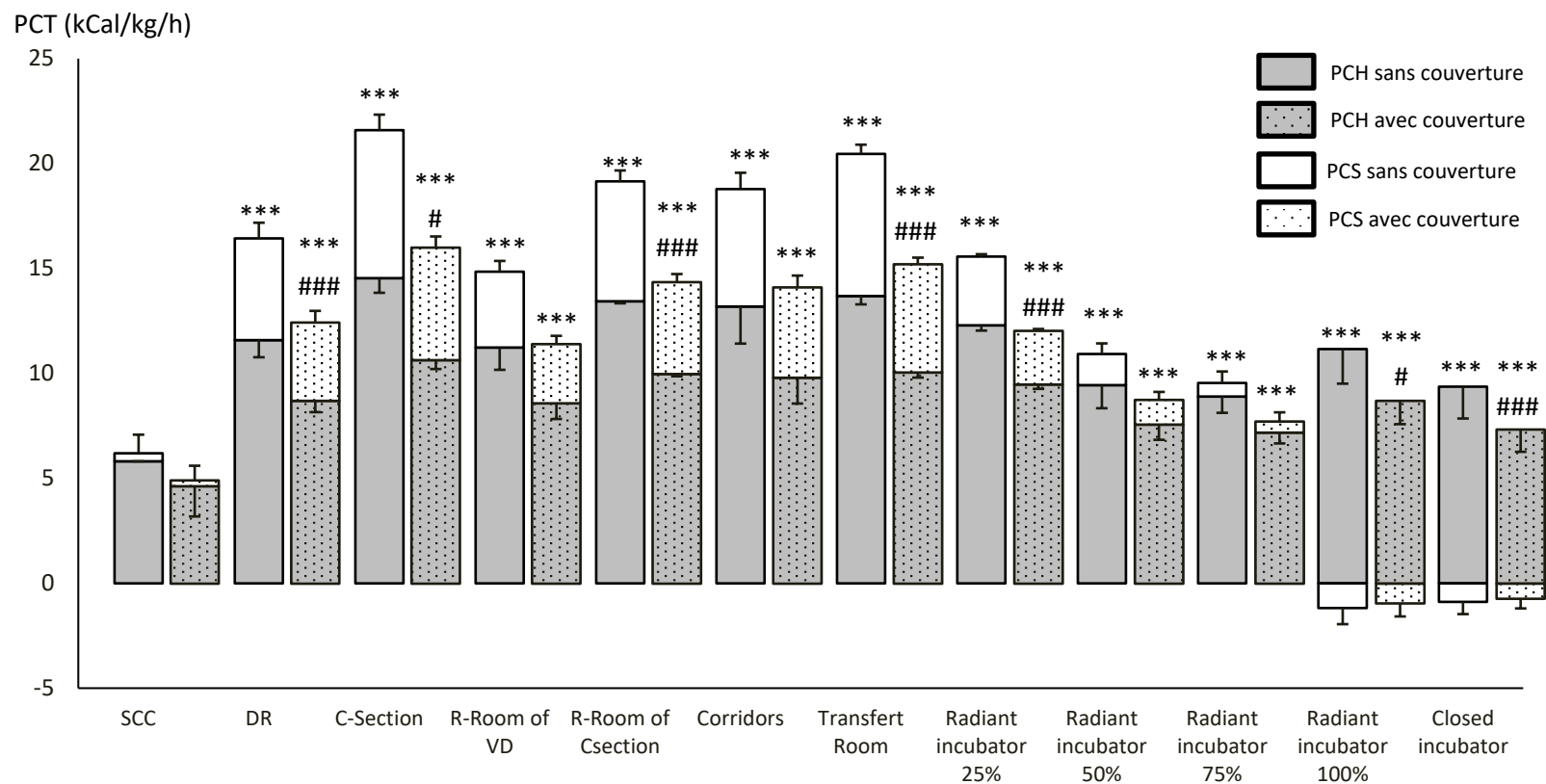
Par conséquent, les pertes caloriques totales (PCT) ont augmenté dans les environnements passifs et actifs comparativement au PàP ( $F_{(11,98)} = 93,5$  ;  $p < 0,001$  ; tableau 2 ; figure 5).

L'analyse post-hoc a montré que la présence de la couverture en coton réduisait significativement les PCS ( $p < 0,01$ ), les PCH ( $p < 0,001$ ) et les PCT ( $p < 0,001$ ) indépendamment de l'environnement thermique (tableau 2 ; figure 5).

**Tableau 2 : Calorimétrie et influence de la couverture par rapport aux soins peau à peau en secteur naissance :**

		PàP	Environnement passif							Environnement actif					
			S-ACC	S-C	SR-ACC	SR-C	Couloir	Salle transfert	Moyenne passif	TR 25%	TR 50%	TR 75%	TR 100%	IT	Moyenne actif
<b>PCS</b> (kcal/kg/h)	Ø C	<b>0.4±0.9</b> \$\$\$	4.8±0.8 ***###	7.1±0.7 ***###	3.6±0.5 ***###	5.7±0.5 ***###	5.6±0.8 ***###	6.8±0.4 ***###	<b>5.5±1.3</b> ***###	3.3±0.1 ***\$\$\$	1.5±0.5 ***\$\$\$	0.7±0.6 ***\$\$\$	-1.2±0.8 \$\$\$	-0.9±0.6 ***\$\$\$	<b>0.2±1.7</b> \$\$\$
	C	<b>0.3±0.8</b> \$\$\$	4.1±0.6 ***###	5.9±0.6 ***###	3.1±0.4 ***###	4.8±0.4 ***###	4.7±0.6 ***###	5.7±0.4 ***###	<b>4.6±1.0</b> ***###	2.8±0.1 ***\$\$\$	1.3±0.4 ***\$\$\$	0.6±0.5 ***\$\$\$	-1.0±0.7 \$\$\$	-0.8±0.5 ***\$\$\$	<b>0.19±1.4</b> \$\$\$
<b>PCH</b> (kcal/kg/h)	Ø C	<b>5.8±2.0</b> \$\$\$###	11.6±0.8 ***###	14.5±0.7 ***###	11.2±1.1 ***	13.4±0.1 ***###	13.2±1.8 ***###	13.7±0.4 ***###	<b>12.8±1.5</b> ***###	12.3±0.3 ***	9.4±1.1 ***\$\$\$	8.9±0.8 ***\$\$\$	11.2±1.7 ***\$	9.4±1.5 ***\$\$\$	<b>10±1.7</b> ***\$\$\$
	C	<b>5.1±1.6</b> \$\$\$###	9.6±0.6 ***###	11.7±0.5 ***###	9.5±0.8 ***	11.0±0.1 ***###	10.8±1.4 ***###	11.1±0.3 ***###	<b>10.5±1.1</b> ***###	10.4±0.2 ***	8.3±0.8 ***\$\$\$	7.9±0.6 ***\$\$\$	9.6±1.2 ***\$	8.1±1.2 ***\$\$\$	<b>8.7±1.3</b> ***\$\$\$
<b>PCT</b> (kcal/kg/h)	Ø C	<b>6.2±2.8</b> \$\$\$###	16.4±1.6 ***###	21.6±1.4 ***###	14.8±1.5 ***###	19.1±0.5 ***###	18.8±2.5 ***###	20.5±0.8 ***###	<b>18.2±2.7</b> ***###	15.6±0.3 ***\$\$\$	10.9±1.6 ***\$\$\$	9.6±1.1 ***\$\$\$	10.0±0.9 ***\$\$\$	8.5±1.0 ***\$\$\$	<b>10.2±2.3</b> ***\$\$\$
	C	<b>5.4±2.3</b> \$\$\$###	13.7±1.2 ***###	17.6±1.1 ***###	12.6±1.2 ***###	15.8±0.3 ***###	15.5±2.0 ***###	16.8±0.7 ***###	<b>15.1±2.0</b> ***###	13.2±0.3 ***\$\$\$	9.6±1.2 ***\$\$\$	8.5±0.8 ***\$\$\$	8.6±0.5 ***\$\$\$	7.3±0.7 ***\$\$\$	<b>8.8±2.1</b> ***\$\$\$
<b>Coût énergétique</b> (%)	Ø C	<b>0</b> \$\$\$###	+159% ***###	+248% ***###	+138% ***###	+208% ***###	+203% ***###	+230% ***###	<b>+193%</b> ***###	+151% ***\$\$\$	+75% ***\$\$\$	+54% ***\$\$\$	+61% ***\$\$\$	+37% ***\$\$\$	<b>+64%</b> ***\$\$\$
	C	<b>0</b> \$\$\$###	+153% ***###	+225% ***###	+133% ***###	+192% ***###	+187% ***###	+211% ***###	<b>+179%</b> ***###	+144% ***\$\$\$	+77% ***\$\$\$	+57% ***\$\$\$	+59% ***\$\$\$	+35% ***\$\$\$	<b>+62%</b> ***\$\$\$

**Figure 5 : Calorimétrie et influence de la couverture comparativement au peau à peau en secteur naissance :**



SSC : peau à peau ; DR : salle d'accouchement ; C-section : salle de césarienne, R-Room of VD : salle de réanimation des nouveau-nés liée à la salle d'accouchement ; R-Room of C-section : salle de réanimation des nouveau-nés liée à la salle de césarienne ; corridors : couloir ; RI : incubateur radiant ; Closed incubator : incubateur de transport.

## V – Discussion :

Cette étude évalue pour la première fois l'environnement thermo-hygrométrique d'un nouveau-né placé en peau à peau ainsi que dans les différentes salles et dispositifs de la maternité.

L'analyse de 1280 mesures de  $T_a$ , RH,  $T_r$  et de vitesse de convection de l'air pendant les soins en peau à peau, et dans les environnements passifs et actifs montre que : a) l'environnement thermo-hygrométrique est optimal lors du peau à peau, b) le risque de pertes par évaporation et par convection est rencontré lorsque le nouveau-né est transféré d'une pièce à l'autre, c) l'incubateur radiant prévient la survenue d'hypothermie en réduisant les pertes caloriques sèches, au détriment des pertes caloriques humides comparativement au peau à peau.

Les efforts pour limiter les pertes de chaleur sont une première étape importante dans la stabilisation des nouveau-nés en salle de naissance [23]. Il est difficile de minimiser les pertes caloriques en raison des pertes évaporatoires élevées secondaires aux caractéristiques physiques du nouveau-né et au gradient de température important entre la peau et l'air ambiant (Laboratoire PériTox UMR\_I 01). Selon les recommandations actuelles, la salle d'accouchement doit être chauffée à 25°C [22,23]. De la même manière, Knobel et al. ont suggéré qu'une température ambiante de 26°C serait optimale pour les nouveau-nés prématurés [27]. Dans notre étude, nous avons observé que la  $T_a$  moyenne des environnements passifs était de 23,4 °C avec une température minimale de 21,0 °C pour la salle de césarienne, à l'origine de pertes caloriques élevées. Ainsi, l'augmentation de la température des locaux (> 25 °C), diminuant le gradient de température entre l'air et la peau, permet de maintenir une température interne plus élevée [27] mais pose le problème de l'inconfort thermique du personnel.

La naissance expose brutalement le nouveau-né à des pertes de chaleurs très importantes, en particulier lors des transferts. Ces pertes peuvent être rapidement réduites par l'utilisation d'un bonnet et d'une couverture, même pour quelques secondes de transfert [25]. Dans la présente étude, l'impact de la couverture réduisait en moyenne les pertes caloriques totales de 14% pour les environnements passifs et de 2% pour les environnements actifs. Lorsque la réanimation doit se poursuivre, le nouveau-né est placé sous table radiante. Nos résultats indiquaient que l'humidité relative diminuait de façon drastique, passant à 26,6-



13,6 % selon la puissance utilisée (25-100 %). La  $P_{aH_2O}$  avait un impact sur les pertes caloriques humides et n'avait que légèrement diminué à différents niveaux de chauffage, car la  $P_{aH_2O}$  était liée à l'HR, mais aussi à la  $T_a$  (Tableau 1). Même si les pertes caloriques totales ont diminué sous table radiante, cela a été lié à une diminution des pertes caloriques sèches mais pas des pertes caloriques humides qui restaient élevées comparativement au PàP (Figure 2). Des études montrent que les tables radiantes induisent des pertes d'eau insensibles plus importantes (augmentation de 94% [IC<sub>95</sub> % : 47–141] par rapport à un incubateur fermé) qui imposent de suivre de façon étroite le bilan hydrosodé de l'enfant [28].

Le résultat de cette étude retrouvait des valeurs très proches entre l'HR dans les environnements passifs (51,5 %) et le PàP (50,9 %). Cependant, le  $P_{aH_2O}$  était très faible dans les environnements passifs (14,7 mBar) comparativement au PàP (25,0 mBar). Cela s'expliquait par une  $T_a$  plus élevée en PàP qui entraînait de façon mathématique une  $P_{aH_2O}$  plus élevée. Les pertes caloriques humides étant liées au gradient de  $P_{aH_2O}$  entre la peau du nouveau-né et son environnement, celui-ci était plus faible lors du PàP. Les pertes caloriques humides étaient ainsi donc diminuées lors du PàP par rapport aux environnements passifs alors que les HR étaient très proches. Ces données soulignent que la prise en compte de l'humidité relative seule peut donc conduire à des erreurs d'interprétation concernant les pertes caloriques humides.

Cette étude a quelques limites. Nous avons choisi d'enregistrer des données sur une femme en bonne santé et non sur des femmes juste après un accouchement. En fait, cela n'aurait pas modifié les données et aurait pu avoir un impact sur la relation entre la mère et le nouveau-né, ce qui ne semblait pas éthique au moment de la rédaction du protocole. De la même manière, les pertes caloriques totales ont été calculées par calorimétrie indirecte et non comparées à une autre méthode, ce qui aurait nécessité des mesures invasives chez le nouveau-né.

Les calculs de pertes caloriques ont été préalablement validés (Laboratoire PériTox UMR\_I 01) et utilisés pour les prématurés en incubateur fermé NITE (Mediprema, Tauxigny, France). Dans cette étude, nous avons utilisé ces formules pour le PàP, les environnements passifs et actifs. Les principes de physique restent les mêmes, le modèle mathématique était constant et seuls les paramètres environnementaux différaient, ce qui donne des résultats très précis pour les comparaisons.

Le cout énergétique est majeur lorsque le nouveau-né n'est pas placé en peau à peau, n'est pas vêtu d'une couverture et si l'environnement thermohygro-métrique n'est pas optimisé.

D'autres études sont nécessaires pour clarifier les rôles spécifiques du séchage du nouveau-né, du choix de la température de l'air ambiant et de l'utilisation optimale de l'incubateur lorsque le peau à peau ne peut pas être effectué.

## **VI – Conclusion :**

Les soins en peau à peau permettent de maintenir un environnement thermohygométrique optimal. Lorsque le PàP doit être interrompu, on observe une diminution très importante de la température de l'air et de l'humidité relative en section naissance. Il en résulte une augmentation des pertes caloriques dans tous les environnements passifs. *A contrario*, la réanimation sous table radiante permet de prévenir l'hypothermie et les pertes caloriques sèches en facilitant les soins au nouveau-né, mais au prix de troubles hydroélectrolytiques importants en cas d'utilisation prolongée. L'utilisation de la couverture est bénéfique pour prévenir les pertes caloriques humides lorsque les soins en peau à peau doivent être interrompus. Actuellement, il semble encore possible d'améliorer l'environnement thermique des nouveau-nés lorsque les soins en peau à peau ne peuvent être prodigués. Ces améliorations permettraient de perfectionner leur prise en charge en particulier lors de situations à risque de refroidissement corporel excessif, que ce soit par l'évolution des protocoles de soins ou du matériel assurant la neutralité thermique.

**Remerciements :** Les auteurs remercient : l'Institut d'Ingénierie de la Santé (2IS) pour avoir fourni les thermomètres HD32.2© et iLog© ; le personnel des unités de soins néonataux et le service d'obstétrique qui ont si volontiers accepté de participer à cette étude ; le professeur Jean-Pierre Libert pour la relecture critique du manuscrit et sa contribution.

**Déclaration d'éthique :** Comme cette étude ne nécessitait que des mesures environnementales avec la participation des chercheurs, aucune déclaration éthique n'était requise.

**Conflit d'intérêt :** Les auteurs n'ont aucun conflit d'intérêt à déclarer.

**Sources de financement :** L'aide à la rédaction a été financée par le Centre Hospitalier Universitaire d'Amiens - Picardie.

**Contributions des auteurs :** CD a fait les mesures, a effectué l'analyse statistique, a rédigé le manuscrit ; W a fait les mesures ; SD a effectué le traitement des données et les calculs de coût énergétique ; MC a effectué l'analyse statistique ; PT a élaboré le protocole de l'étude, fait la revue de la littérature, a effectué l'analyse statistique et a corrigé le manuscrit.

## VII - Références bibliographiques :

- [1] Laptook AR, Watkinson M. Temperature management in the delivery room. *Semin Fetal Neonatal Med.* 2008 Dec; 13(6):383-91.
- [2] Tourneux P, Libert JP, Ghyselen L, Léké A, Delanaud S, Dégrugilliers L, et al. [Heat exchanges and thermoregulation in the neonate]. *Arch Pediatr.* 2009 Jul;16(7):1057-62.
- [3] Laptook AR, Bell EF, Shankaran S, Boghossian NS, Wyckoff MH, Kandefers S, et al. Generic and Moderate Preterm Subcommittees of the NICHD Neonatal Research Network. Admission Temperature and Associated Mortality and Morbidity among Moderately and Extremely Preterm Infants. *J Pediatr.* 2018 Jan; 192:53-59.e2.
- [4] Laptook AR, Salhab W, Bhaskar B; Neonatal Research Network. Admission temperature of low birth weight infants: predictors and associated morbidities. *Pediatrics.* 2007 Mar;119(3): e643-9.
- [5] Stephenson JM, Du JN, Oliver TK Jr. The effect of cooling on blood gas tensions in newborn infants. *J Pediatr.* 1970 Jun;76(6):848-52.
- [6] Gandy GM, Adamsons K Jr, Cunningham N, Silverman WA, James LS. Thermal environment and acid-base homeostasis in human infants during the first few hours of life. *J Clin Invest.* 1964 Apr;43:751-8.
- [7] Mullany LC, Katz J, Khattry SK, LeClerq SC, Darmstadt GL, Tielsch JM. Risk of mortality associated with neonatal hypothermia in southern Nepal. *Arch Pediatr Adolesc Med.* 2010 Jul;164(7):650-6.
- [8] Costeloe K, Hennessy E, Gibson AT, Marlow N, Wilkinson AR. The EPICure study: outcomes to discharge from hospital for infants born at the threshold of viability. *Pediatrics.* 2000 Oct;106(4):659-71.
- [9] DeMauro SB, Douglas E, Karp K, Schmidt B, Patel J, Kronberger A et al. Improving delivery room management for very preterm infants. *Pediatrics.* 2013 Oct;132(4):e1018-25.

- [10] Bach V, Telliez F, Libert JP. The interaction between sleep and thermoregulation in adults and neonates. *Sleep Med Rev.* 2002 Dec;6(6):481-92.
- [11] Chardon K, Bach V, Telliez F, Tourneux P, Elabbassi EB, Cardot V et al. Peripheral chemoreceptor activity in sleeping neonates exposed to warm environments. *Neurophysiol Clin.* 2003 Sep;33(4):196-202.
- [12] Tourneux P, Cardot V, Museux N, Chardon K, Léké A, Telliez F et al. Influence of thermal drive on central sleep apnea in the preterm neonate. *Sleep.* 2008 Apr;31(4):549-56.
- [13] Knobel RB, Holditch-Davis D, Schwartz TA. Optimal body temperature in transitional extremely low birth weight infants using heart rate and temperature as indicators. *J Obstet Gynecol Neonatal Nurs.* 2010 Jan-Feb;39(1):3-14.
- [14] Billner-Garcia R, Spilker A, Goyal D. Skin to Skin Contact: Newborn Temperature Stability in the Operating Room. *MCN Am J Matern Child Nurs.* 2018 May/Jun;43(3):158-163.
- [15] Chi Luong K, Long Nguyen T, Huynh Thi DH, Carrara HP, Bergman NJ. Newly born low birthweight infants stabilise better in skin-to-skin contact than when separated from their mothers: a randomised controlled trial. *Acta Paediatr.* 2016 Apr;105(4):381-90.
- [16] Nimbalkar SM, Patel VK, Patel DV, Nimbalkar AS, Sethi A, Phatak A. Effect of early skin-to-skin contact following normal delivery on incidence of hypothermia in neonates more than 1800 g: randomized control trial. *J Perinatol.* 2014 May;34(5):364-8.
- [17] Bergman NJ, Linley LL, Fawcus SR. Randomized controlled trial of skin-to-skin contact from birth versus conventional incubator for physiological stabilization in 1200- to 2199-gram newborns. *Acta Paediatr.* 2004 Jun;93(6):779-85.
- [18] Moore ER, Anderson GC, Bergman N. Early skin-to-skin contact for mothers and their healthy newborn infants. *Cochrane Database Syst Rev.* 2007 Jul 18;(3):CD003519.
- [19] Carbasse A, Kracher S, Hausser M, Langlet C, Escande B, Donato L et al. Safety and effectiveness of skin-to-skin contact in the NICU to support neurodevelopment in vulnerable preterm infants. *J Perinat Neonatal Nurs.* 2013 Jul-Sep;27(3):255-62.

- [20] Jones H, Santamaria N. An Observational Cohort Study Examining the Effect of the Duration of Skin-to-Skin Contact on the Physiological Parameters of the Neonate in a Neonatal Intensive Special Care Unit. *Adv Neonatal Care*. 2018 Jun;18(3):208-214.
- [21] McCall EM, Alderdice F, Halliday HL, Vohra S, Johnston L. Interventions to prevent hypothermia at birth in preterm and/or low birth weight infants. *Cochrane Database Syst Rev*. 2018 Feb 12;2:CD004210.
- [22] Kent AL, Williams J. Increasing ambient operating theatre temperature and wrapping in polyethylene improves admission temperature in premature infants. *J Paediatr Child Health*. 2008 Jun;44(6):325-31.
- [23] World Health Organization: Department of Reproductive Health and Research (RHR). *Thermal protection of the newborn: a practical guide*. Geneva; 1997.
- [24] Vali P, Mathew B, Lakshminrusimha S. Neonatal resuscitation: evolving strategies. *Matern Health Neonatol Perinatol*. 2015 Jan;1. pii: 4.
- [25] Elabbassi EB, Chardon K, Bach V, Telliez F, Delanaud S, Libert JP. Head insulation and heat loss in naked and clothed newborns using a thermal mannequin. *Med Phys*. 2002 Jun;29(6):1090-6.
- [26] Lang N, Bromiker R, Arad I. The effect of wool vs. cotton head covering and length of stay with the mother following delivery on infant temperature. *Int J Nurs Stud*. 2004 Nov.
- [27] Knobel RB, Wimmer JE Jr, Holbert D. Heat loss prevention for preterm infants in the delivery room. *J Perinatol*. 2005 May;25(5):304-8.
- [28] Flenady VJ, Woodgate PG. Radiant warmers versus incubators for regulating body temperature in newborn infants. *Cochrane Database Syst Rev*. 2003;(4):CD000435.

## **VIII – Annexes**

## A/ Mécanismes d'échanges thermiques entre le nouveau-né et son environnement :

**Conduction (K) :** les échanges par conduction ( $K$ ,  $\text{kJ h}^{-1}$ ) se produisent entre 2 solides en contact. La chaleur est transférée des surfaces de contact plus chaudes vers les surfaces plus froides. Lorsqu'un nouveau-né est couché sur un matelas non chauffé, la chaleur corporelle est perdue par conduction. Au contraire, lors des soins de peau à peau, la chaleur est transférée de la surface de la peau de la mère au nouveau-né puisque les températures de la peau du tronc et des régions abdominales de la mère sont plus élevées que celles du nouveau-né. La conduction dépend de la différence de température ( $^{\circ}\text{C}$ ) entre les deux surfaces en contact ( $T_1-T_2$ ), de la conductivité thermique ( $\lambda$ , en  $\text{kJ h}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ ) qui est une constante dépendant du matériau en contact avec la surface de la peau, de la surface cutanée en contact avec le matelas ou la peau ( $A_r$ , en  $\text{m}^2$ ) et de l'épaisseur du conducteur ( $e$ , en  $\text{m}$ ). Dans un environnement thermique en équilibre permanent, l'équation de la conduction thermique est la suivante :

$$K = A_r \lambda (T_1 - T_2) / e$$

Le taux de conduction de la chaleur est faible et représente 4 à 8 % de l'ensemble du transfert de chaleur corporelle. Dans la présente étude, le transfert de chaleur par conduction représente 6,5 % de l'ensemble des échanges de chaleur corporelle [1].

**Radiation (R) :** les échanges par radiation ( $R$ ,  $\text{kJ h}^{-1}$ ) entre la peau du nouveau-né et l'environnement se font par rayonnement infrarouge.  $R$  est proportionnel à la différence entre la température moyenne de rayonnement ( $T_r$ ,  $^{\circ}\text{C}$ ) et la température cutanée moyenne ( $T_{\text{cut}}$ ,  $^{\circ}\text{C}$ ), élevé à la puissance quatre.

$$R = \sigma \varepsilon A_r [(T_r + 273)^4 - (T_{\text{cut}} + 273)^4] F_{\text{cl}}$$

$A_r$  ( $\text{m}^2$ ) est la surface de peau effective rayonnante du corps,  $\sigma$  = constante de Stephan-Boltzmann :  $20.45.10^{-8} \text{ KJ.h}^{-1}\text{m}^{-2}\text{C}^{-4}$  et,  $\varepsilon$  = émissivité de la peau : 0,97.

Selon Hammarlund et al [2], les pertes radiatives prédominent dans les premiers jours de vie et peuvent atteindre 40 et 60 % des pertes de chaleur corporelle totales, en milieu neutre et en milieu froid [3].

**Convection (C)** : les échanges par convection sont liés au déplacement de l'air au niveau de la surface cutanée. Elle est proportionnelle à la différence entre les températures cutanée moyenne ( $T_{cut}$ , °C) et de l'air ( $T_a$ , °C) et au coefficient  $h_c$  qui dépend de la vitesse d'écoulement de l'air de sorte que :

$$C = h_c A_c (T_a - T_{cut}) F_{cl}$$

$A_c$  = la surface corporelle en contact avec l'air circulant ( $m^2$ ) et  $F_{cl}$  est l'isolation thermique des vêtements (définie ci-dessous).

La perte de chaleur par convection augmente de façon linéaire avec la différence entre la température de l'air et celle de la peau. De plus, dans les incubateurs, la convection est d'autant plus importante que la vitesse de l'air est élevée [4]. Dans les conditions cliniques habituelles où la vitesse de l'air est inférieure à 0,2 m/s, l'échange de chaleur par convection peut être défini comme une convection naturelle ou libre.

**Évaporation (E)** : contrairement aux échanges de chaleur sèche détaillée ci-dessus et qui peuvent représenter une perte ou un gain calorique pour l'organisme, l'évaporation constitue toujours une perte (1g d'eau s'évaporant absorbe 2,406 kJ à 35°C).

Les pertes d'eau par évaporation cutanée (perspiration passive d'eau à travers la peau et sudation active) ( $E$ ,  $kJ h^{-1}$ ) sont proportionnelles à la différence entre la pression partielle en vapeur d'eau de la peau ( $P_{cutH_2O}$ , mb) et de l'air ( $P_{aH_2O}$ , mb), à la mouillure cutanée ( $\omega$ , % de la surface totale du corps) et au coefficient de transfert de chaleur par évaporation qui est lié à  $h_c$  selon la relation de Lewis :  $h_e = 9,2 h_c$  ( $h_e$ ,  $kJ h^{-1} m^{-2} mb^{-1}$ )

$$E = h_e \omega (P_{cutH_2O} - P_{aH_2O}) F_{pcl} A_e$$

$A_e$  ( $m^2$ ) est la surface corporelle en contact avec l'air circulant ( $A_e = A_c$ ) et  $F_{pcl}$  le coefficient d'isolement thermique lié aux vêtements (définie ci-dessous).

**Les pertes de chaleur par convection respiratoire** ( $C_{resp}$ ) peuvent être exprimées par :

$$C_{resp} = V_E \rho (T_e - T_i)$$

$V_E$  ( $m^3$ ) est le volume d'air expiré,  $\rho$  est la masse volumique de l'air ( $kg m^{-3}$ ) et  $T_e - T_i$  est la différence de température entre airs inspiré ( $T_i$ , °C) et expiré ( $T_e$ , °C).



**La perte de chaleur par évaporation respiratoire** ( $E_{\text{resp}}$ ,  $\text{kJ h}^{-1}$ ) est proportionnelle à la ventilation minute ( $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$ ) et à la différence entre les masses d'eau contenues dans l'air inspiré et expiré ( $M_e - M_i$ ,  $\text{kg m}^{-3}$ ) :

$$E_{\text{resp}} = V_E (M_e - M_i) \lambda$$

Où  $\lambda$  est la chaleur latente de vaporisation de l'eau.

**La production de chaleur métabolique** ( $M$ ) a été évaluée à partir de la formule recommandée par Chessex et al. (1981) [5] en tenant compte de l'âge postnatal du nouveau-né (PN) :

$$M = 0.00165 \text{ PN}^3 - 0.138 \text{ PN}^2 + 3.56 \text{ PN} + 3.54$$

**L'isolation des vêtements** ( $F_{\text{cl}}$ ,  $F_{\text{pcl}}$ ) est déterminée à partir de l'isolation intrinsèque  $I_{\text{cl}}$  comme recommandé par Nishi et al. (1970) [6] :

$$F_{\text{cl}} = (h_c + h_r) I_{\text{cl}} + 1 / 1 + 1.97 I_{\text{cl}}$$

$F_{\text{cl}}$  est un coefficient de réduction des échanges de chaleur due aux vêtements ( $R$  et  $C$ , sans dimension) et  $F_{\text{pcl}}$  celui des échanges de chaleur latente due à la vêtue ( $E$ , sans dimension) :

$$F_{\text{pcl}} = [[1 + 2,22 h_c [I_{\text{cl}} - (1 - 1/f_{\text{cl}}) (h_r + h_c)^{-1}]]]^{-1}$$

$I_{\text{cl}}$  est déterminé conformément à la norme ISO [7,8]. Elabbassi et coll. [9] ont également évalué cette valeur de façon expérimentale dans notre laboratoire. À l'aide d'un mannequin thermique, ils ont trouvé des valeurs de  $0,037 \text{ }^\circ\text{Cm}^2\text{w}^{-1}$  avec bonnet + couche et de  $0,077 \text{ }^\circ\text{Cm}^2\text{w}^{-1}$  avec bonnet + couche + linge en coton + pyjama + turbulette.

Les calculs sont fondés sur des mesures environnementales ( $T_a$ ,  $T_r$ ,  $RH$ ) effectuées conformément aux recommandations de l'ISO standard et sur des données obtenues expérimentalement et publiées ( $h_c$ ,  $I_{\text{cl}}$ ,  $A_c$ ,  $A_r$ ) à l'aide d'un mannequin thermique [9,10,11,12,13]

## References:

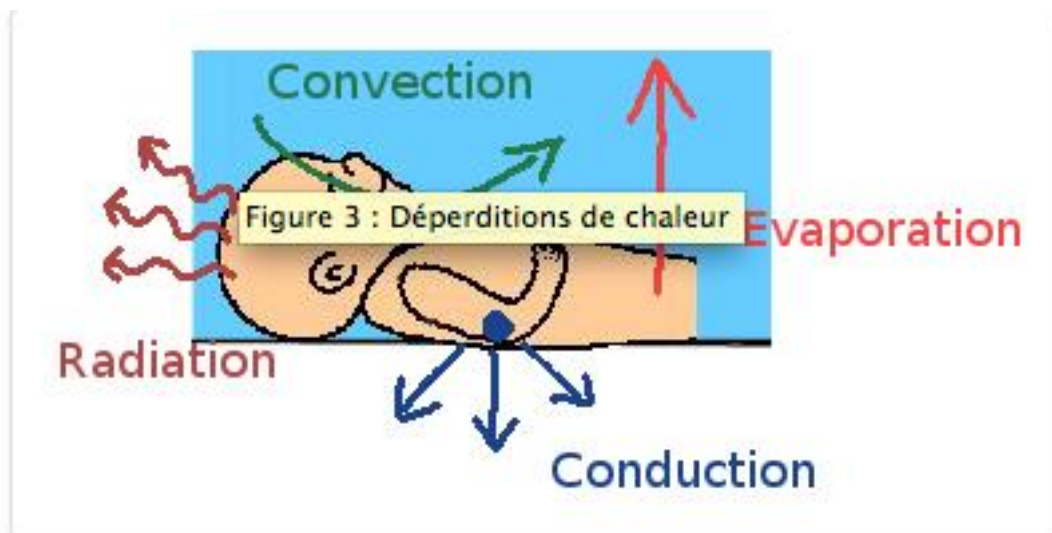
- [1] Adams AK, Nelson RA, Bell EF, Egoavil CA. Use of infrared thermographic calorimetry to determine energy expenditure in preterm infants. *Am J Clin Nutr*, 71(4): 969-977. 2000.
- [2] Hammarlund K, Stromberg B, Sedin G. Heat loss from the skin of preterm and full-term newborns during the first weeks after birth. *Biol Neonate*, 50: 1-10. 1986.
- [3] Museux N, Cardot V, Bach V, Delanaud S, Degrugilliers L, Agourram B, et al. A reproducible means of assessing the metabolic heat status of preterm neonates. *Med Phys*, 35(1): 89-100. 2008.
- [4] Thompson MH, Stothers JK, McLellan NJ. Weight and water loss in the neonate in natural and forced convection. *Arch Dis Child*, 59(10): 951-956. 1984.
- [5] Chessex P, Reichman BL, Verellen GJ, Putet G, Smith JM, Heim T et al. Influence of postnatal age, energy intake, and weight gain on energy metabolism in the very low-birth-weight infant. *J Pediatr*, 99(5) : 761-766. 1981.
- [6] Nishi Y, Gagge AP. Moisture permeation of clothing, a factor governing equilibrium and comfort. *Ashrae Trans*, 76: 137-145. 1970.
- [7] Norme EN ISO 9920. Ergonomie des ambiances thermiques : détermination de l'isolement thermique et de la résistance à l'évaporation d'une tenue vestimentaire. AFNOR, Saint-Denis La Plaine, France. p 313-372. 2002<sup>a</sup>.
- [8] Norme EN ISO 7726. Ergonomie des ambiances thermiques : Appareils de mesure des grandeurs physiques. AFNOR, Saint-Denis La Plaine, France, p 159-218. 2002<sup>b</sup>.
- [9] Elabbassi EB, Chardon K, Bach V, Telliez F, Delanaud S, Libert JP. Head insulation and heat loss in naked and clothed newborns using a thermal mannequin. *Med Physics*, 29: 1090-1096. 2002.<sup>a</sup>
- [10] Belghazi K, Tourneux P, Elabbassi EB, Ghyselen L, Delanaud S, Libert J.P. Thermal efficiency of a plastic bag in neonatal care in the first days of life: assessment using a thermal "sweating" mannequin. *Medical Physics*, 33: 637-644. 2006.

[11] Elabbassi EB, Chardon K, Telliez F, Bach V, Libert JP. Influence of head position on thermal stress in newborns: simulation using a thermal mannequin. J Appl Physiol, 93(4): 1275-1279. 2002.

[12] Elabbassi EB, Belghazi K, Delanaud S, Libert JP. Dry heat loss in incubator: comparison of two premature newborn sized manikins. Eur J Appl Physiol, 92(6): 679-682. 2004<sup>b</sup>.

[13] Apédoh A, Hajjaji A, Bouferrache B, Libert JP, Rachid A. Evaluation of neonate's heat exchange coefficients. Med Biol Eng Comput, 35: suppl 1 p 638. 1997.

**B/ Mécanismes physiopathologiques expliquant la perte de chaleur :**



C/ Réponses thermorégulatrices mises en jeu lors de la thermoneutralité, d'une hypothermie ou hyperthermie. Les températures critiques supérieures et inférieures sont représentées:

