



HAL
open science

Concordances et discordances entre sensorialité et écologie néonatales : attentes sensorielles et réponses adaptatives chez l'enfant prématuré

Benoist Schaal, Nathalie Goubet, Maryse Delaunay-El Allam

► To cite this version:

Benoist Schaal, Nathalie Goubet, Maryse Delaunay-El Allam. Concordances et discordances entre sensorialité et écologie néonatales : attentes sensorielles et réponses adaptatives chez l'enfant prématuré. *Le développement de l'enfant né prématuré*, Solal, 2011, Troubles du développement psychologique et des apprentissages, 978-2-35327-124-5. hal-01123204

HAL Id: hal-01123204

<https://hal.science/hal-01123204>

Submitted on 23 Jun 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/280755108>

Concordances et discordances entre sensorialité et écologie néonatales : attentes sensorielles et réponses adaptatives chez l'enfant p....

Book · June 2011

CITATIONS

5

READS

50

3 authors:



Benoist Schaal

French National Centre for Scientific Research

440 PUBLICATIONS 9,853 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Nathalie Goubet

Gettysburg College

26 PUBLICATIONS 907 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Maryse Delaunay-El Allam

Université de Caen Normandie

17 PUBLICATIONS 291 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Project

OPALINE observatory of food preferences and eating behaviors in children [View project](#)

Le développement de l'enfant né prématuré

Daniel Mellier (Ed.)

Solal éditeur, Marseille - 2011.

B. SCHAAL¹

N. GOUBET²

M. DELAUNAY-EL ALLAM³

CONCORDANCES ET DISCORDANCES ENTRE SENSORIALITÉ ET ÉCOLOGIE NÉONATALES : ATTENTES SENSORIELLES ET RÉPONSES ADAPTATIVES CHEZ L'ENFANT PRÉMATURÉ

Chez les très jeunes organismes, l'impact biologique et psychologique de l'environnement est, pour une grande part, médiatisé par une réceptivité sensorielle exacerbée sur fond de grande malléabilité du système nerveux. L'excitation sensorielle et l'exercice moteur contribuent à la construction fine du cerveau à travers de multiples processus anatomiques et fonctionnels (différenciation corticale, neurogenèse, stabilisation des synapses, sélection neuronale, organisation fonctionnelle des champs récepteurs et moteurs). Très tôt, l'expérience perçue et agie œuvre ainsi à la plasticité cérébrale et à l'ajustement de la perception et de la cognition aux demandes de l'environnement.

Les effets trophiques des stimulations sensorielles sur les fonctions nerveuses n'attendent pas la naissance pour exercer leur fin pouvoir de modelage. Les recherches menées par les psychologues et les biologistes depuis les années 1950 montrent, en effet, que le cerveau des fœtus et des nouveau-nés n'est pas le réceptacle inerte que l'on a longtemps cru. Nos connaissances

1. Equipe d'Ethologie Développementale et de Psychologie Cognitive, Centre des Sciences du Goût, CNRS, 15 rue Hugues Picardet, 21000 Dijon (schaal@cesg.cnrs.fr)

2. Department of Psychology, Gettysburg College, Gettysburg, PA, USA (ngoubet@gettysburg.edu)

3. Université de Caen, JE PALM (maryse.delaunay-elallam@unicaen.fr)

actuelles les plus élaborées sur les aptitudes perceptives fœtales reposent surtout sur deux modalités, l'audition et l'olfaction, ceci en bonne partie grâce à divers modèles animaux (Schaal *et al.*, 1999). A travers ces fonctions sensorielles, on a pu sonder les mécanismes perceptifs qui opèrent en fin de gestation et démontrer que le fœtus dispose alors de compétences de traitement suffisamment élaborées pour différencier les stimulations. Ces aptitudes discriminatives se doublent très tôt de capacités de mémoire permettant la comparaison entre sensations actuelles et expérience antérieure. Celles-ci inscrivent l'expérience du fœtus dans le temps, et délimitent des éléments perceptifs encodés comme étant familiers, appelés à être utiles dans l'environnement à venir qui est, pour une large part, imprévisible.

Dès les stades fœtaux du développement, les systèmes sensoriels sont progressivement couplés aux systèmes de récompense et aux systèmes d'actions, supports de réponses d'attraction envers certaines stimulations, dites alors "positives", et de réponses de défense envers d'autres stimulations dites "négatives". Ces réponses révèlent que les organismes, même très immatures, sont porteurs de critères d'évaluation de la valeur de récompense des stimulations actuelles par rapport à des références internes préexistantes. C'est en référence à ces critères internes établis que le nouveau-né organise ses traitements cognitifs et ses décisions comportementales. Ce sont ces références internes que nous dénommons ici "attentes sensorielles".

Le décalage entre ces attentes sensorielles et les stimulations apportées par le milieu détermine la direction et l'intensité des réponses affectives de l'enfant. Si ce décalage est nul ou faible, il tendra à engendrer un état affectif positif, lui-même suivi de réponses d'attraction et d'appétence. Plus il est important, plus il aura tendance à entraîner un état négatif engendrant des réponses d'inhibition, d'aversion, voire de détresse.

La présente réflexion se focalise sur les attentes sensorielles du nouveau-né. Elle vise à tenter de les définir, de les décrire et de les illustrer dans une démarche comparative pour proposer *in fine* quelques implications prometteuses, s'inscrivant en continuité avec la théorie synactive de H. Als (1982) qui a débouché sur une approche de soins de l'enfant né prématurément, qui consiste à ajuster les propriétés de l'environnement physique et social aux attentes sensorielles (approche dite "NIDCAP" pour Neonatal Individualized Developmental Care and Assessment Program; Als, 1992).

LA NOTION D'ATTENTE SENSORIELLE

La proposition avancée jusqu'ici, par nous-mêmes et par d'autres avant nous (cf., par exemple, Haith, 1980; Als, 1995), prédit que les nouveau-nés "attendent" certaines stimulations plus que d'autres, au sens où toutes n'ont pas le même pouvoir d'activation nerveuse, de captation de l'attention, ni la même capacité à engager les apprentissages ou à modeler des préférences, et *in fine* à déclencher les réponses orientées.

Un exemple emprunté au monde animal aide à penser ce phénomène d'attente se manifestant avant même toute exposition directe aux stimulations efficaces. Lorsque l'on place des poussins naïfs nouvellement éclos, avant toute

possibilité d'engager une empreinte visuelle, face à un choix entre une boîte rouge et une poule empaillée, ils manifestent une préférence claire pour la poule (Johnson *et al.*, 1985). L'objet poule qui apparaît plus efficace qu'un objet arbitraire pour évoquer l'approche initiale d'un poussin inexpérimenté, a donc des qualités sensorielles qui d'emblée semblent déterminer ses réponses sélectives d'approche. Dans d'autres situations, cependant, de telles attentes néonatales sont manifestes après exposition aux stimulations. Par exemple, dès l'éclosion, les canetons se dirigent vers un haut-parleur diffusant les vocalisations d'une cane. Mais cette attraction apparemment inconditionnelle dépend en fait de l'exposition *in ovo* aux vocalisations de la cane (Gottlieb, 1981).

Ces décisions d'approche sélective du très jeune organisme révèlent ce que nous dénommons "attentes sensorielles". La notion d'*attente* évoque une disposition psychobiologique immédiate de réception et de traitement de certaines stimulations (ou catégories de stimulations), et l'expression à leur égard de réactions d'orientation positives. Ces boucles fonctionnelles entre stimulations et réponses sont activables dès la naissance (à terme ou prématurée). Elles sont une propriété émergente de l'interaction entre les gènes et l'environnement physique et social créé par la mère, et relèvent d'un continuum de processus biologiques et psychologiques, reposant soit sur l'expression de prédispositions non apprises pouvant être héritées de la lignée phylogénétique, soit sur des phénomènes de plasticité ou d'apprentissage mobilisés dans l'environnement anténatal, soit enfin sur des phénomènes de familiarisation ou d'apprentissage postnatals.

La satisfaction de ces attentes sensorielles entraîne des effets que l'on peut considérer comme "positifs" parce qu'ils vont dans le sens de l'adaptation physiologique et cognitive de l'organisme nouveau-né. Ces effets sont immédiatement objectivables en termes de capture de l'attention, de réduction de la durée et de l'intensité de l'agitation et des cris de détresse, de comportements actifs de recherche sensorielle et des apprentissages qui s'ensuivent, ou encore d'optimisation du fonctionnement du système nerveux autonome (réduction des rythmes cardiaque et respiratoire) et du fonctionnement métabolique, aboutissant à la croissance somatique et au développement sociocognitif normal. Dans certains cas, la satisfaction de telles attentes sensorielles peut faciliter l'apprentissage de stimulations arbitraires associées.

Chez le nouveau-né humain, la palette des stimulations immédiatement positives à la naissance commence à être connue. Ces stimulations ont été explorées dans le domaine de la somesthésie (toucher doux dit "social"; toucher péri- et intra-oral; Field *et al.*, 1986; Blass, 1990), de la kinesthésie (bercement à un rythme donné), de la gustation (goût sucré; Blass et Camp, 2003), de l'olfaction (odeurs amniotique et lactée; Schaal, 2005), de l'audition (bruits physiologiques; voix maternelle; DeCasper & Sigafos, 1983; Hepper *et al.*, 1993) et de la vision (visage humain et maternel, regard yeux-dans-les-yeux; Bushnell, 2001). Ces différentes stimulations, présentées séparément à l'enfant hors des bras de sa mère, entraînent généralement les effets comportementaux et physiologiques "positifs" mentionnés plus haut. Toutefois, lorsque ces stimulations sont combinées, leurs effets psychobiologiques sont encore plus prompts à se manifester et plus durables (comme nous le verrons plus loin).

L'alignement des attentes sensorielles du jeune organisme et des stimulations reçues dans l'environnement maternel est cadré par le régime relationnel mère-nouveau-né. Les différentes attentes néonatales font ainsi partie intégrante de l'histoire naturelle de l'espèce, au même titre que les adaptations morphologiques et physiologiques plus visibles. Globalement, les femelles de mammifères promeuvent la formation d'indices sensoriels prédictibles pour leur progéniture. De tels couplages entre l'environnement sensoriel et les réponses néonatales suivent une séquence relativement invariable chez une espèce donnée. Néanmoins, ils doivent se diversifier rapidement au cours du développement pour répondre au changement des besoins énergétiques et cognitifs du jeune. Ce point souligne que la notion d'*attente sensorielle* est relative et dynamique en fonction de la maturation et de l'expérience, mais sans exclure que des réponses à des stimulations spécifiques puissent être préservées à long terme.

Dans ce qui suit, nous explorerons la validité de la notion d'*attente sensorielle* en nous focalisant sur deux modalités sensorielles – la somesthésie et l'olfaction. Le choix de ces deux modalités se fonde sur le fait qu'elles se différencient précocement sur le plan neuro-anatomique et qu'elles entrent en fonction dès les étapes embryonnaires et fœtales du développement (Lecanuet & Schaal, 1996). Chez les vertébrés, le développement neurocomportemental suit une séquence temporelle relativement fixe où l'organisation de la somesthésie précède celle de la chimiosensorialité (gustation, olfaction), qui elles-mêmes précèdent l'audition et la vision (Gottlieb, 1971). Du fait de cet avènement précoce de la somesthésie et de l'olfaction à un statut fonctionnel compatible avec l'activité sensorielle, ces deux modalités ont plus d'antériorité fonctionnelle, malgré une maturité encore incomplète, dans la structuration perceptive du cerveau et des activités de l'enfant fœtal et néonatal. On peut donc aussi prédire qu'elles sont à l'origine de percepts, d'« images de recherche », liées à des affects positifs, qui fonctionneront par la suite comme des agents de renforcement. Ce sont ces associations entre les premières « représentations » tactiles ou olfactives et les états motivationnels associés qui pourront déterminer des attentes néonatales particulièrement prégnantes.

DES ATTENTES SOMESTHESIQUES

SOMESTHÉSIE (ET KINESTHÉSIE) FŒTALE ET NÉONATALE

Comme mentionné plus haut, les sensibilités cutanées, supportées par plusieurs types de structures mécano-, thermo- et nociceptives, sont les premières à apparaître au cours du développement. Les travaux de Hooker (1969) et Humphrey (1978) montrent clairement qu'à partir de 6-7 semaines de gestation, les connexions des neurones tactiles aux structures centrales sont établies, rendant déjà possible la régulation du comportement fœtal. Par exemple, chez le fœtus *ex utero* l'effleurement ponctuel et peu intense avec un cheveu produit des réponses motrices de flexion ou d'extension quand il est appliqué à partir de 7,5 semaines d'aménorrhée sur les lèvres, de 10 semaines sur la paume, de 10,5 semaines sur la région génitale, puis de 10,5-11 semaines sur la plante

du pied. L'intensité du stimulus nécessaire au déclenchement moteur augmente avec l'âge du fœtus, sans doute en raison de l'élévation des seuils perceptifs liée à l'épaississement progressif de l'épiderme. La progression de la sensation tactile repose sur le développement anatomique des différents types de terminaisons et donne lieu à la perception globale sur l'ensemble du corps, et analytique sur la région périorale et les extrémités. Quoi qu'il en soit de la dynamique relative de maturation des différents canaux tactiles, ils sont tous fonctionnels avant le terme gestationnel.

Le statut de la thermoception cutanée est mal connu *in utero*, mais tout porte à croire qu'elle est parfaitement fonctionnelle en fin de gestation. L'infusion intra-amniotique d'un petit jet d'eau froide (4 °C) au niveau du visage induit en effet une accélération cardiaque chez le fœtus à terme (Timor-Tritsch, 1978). Des données chez l'enfant prématuré confirment la réactivité thermique précoce. Riese (1998) rapporte que des nouveau-nés, prématurés et nés à terme, manifestent des réponses motrices et affectives de même intensité à l'application d'une pièce métallique froide sur la cuisse⁴. La réception au froid est donc établie avant le terme.

Les voies nerveuses médiatrices de la perception de la douleur sont développées au 3^e trimestre de gestation (Anand *et al.*, 1987). Dès cette période, le fœtus manifeste de la sensibilité à la piqûre par des réponses de retrait (Birnholtz, 1988). Parallèlement, il développe aussi la réponse hormonale caractéristique d'un stress (Giannakouloupoulos, 1994). Cette réponse a d'ailleurs le même profil que chez l'enfant plus âgé ou l'adulte mis dans des situations invasives équivalentes. Enfin, la comparaison des réponses manifestées par les nouveau-nés prématurés et les nouveau-nés à terme indique que les prématurés réagissent moins sur le plan comportemental à une même intensité de stimulation nociceptive (Gibbins *et al.*, 2008). Mais ces données sont aussi bien interprétables en termes de seuil plus élevé de nociception chez le prématuré, ou de familiarisation avec l'expérience douloureuse répétée, qu'en termes d'imaturité ou de moindre magnitude des réponses motrices.

LA FORMATION D'ATTENTES TACTILES : ACQUISITIONS PRÉNATALES ET RÉPONSES NÉONATALES

Dans le cocon utérin, on suppose que le fœtus est constamment exposé à des sensations tactiles par les contacts et frottements de son corps contre la paroi amniotique, ainsi que par ses actions sur son propre corps ou le cordon ombilical. On sait qu'il est aussi exposé à des sources variées et nombreuses de stimulations tactiles et kinesthésiques à l'occasion des déplacements maternels actifs (marche, changements posturaux) ou passifs (accélération dans les véhicules ou les ascenseurs, rocking-chair), des contractions utérines, ou de ses mouvements propres (ou de ceux d'un éventuel jumeau).

Les observations échographiques du fœtus de fin de gestation révèlent une activité tactile dirigée vers les parois utérines, le cordon ombilical et lui-même. Nombre de réponses motrices considérées comme réflexes (d'orientation et de

4. Ce mode d'examen ne serait aujourd'hui plus admis par la plupart des comités d'éthique en charge de l'expérimentation humaine.

saisie buccale, de Babkin) sont ainsi rodées in utero par les autostimulations fœtales. On peut présumer que la surface corporelle du fœtus est exposée à un « feedback » tactile qui devient de plus en plus constant et généralisé vers la fin de la gestation, de sorte que les limites externes de l'enveloppe corporelle fœtale correspondent aux limites internes de l'enveloppe utérine. Cette situation de correspondance entre contenant utérin et contenu fœtal a ensuite toutes les chances de faire émerger chez le nouveau-né des attentes de contact cutané généralisé sur la surface corporelle, ou de contacts plus localisés entre ses mains et sa bouche, ou ses mains et l'environnement. Cet encodage des limites pourrait donner lieu aux premières représentations corporelles chez l'enfant fœtal et prématuré, à tout le moins quand il y a double sensation de toucher et être touché.

Par ailleurs, on peut anticiper un *preferendum* pour des températures voisines de celle reçue *in utero*, tant au niveau général, qu'aux niveaux oral et manuel. En faisant varier la température du lait dans le biberon, on a ainsi pu montrer que le nouveau-né tète plus vigoureusement quand le lait est à la température corporelle (Pratt *et al.*, 1930). On peut encore citer que l'agrippement manuel dépend de la température de l'objet: tous les bébés observés par Stirnimann (1936) referment la main sur un tube à 28 °C posé dans leur paume, alors que seulement 50 % d'entre eux le font quand le tube est à 23 °C. En résumé, les applications locales de stimulations froides ou chaudes indiquent que le nouveau-né répond de façon optimale pour des niveaux thermiques proches de la température corporelle.

À la naissance, les modes de contact, surtout le contact généralisé, sont interrompus de façon évidente, ou du moins sont-ils radicalement modifiés en quantité, qualité, et constance. Cette discontinuité entre les écologies tactiles fœtale et néonatale est alors soulignée par de fréquentes occasions d'être touché et de toucher procurées par l'environnement social et physique. Les contacts corps-à-corps prolongés, le portage, l'emballage et l'enveloppement vestimentaire induisent alors les sensations généralisées de contact et de chaleur, alors que les interactions plus utilitaires comme les soins du corps (bain, change) introduisent des variations somesthésiques relativement rapides et intenses. Par ailleurs, le toucher social que supposent l'allaitement et les interactions d'attachement procurent des sensations tactiles générales, mais aussi plus localisées en lien avec les autres entrées sensorielles et les actions haptiques et orales de l'enfant.

Chez les nouveau-nés humains, tout comme chez ceux des autres espèces de mammifères (rat, souris), l'exposition à ces multiples contextes de tactilité influence positivement le développement neurocomportemental et psychosocial (Henry *et al.*, 2009; Meier & Stuart, 1959; Pauk *et al.*, 1986; Meaney *et al.*, 1991; Weiss *et al.*, 2000; Feldman & Eidelman, 2003). Ces effets positifs du toucher peuvent s'observer isolément des autres modalités en situation expérimentale (Schanberg & Field, 1987) mais *in vivo* ils sont plus globaux du fait de leur inévitable association avec les événements kinesthésiques, vestibulaires, visuels, olfactifs et auditifs inhérents à toute interaction sociale. C'est le cas, par exemple, de la situation de contact peau-à-peau, au cours de laquelle l'enfant reste en contact direct et prolongé avec sa mère tout en étant pris dans des échanges multi-sensoriels (Charpak *et al.*, 1996).

PERTURBATION DES ATTENTES TACTILES PÉRINATALES

Alors que le nouveau-né à terme est, dès la naissance, la cible de stimulations somesthésiques riches et variées durant et entre les épisodes d'interaction sociale, l'enfant né prématuré reçoit des stimulations tactiles à la fois plus réduites en quantité et souvent distordues en qualité et en organisation temporelle. Cette altération de l'écologie tactile du prématuré est aussi manifeste en comparaison de ce que recevrait le fœtus de même âge in utero. L'isolement social imposé par l'incubateur exclut, en effet, la palette des sensations somesthésiques et kinesthésiques associées aux gestes les plus ordinaires, comme le contact peau-à-peau, la mise au sein, les caresses prolongées, le portage ou le bain. Ces gestes « maternants » sont remplacés par des actes de soins que l'on peut qualifier de techniques, généralement de nature désagréable ou douloureuse, et ce d'autant plus qu'ils sont généralement découplés des états d'éveil et de réceptivité de l'enfant. Aussi, l'enfant né prématurément est-il non seulement en situation de privation par rapport aux attentes somesthésiques potentiellement construites *in utero*, mais aussi en situation de surcharge en stimulations négatives (Als, 1995).

Les effets de l'isolement social précoce ont été évalués chez divers modèles animaux. Chez le singe, la privation précoce de la présence tactile de congénères, et en particulier l'absence de contact maternel, rend ainsi très difficile l'adaptation ultérieure à l'environnement (Harlow & Zimmermann, 1959; Suomi, 1997), et se traduit par des taux élevés d'hormones de stress et par des retards de développement cérébral (Suchecki *et al.*, 1993). L'expérience somesthésique précoce atypique perturbe en particulier le développement structural et fonctionnel du cortex somatosensoriel, bien qu'un retour plastique à la normale puisse être obtenu dans certains cas (Keller *et al.*, 1996; Huntley, 1997). À *contrario*, chez le rongeur, lorsque la ratte procure des contacts appropriés à ses nouveau-nés, en rapport avec les attentes typiques de l'espèce, on observe chez les jeunes devenus adultes des réponses plus adaptées face à des situations de nouveauté et de stress (Francis *et al.*, 1999).

Toutefois, en matière de stimulation somesthésique, la frontière entre le « pas assez » et le « trop » est vite franchie. Les nouveau-nés prématurés humains ont des difficultés à adapter leurs réponses aux stimuli internes et externes, et les stimulations tactiles peuvent ainsi être à l'origine d'effets négatifs de surcharge sensorielle (Gunnar *et al.*, 1987; Harrison *et al.*, 1990). Notant que le développement sensoriel suit une progression préétablie. Turkewitz et Kenny (1985) ont suggéré que cette progression a pour effet de fractionner l'énergie sensorielle qui atteint le cerveau émergent, limitant ainsi la compétition entre modalités, et, dans les conditions normales de développement, empêchant vraisemblablement la sur-stimulation cérébrale. Dans cette optique, la sous- ou la sur-stimulation précoce du canal tactile chez le nouveau-né prématuré pourrait avoir des effets à retardement sur le développement cognitif, émotionnel et social (Lickliter, 2000). Par exemple, Weiss, Wilson et Morrison (2004) observent que des enfants prématurés exposés à des stimulations tactiles fréquentes de leur mère ont à 1 an des habiletés motrices fines plus développées et une meilleure intégration visuo-motrice par rapport à des enfants moins stimulés. Des résultats analogues ont été obtenus chez des enfants nés

à terme (Streri *et al.*, 1993) et les effets de cette stimulation précoce deviennent plus nets pour des tâches d'apprentissage complexes (Escorihuela *et al.*, 1994). Il faut également noter que, si la rareté du toucher maternel est un facteur important dans les anomalies somesthésiques (4 % de la variance), le nombre d'événements tactiles désagréables ou douloureux reçus pendant la période néonatale est la raison principale de ces retards (28 % de la variance) (Weiss & Wilson, 2006).

DES ATTENTES OLFACTIVES

LA CHIMIORÉCEPTION NASALE DU FŒTUS

La chimioréception nasale résulte de l'activation de plusieurs systèmes sensoriels principaux logés dans les fosses nasales : le système olfactif principal et le système trigéminale, constitué des terminaisons sensibles du nerf trijumeau qui affleurent dans la muqueuse respiratoire. On considère habituellement que les stimulations de très faible intensité sont détectées par le système olfactif, et que les stimulations intenses – à composante tactile (par exemple, la fraîcheur du menthol) ou douloureuse (par exemple, le piquant de l'ammoniac) – activent les récepteurs trigéminaux (Pour des revues détaillées sur le développement de la chimioréception, cf. Schaal *et al.*, 1995, 2004).

Des études effectuées chez divers modèles animaux ont clairement établi les capacités fœtales de détection d'odorants en solution (Schaal & Orgeur, 1992). Chez le fœtus humain, la démonstration directe de l'olfaction fœtale est difficile, mais l'observation de nouveau-nés prématurés indique une réactivité olfactive à partir de 6 mois d'âge gestationnel. Instable avant 7 mois, cette réactivité se stabilise au cours des deux derniers mois de gestation pour ne pas différer de celle de nouveau-nés à terme au cours du 9^e mois. Ainsi, pour l'odorant « menthe », un stimulus activateur des récepteurs olfactifs aussi bien que trigéminaux, on note une progression de la fréquence des sujets répondants en fonction de l'âge gestationnel : 6 % à moins de 29 semaines, 73 % à 29-32 semaines et 100 % à 32-36 semaines (Sarnat, 1978). Dès 2 mois avant le terme de gestation, l'enfant né prématurément est ainsi en mesure de détecter des stimulations odorantes relativement intenses. Au cours de cette même période de fin de gestation, il réagit différemment à des qualités odorantes distinctes (Pihet *et al.*, 1997 ; Marlier *et al.*, 2001 ; Goubet *et al.*, 2002).

Tout laisse penser que l'olfaction est active *in utero* dans le cours normal des interactions entre le fœtus et sa bulle amniotique. Les comportements fœtaux de déglutition/régurgitation et d'inhalation/expiration contribuent à renouveler la fraction du fluide amniotique qui baigne les cavités orale et nasales, de telle sorte que les chimiorécepteurs sont exposés à la large palette de substances véhiculées par le liquide amniotique (Schaal *et al.*, 1995b). L'écologie des flaveurs amniotiques fluctue au gré des variations physiologiques de la gestation (la perméabilité placentaire augmente avec l'avancement de la gestation), auxquelles se surimposent des variations quotidiennes qui reflètent le rythme des prises alimentaires maternelles et des mictions fœtales. Chez la femme, le transfert materno-fœtal d'arômes a été montré pour

des arômes variés (ail, cumin, fenugrec, curry, carotte, fromage, chocolat, alcool ou fumée de tabac ; Schaal, 2005). Ces odorants sont transférés plus ou moins rapidement selon leurs propriétés physico-chimiques. Par exemple, certains composés du cumin sont détectables dans l'urine fœtale 30 minutes après leur injection intraveineuse (chez la brebis ; Schaal, 2005). Mais d'autres composés comme la nicotine ou l'alcool ont des temps de passage transplacentaire de quelques minutes. L'enfant fœtal devrait ainsi être en mesure d'associer la survenue d'un flux chimiosensoriel avec d'autres stimulations induites par le comportement maternel.

LA FORMATION DES ATTENTES OLFACTIVES : ACQUISITIONS PRÉNATALES ET RÉPONSES NÉONATALES

Les arguments décisifs en faveur de l'aptitude du fœtus humain à acquérir des odeurs proviennent d'études sur les réponses du nouveau-né à des stimulations reçues *in utero*. À l'aide d'un test de choix olfactif, on a pu montrer que le nouveau-né de 3 jours s'oriente préférentiellement vers l'odeur de tout liquide amniotique humain que vers un témoin d'eau (Schaal *et al.*, 1995a). Lorsque l'enfant est confronté à un choix entre son liquide amniotique et un liquide amniotique non familier, il s'oriente plus longuement vers le premier (Schaal *et al.*, 1998). Cette discrimination révèle que le fœtus a traité et mémorisé les caractéristiques individuelles de son milieu prénatal, et qu'il est capable de les retenir pour les reconnaître après la naissance.

Sur quels odorants amniotiques repose cette différenciation ? On a examiné si un arôme, introduit *in utero* en fin de gestation par l'alimentation maternelle, est susceptible de modifier les réponses à cette odeur chez le nouveau-né. Par exemple, les réponses olfactives d'enfants de mères ayant, ou non, ingéré de l'anis pendant les deux dernières semaines de grossesse ont été mesurées au cours des 4 premiers jours postnatals (Schaal *et al.*, 2000). Les enfants nés de mères consommatrices d'anis manifestent une préférence pour cette odeur comparée à un témoin inodore, contrairement aux nouveau-nés jamais exposés à l'anis *in utero*. De même, on a montré la relation entre la fréquence de consommation d'alcool par la mère enceinte et l'augmentation de l'activité motrice chez des nouveau-nés de 1-2 jours réexposés à l'odeur d'alcool (Faas *et al.*, 2000). La transmission maternelle de traces olfactives et l'aptitude de l'enfant fœtal à les apprendre est l'un des mécanismes de construction des attentes olfactives. De telles attentes acquises *in utero* trouvent une illustration extrême dans le syndrome de dépendance que les pédiatres connaissent bien chez les nouveau-nés de mères consommatrices d'alcool, tabac ou autres drogues durant la gestation (Sweet, 1982).

L'odeur du lait humain paraît avoir pour le nouveau-né humain un statut sensoriel et hédonique particulier. Qu'il soit ou non de la mère de l'enfant, il déclenche des comportements d'attraction insistants, des actions appétitives (suction) soutenues (Marlier & Schaal, 2005), y compris chez l'enfant prématuré (Bingham *et al.*, 2003). De plus, il a des effets apaisants (Rattaz *et al.*, 2005). Ces réponses d'appétence pour le lait humain sont aussi observées chez des nouveau-nés qui n'y ont jamais été exposés (nourris au lait artificiel depuis la naissance ou nés prématurément). Les causes d'une telle appétence

inconditionnelle pour l'odeur du lait de l'espèce restent à découvrir. Elles pourraient reposer sur l'attraction prédisposée pour un facteur odorant du lait commun à toutes les mères humaines (Doucet *et al.*, 2009), ce qui a été mis en évidence chez d'autres espèces animales (Schaal *et al.*, 2003), tout comme elles pourraient être liées à une ressemblance chimique entre le liquide amniotique et le lait (Schaal, 2005).

Cette continuité entre les propriétés chimiosensorielles du liquide amniotique et du lait a été montrée d'abord en se fondant sur les réponses néonatales d'appétence. Des nouveau-nés (âgés de quelques heures à 2 jours) confrontés aux odeurs de leur liquide amniotique et du colostrum maternel orientent leur nez autant vers l'une que vers l'autre (Marlier *et al.*, 1998a), suggérant que les deux sources odorantes auraient ainsi une valeur hédonique positive similaire ou partageraient des éléments chimiosensoriels communs. Une autre expérience révèle que des nouveau-nés nourris au lait artificiel sont autant attirés par l'odeur du lait humain à laquelle ils n'ont pourtant jamais été exposés *ex utero* que par celle de leur formule lactée familière, qui les a rassasiés depuis la naissance. L'odeur du lait humain est cependant plus efficace qu'une formule lactée non spécifique pour engendrer des réponses appétitives, et cet effet n'est pas effacé par l'exposition au lait artificiel (Marlier & Schaal, 2005). Autrement dit, dans le répertoire des attentes olfactives du nouveau-né, l'odeur du lait de l'espèce semble avoir une position privilégiée.

PERTURBATION DES ATTENTES OLFACTIVES PÉRINATALES

L'importance des attentes olfactives dans l'organisation des premières réponses adaptatives est soulignée par les effets de leur perturbation. L'impact d'une violation expérimentale de l'attente néonatale dérivée de l'exposition olfactive fœtale est à présent bien connu chez les nouveau-nés de mammifères non humains (Schaal, 2005). Mentionnons, par exemple, la perturbation des premières prises lactées de lapereaux mis en adoption auprès de femelles ayant un régime alimentaire différent de celui de leur mère (Coureaud *et al.*, 2002). Des lapereaux nés de mères alimentées au cumin durant la gestation et mis en adoption auprès de femelles recevant soit le même régime, soit un régime sans cumin manifestent des comportements contrastés. Leur performance de tétée est perturbée dans le cas où ils sont exposés à une discontinuité périnatale de l'odeur de cumin.

Nous disposons aussi d'un modèle humain d'interruption des attentes olfactives fœtales dans la pratique du nourrissage à l'aide de formules lactées d'origine non humaine. Les enfants nourris au sein et au biberon peuvent être considérés comme étant exposés respectivement à des aliments alignés ou non sur les attentes dérivées de la vie fœtale. Comme nous l'avons vu plus haut, les enfants nourris au sein sont également attirés par l'odeur de leur liquide amniotique et par celle du colostrum maternel avant le troisième jour. Mais à partir du quatrième jour, ils s'orientent alors majoritairement vers l'odeur du lait (Marlier *et al.*, 1998a). Dans un test comparable opposant l'odeur amniotique et celle de la formule lactée familière, les enfants nourris au biberon manifestent à l'âge de 2 jours une réponse d'orientation préférentielle vers l'odeur prénatale qui est maintenue à l'âge de 4 jours (Marlier *et al.*, 1998b). En somme, les enfants

nourris au sein développent rapidement une préférence pour l'odeur post-natale (le lait humain), alors que ceux nourris avec des formules lactées continuent à préférer l'odeur prénatale. A l'heure actuelle, cette différence entre les deux groupes d'enfants reste inexpliquée. Il n'est pas à exclure qu'une transition progressive entre deux environnements porteurs d'éléments sensoriels communs pourrait engager des réponses mieux adaptées chez le jeune organisme qu'une transition brusque entre deux environnements trop radicalement dissemblables.

Les résultats ci-dessus révèlent des attentes olfactives dérivées de l'expérience pré- et périnatale. L'expérience directe de contextes variés pourra continuer ensuite à élargir la palette des attentes olfactives néonatales. La variabilité du contexte de ces acquisitions, aussi bien que celle des odorants qui y sont associés, atteste de la plasticité de la construction des attentes sensorielles. Par exemple l'association d'odorants avec la tétée au sein (Schleidt & Genzel, 1990; Mennella *et al.*, 2001; Delaunay-El Allam *et al.*, 2006; Goubet *et al.*, 2007) ou avec un épisode de massage (Sullivan *et al.*, 1991), pourront déterminer l'établissement d'une préférence ultérieure, stable pour des périodes de plusieurs mois ou années (Delaunay-El Allam *et al.*, 2010). Mais, ces acquisitions nouvelles n'effacent pas immédiatement les attentes préexistantes, suggérant l'existence d'une hiérarchie temporaire dans les attentes sensorielles. Ainsi, l'odeur du lait humain semble prévaloir sur une odeur artificielle acquise dans le contexte de tétée entre le 1^{er} et le 3^e jour (Delaunay-El Allam *et al.*, 2006).

ACCORDS ET DÉSACCORDS ENTRE LES ATTENTES SENSORIELLES DES ENFANTS PRÉMATURÉS ET LEUR ENVIRONNEMENT SUBSTITUTIF DE DÉVELOPPEMENT

De nombreuses pratiques de soins conduisent à exposer les enfants à des conditions qui sont plus ou moins éloignées des attentes sensorielles prédisposées ou acquises dans les périodes antérieures de développement. Quelques-unes des situations qui vont à l'encontre de telles attentes sensorielles sont considérées dans ce qui suit.

SÉPARATION SOCIALE ET ENVIRONNEMENTS SUBSTITUTIFS

La situation la plus évidente de discordance entre attentes psychobiologiques de l'organisme néonatal et nécessité médicale est celle des nouveau-nés prématurés placés en incubateur artificiel. Ceux-ci se développent pendant plusieurs semaines dans un environnement dont les propriétés sensorielles et bio-rythmiques contrastent de façon marquée avec celles de l'environnement utérin. Cette écologie de substitution leur procure un éclairage plus ou moins continu⁵ selon les pratiques locales, des stimulations sonores et vibratoires

5. Les soins de développement en cours dans les unités de néonatalogie, avec des variations locales, tendent toutefois à limiter l'entrée directe de l'éclairage naturel ou artificiel dans l'incubateur.

(climatisation de l'incubateur, alarmes), des activations tactiles et kinesthésiques à la fois intenses et imprévisibles, des stimulations nociceptives répétées par la nécessité du suivi médical et l'alimentation artificielle (pose de sondes naso-gastriques, -trachéales), et enfin une atmosphère olfactive où se mêlent des éléments propres à l'enfant et nombre de stimulations en principe non familières (désinfectants, détergents). Toutes ces stimulations sensorielles ont en commun de ne pas reproduire celles que recevrait le "foetus intra-utérin" d'âge gestationnel équivalent, tant en termes d'intensité et de qualité, qu'en terme de rythme et de coordination temporelle avec les états de vigilance de l'enfant (Gottfried *et al.*, 1981 ; Warren, 2002 ; Vergara & Bigsby, 2004).

L'influence à long terme de ces conditions d'environnement atypique est mal connue chez l'enfant humain. Toutefois, de nombreuses données animales révèlent que l'exposition à des stimulations atypiques en qualité, en intensité, en fréquence ou en répartition temporelle, a des effets sur le développement des aptitudes perceptives et comportementales (Kenny & Turkewitz, 1986 ; Radell & Gottlieb, 1992 ; Sleight & Lickliter, 1995).

Nombre d'études ont visé à compenser ou à corriger l'environnement de l'incubateur en en modifiant les propriétés sensorielles, avec un intérêt particulier pour la somesthésie, la kinesthésie, l'audition et, plus récemment, l'olfaction. Par exemple, l'application de stimulations tactiles et kinesthésiques sous forme de massages favorise le gain pondéral (Ferber *et al.*, 2002 ; Field *et al.*, 2006), l'atténuation des manifestations psychobiologiques du stress, et l'expression plus organisée des réponses motrices (Hernandez-Reif *et al.*, 2007 ; Scafidi & Field, 1996).

La compétence olfactive étant exprimée dans l'environnement foetal normal, il n'y a aucune raison de croire qu'il n'en irait pas de même chez le foetus déposé dans son environnement substitutif. Le nouveau-né prématuré est, en effet, sensible aux stimulations olfactives ou trigéminales présentées de façon ponctuelle (Sarnat, 1978 ; Pihet *et al.*, 1996, 1997 ; Goubet *et al.*, 2002 ; Marlier *et al.*, 2001 ; Bartocci *et al.*, 2001 ; Schaal, Hummel & Soussignan, 2004) et, de fait, cette modalité sensorielle devrait être mieux prise en compte dans la gestion quotidienne de l'environnement néonatal. L'impact positif de l'olfaction sur l'adaptation de l'enfant prématuré est mis en évidence par une première étude qui a caractérisé les réponses d'enfants de 35 semaines à un odorant artificiel (citron) (Garcia & White-Traut, 1993). Cette étude visait à comparer l'efficacité de l'odeur et d'une stimulation tactile pour mettre fin à un épisode d'apnée. L'odorant s'est révélé plus efficace que le stimulus tactile quant à la latence de récupération d'un rythme normal de respiration. De plus, le stimulus olfactif s'est montré avantageux par rapport au stimulus tactile par le fait qu'il restitue la respiration sans changement apparent de l'état d'activation de l'enfant, et donc sans interférence avec les mécanismes de conservation de l'énergie. Cet effet activateur de l'olfaction sur la levée des apnées a aussi été suggéré avec l'odeur de vanille qui réduirait l'incidence des apnées chez des enfants prématurés de 26-30 semaines (Marlier, Gaugler & Messer, 2005).

Nous ne connaissons pas à ce jour d'étude qui ait examiné les effets physiologiques ou comportementaux de l'application de mélanges odorants d'origine foetale ou maternelle chez l'enfant prématuré. Toutefois des travaux chez des nouveau-nés non humains (rats) délivrés prématurément montrent que

l'odeur amniotique peut avoir une importance cruciale dans l'adaptation post-natale (Smotherman *et al.*, 1987). Dans le cas de l'enfant humain, on sait que le fait de le sortir de l'incubateur pour le mettre en contact physique avec le corps maternel, comme le préconise la méthode "kangourou", se révèle bénéfique sur nombre de variables psychobiologiques. Cette "simple" action favorise des états physiologiques (stabilisation du rythme cardiaque, réduction des apnées, optimisation de l'oxygénation et de la température centrale et cutanée) et comportementaux qui optimisent la croissance (réduction des pertes énergétiques, gain de poids) et les rythmes (augmentation des périodes d'éveil calme ; Anderson, 1999 ; Conde-Agudelo & Belizán, 2003 ; Feldman & Eidelman, 2003). Ces effets compensatoires positifs reposeraient sur une continuité sensorielle transnatale que cette pratique restaure en apportant un ensemble de stimulations multimodales, non seulement alignées sur les attentes foetales-néonatales, mais aussi coordonnées de façon optimale avec les systèmes d'action et de récompense. Le portage kangourou a été mis en œuvre à différents délais postnatals et pendant des durées quotidiennes variables (Anderson, 1991). Dans certains cas, des enfants prématurés à haut risque (25-30 semaines et de très petit poids de naissance) ont pu être mis en contact avec le corps maternel tout en restant reliés au dispositif d'alimentation (Als, 1982). Mais la disponibilité de la mère n'étant pas constante (tant du fait des parents que du fait des contraintes imposées par les conceptions médicales actuelles), il convient de rechercher des moyens permettant de prolonger en son absence les effets bénéfiques des stimulations apportées lors du contact avec le corps maternel de nature tactile, vestibulaire, visuelle, olfactive ou auditive.

Les composantes sensorielles actives de la mère, de l'environnement ou de l'enfant lui-même ont fait l'objet de peu d'études expérimentales chez l'enfant prématuré. On peut citer les stimulations vestibulo-kinesthésiques rythmiques calquées sur celles reçues *in utero* (Korner *et al.*, 1983) et la voix maternelle (Bozette, 2008). La recherche active, autorégulée, de stimulations tactiles a été observée sous forme de contact du corps ou des mains avec les parois de l'incubateur (Newman, 1981) et avec un objet de peluche déposé dans l'incubateur (Thoman & Ingersoll, 1993). Pouvant être facilement recueillies sur un objet "transitionnel", différentes odeurs maternelles pourraient être restituées à l'enfant pendant les périodes de séparation. Chez le nouveau-né à terme, on sait que l'odeur du liquide amniotique a des propriétés de modulation des réponses d'attention et d'orientation (Schaal *et al.*, 1995a) et tend à réduire les états d'activation élevée immédiatement après la naissance (Varendi *et al.*, 1998). De même, les odeurs du sein et du lait humain déclenchent des réponses d'orientation et d'activation de la motricité orale chez le nouveau-né à terme (Schaal *et al.*, 1980 ; Sullivan & Toubas, 1998), tout comme chez l'enfant prématuré (Mellier *et al.*, 1997 ; Goubet *et al.*, 2003).

TRANSITIONS DE L'ALIMENTATION NON-ORALE À L'ALIMENTATION ORALE

Les enfants prématurés nés avant l'âge gestationnel de 35 semaines et qui présentent un poids de naissance trop faible, une succion peu endurante et une

coordination imparfaite des fonctions oro-respiratoires, sont généralement alimentés par des voies non orales. Ces modes d'alimentation peuvent se prolonger sur de longues périodes, allant de quelques semaines à quelques mois. Ces enfants sont de ce fait désavantagés pour l'exécution d'activités sensorimotrices essentielles à la prise alimentaire. Ce désavantage peut agir au moins de trois façons non exclusives.

Premièrement, le court-circuitage de la phase orale de la prise alimentaire prive l'organisme des conditions qui ont favorisé l'acquisition de la succion dans l'environnement utérin. On note en effet que les enfants prématurés nourris par des voies non-orales manifestent une performance de succion à la fois moins efficace et plus instable que leurs pairs nourris par voie orale (Hack *et al.*, 1985). Le fait de coupler l'alimentation par sonde naso-gastrique avec une possibilité d'exercice de la succion non-nutritive a des répercussions multiples sur l'organisation de la succion elle-même, mais aussi sur les réponses physiologiques du système digestif (Widström *et al.*, 1998), et finalement sur le développement pondéral de l'enfant (Measel, Anderson, 1979; Field *et al.*, 1982).

L'association de stimulations chimiosensorielles avec l'infusion intra-gastrique de l'aliment a été proposée à plusieurs reprises dans le but de stimuler régulièrement l'exercice de la succion non-nutritive (Als, 1982; Chaze, Ludington-Hoe, 1984). L'observation d'un cas unique (prématuré né à 31 semaines gestationnelles, poids de naissance 1 750 g, testé au jour postnatal 17) indique l'apparition progressive de la succion non nutritive en réponse à l'odeur du lait de la mère, et sa stabilisation au cours d'une période de 14 jours (Meza *et al.*, 1998). Cette propriété stimulante des activités orales par l'odeur du lait humain a été mieux caractérisée récemment dans deux études qui indiquent, d'une part, une intensification de la succion (par comparaison à une formule lactée; Bingham *et al.*, 2003) et, d'autre part, une augmentation de la consommation de lait (Raimbault *et al.*, 2007).

Deuxièmement, chez les enfants nourris par sonde naso-gastrique ou par gastrostomie, l'expérience ingestive est déconnectée des chimio-stimulations orales et nasales véhiculées par l'aliment. Outre qu'ils sont ainsi privés de toute occasion de sentir (par l'odeur et le toucher) et de goûter l'aliment, ces enfants sont empêchés d'associer la réplétion gastrique aux entrées chimiosensorielles et texturales, et donc d'enregistrer les odeurs et les saveurs comme indices d'anticipation des événements post-ingestifs. De ce fait, ils manifestent souvent des difficultés de transition entre l'alimentation passive par sonde et la prise de lait active au biberon ou au sein (Geertsma *et al.*, 1985).

Ce découplage entre les propriétés organoleptiques de l'aliment, l'hédonisme ingestif et les conséquences post-ingestives devrait pouvoir être résolu en introduisant un signal odorant ou sapide (ou les deux) au cours de l'alimentation non-orale. L'acquisition rapide de l'association entre un odorant et la prise lactée au sein ou au biberon a été démontrée chez le nouveau-né à terme (Schleidt, Genzel, 1990; Delaunay-El Allam *et al.*, 2006), et la seule présentation de l'odeur provoque ensuite des réponses orales anticipatoires (Sullivan, Toubas, 1998). Ces résultats apportent de solides arguments en faveur de la réalisation d'un test expérimental de même nature chez l'enfant prématuré. On peut penser aussi qu'un odorant régulièrement associé avec la succion dès le début de l'alimentation passive pourrait permettre de maintenir la motricité orale

en cas de nourrissage non oral prolongé, et faciliter ainsi la transition future vers l'alimentation active. Cette transition, très lente chez certains sujets, est généralement réalisée en 30 jours, et le seul exercice de la succion non nutritive (par introduction d'une tétine) au cours de l'alimentation passive accélère de 3 à 6 jours l'acquisition de la prise orale (Measel & Anderson, 1979; Field *et al.*, 1982). Le couplage de la succion non nutritive à un odorant pourrait accélérer encore cette évolution en fournissant d'autres indices sensoriels annonciateurs des effets positifs de la satiété. Des données préliminaires vont dans ce sens. L'exposition de nouveau-nés prématurés (35 semaines d'âge post-conceptionnel) à l'odeur du lait de leur mère pendant 5 jours, juste avant une tentative d'allaitement, a pour effet de stimuler l'activité orale, d'engager des épisodes de succion plus durables et, *in fine*, de favoriser une prise lactée plus abondante, et une sortie plus rapide du service de néonatalogie (Raimbault *et al.*, 2007). En outre, si l'on associe l'odeur du lait, stimulations tactiles péri- et intra-orales et posture adéquate à la déglutition de l'enfant, un tel protocole permet de réduire d'autant plus la période de transition entre alimentation passive et active et la durée totale d'hospitalisation (Pfister *et al.*, 2008).

Finalement, une gestion des odeurs conçue en fonction des attentes (prédéterminées ou acquises) de l'enfant pourrait favoriser la transition entre alimentation passive et active, entre modes d'allaitement (sein ou biberon), ou encore entre alimentation lactée et alimentation non lactée au moment du sevrage. La mère allaitante transmet à l'enfant une palette d'arômes par l'intermédiaire de son lait, et les enfants répondent effectivement à ces arômes en modulant leur réponse ingestive (Mennella & Beauchamp, 1991; Schaal, 2005). Cette information reçue à travers le lait maternel est utilisable pour familiariser l'enfant à certains arômes avant de les présenter hors du contexte de la tétée, sous forme d'aliments liquides ou solides. Une telle approche a été évaluée auprès d'enfants en cours de sevrage : des céréales mélangées avec du lait maternel sont préférées à des céréales imbibées d'eau (Mennella & Beauchamp, 1997). De même, l'acceptation de céréales à l'âge de 5-6 mois est favorisée par simple ajout d'une saveur, comme celle de carotte, rencontrée régulièrement soit en fin de gestation, soit en début d'allaitement (Mennella *et al.*, 2001). Enfin, il a récemment été montré qu'une odeur acquise au sein maternel peut être retenue pendant au moins 18 mois et influencer les réponses préférentielles de l'enfant (Delaunay-El Allam *et al.*, 2010). Une telle influence à long terme d'odeurs acquises très précocement pourrait aussi être utilisée pour pallier certains cas de malnutrition ou pour inverser la résistance à l'alimentation orale que l'on note souvent chez des enfants longtemps nourris par des voies non orales (par gastrostomie; Senez & Schaal, 2009).

GESTION DE LA DOULEUR

Nous avons vu plus haut que la perception de la douleur est fonctionnelle avant même la naissance (Anand & Hickey, 1987; Anand & Carr, 1989). De plus, il est établi que le nouveau-né prématuré a une sensibilité exacerbée à la douleur par rapport à celle d'enfants nés à terme (Fitzgerald *et al.*, 1989; Andrews & Fitzgerald, 1994). Les réflexes cutanés défensifs ont un seuil bas jusqu'à 29-35 semaines après conception (Fitzgerald, 2005). La réactivité douloureuse chez l'enfant de petit poids ou prématuré est globale au départ,

mobilisant tout le corps et les segments, et se différencie progressivement pour finalement n'inclure que des réponses locales. En outre, le nouveau-né souffrant montre des signes clairs de détresse comportementale (émotions faciales, pleurs) et physiologique (accélération cardiaque, baisse de l'oxygène transcutané, augmentation de la tension artérielle et de la pression intracrânienne, élévation des endorphines et des catécholamines; Long *et al.*, 1980; Grunau & Craig, 1987; Johnston *et al.*, 1995; Craig *et al.*, 1993). En somme, l'expérience périnatale du prématuré s'étend dans le champ douloureux, et ce d'autant plus que la prématurité est importante.

Il s'agit donc, pour l'enfant prématuré, de s'adapter à ces « assauts » nociceptifs répétés, dont il garde pourtant une mémoire persistante. Ces épisodes douloureux provoquent des états d'excitation prolongée modifiant à long terme la sensibilité à la douleur (Grunau *et al.*, 2006; Fitzgerald, 2005). Ils pourraient aussi se répercuter au niveau cérébral, tant au plan anatomique (Anand & Scalzo, 2000; Grunau, 2002) que fonctionnel (Grunau *et al.*, 2004). Les effets à long terme du vécu douloureux précoce ne sont pas toujours aisés à déterminer, car si la douleur génère un état de stress, le stress n'est pas forcément lié à la douleur. Par exemple, après un événement douloureux, l'enfant peut répondre de manière exacerbée lors de manipulations de routine a priori peu douloureuses (Porter *et al.*, 1999). Tout se passe comme si l'enfant était sensibilisé au niveau tactile, de sorte qu'une procédure banale (tel un changement de couche) peut enclencher des réponses physiologiques et comportementales plus importantes qu'une prise de sang (Hellerud & Storm, 2002; Holsti *et al.*, 2005). En plus d'une hypersensibilité somesthésique générale, l'enfant présente une difficulté à s'autoréguler après une procédure douloureuse, manifestant un long délai avant de s'apaiser (jusqu'à 18 minutes après une prise de sang; Morison *et al.*, 2003).

Les effets négatifs de la douleur engagent l'apprentissage de réponses défensives. D'une façon générale, le nouveau-né prématuré acquiert rapidement les régularités de son environnement. Dans le cas d'événements tactiles non douloureux, comme dans l'étude de Thoman et Ingersoll (1993) mentionnée plus haut, des enfants de 32-35 semaines d'âge gestationnel en couveuse se sont progressivement rapprochés d'un ours en peluche qui respire c'est-à-dire actionné d'un mouvement de respiration. Après 15 jours passés en présence de l'ours, ces nouveau-nés ont recherché le contact renforçant de l'objet, manifestant leur réceptivité de l'environnement proche et leur aptitude à approcher activement une cible tactile. Dans le contexte du toucher douloureux, des cas similaires d'apprentissage sont notés, mais dans le sens d'un évitement de l'expérience douloureuse. Par exemple, suite à des prises de sang répétées, on enregistre des réactions physiologiques et/ou motrices des nouveau-nés avant même tout geste invasif, indiquant une anticipation et une réactivité accrue à la procédure (Taddio *et al.*, 2002; Goubet *et al.*, 2001). Au niveau du cortex somatosensoriel, une stimulation tactile (désinfection de la peau) annonciatrice d'une prise de sang se traduit par une augmentation du flux sanguin cérébral (Bartocci *et al.*, 2006). Cette situation constitue d'ailleurs un contexte efficace d'acquisition multimodale de ce qui entoure la situation douloureuse (odeur du désinfectant, toucher ferme et contention, scène visuelle et auditive, proprioception liée à l'état d'activation maximale, etc.).

Les travaux sur les réponses au toucher douloureux confirment la nécessité d'atténuer la douleur comme une fin en soi, mais aussi pour empêcher la formation de ces boucles d'apprentissage qui conditionnent l'enfant à des réponses exacerbées qui peuvent induire des états de stress chronique. Un éventail de méthodes non pharmacologiques vise à diminuer ou éliminer la douleur iatrogène (Shah *et al.*, 2006). Parmi les plus utilisées et dont l'efficacité est reconnue, on citera l'application orale du goût sucré dont l'effet analgésiant est médiatisé par les endorphines (pour une revue, cf. Stevens *et al.*, 2004). D'autres approches se fondent sur les effets distrayeurs ou renforçants du contexte maternel. Par exemple, des nouveau-nés à terme placés en contact peau-à-peau durant une prise de sang au talon montrent une diminution de 82 % des pleurs et de 65 % des mimiques de douleur par comparaison à des enfants emmaillottés dans leur berceau (Gray *et al.*, 2000). Chez le nouveau-né prématuré, des études récentes montrent également les effets modulateurs du contact peau-à-peau avec une diminution des manifestations physiologiques et comportementales de la douleur (Freire *et al.*, 2008; Johnston *et al.*, 2008). De même, la situation d'allaitement produit un effet calmant remarquable chez le nouveau-né à terme (Gray *et al.*, 2002; Carbajal *et al.*, 2003; Nishitani *et al.*, 2009; Shah *et al.*, 2006). Si ces méthodes ne permettent pas de séparer l'effet du toucher de celui d'autres stimulations, elles ont l'avantage de solliciter les attentes sensorielles multiples du bébé. Dans la situation d'allaitement, l'enfant est non seulement en contact tactile étroit avec la mère qui génère des sensations de contention, de chaleur, et de kinesthésie, mais il reçoit simultanément la flaveur du lait et l'odeur, la voix et le visage de la mère. De même, pour des nouveau-nés prématurés exposés pendant un épisode douloureux à des stimulations multiples mobilisant en même temps la gustation (glucose), le toucher (massages), l'audition et la vision (voix et visage de l'infirmière) et l'olfaction (odeur de l'huile de massage), les scores de douleur (au Premature Infant Pain Profile) sont beaucoup plus bas comparés à ceux de groupes témoins (Bellieni *et al.*, 2001). Cette situation multisensorielle est plus apaisante que la situation dans laquelle le bébé ne reçoit que du glucose sur une tétine (Bellieni *et al.*, 2002).

On peut se demander si l'efficacité de ces méthodes est due à leur globalité ou si certains éléments isolés de la situation pourraient suffire à atténuer le ressenti douloureux, voire induire une analgésie. Lorsque, à l'occasion d'une piqûre au talon, on expose des nouveau-nés à l'odeur du lait maternel (isolément du contexte maternel) ou à celle d'une odeur non maternelle mais familière, la régulation du comportement est meilleure par rapport à celle d'enfants exposés à une odeur non maternelle inconnue ou par rapport à un groupe témoin (Rattaz *et al.*, 2005). De même, lorsque l'odeur présentée pendant le test douloureux a d'abord été associée au contexte maternel, des nouveau-nés emmaillottés montrent peu de réactions de douleurs par rapport à des enfants témoins (Goubet *et al.*, 2007). L'effet apaisant d'une odeur non maternelle familière a également été observé chez des nouveau-nés prématurés (Goubet *et al.*, 2003). Dans tous ces cas, l'effet calmant de l'odeur semble basé sur son caractère familier et non sur sa simple présence. La présentation isolée d'une odeur familière favoriserait l'expression de réponses d'autorégulation fondées sur la reconnaissance de cette odeur. Ce n'est en effet que lorsque l'enfant

« connaît » cette odeur que la réponse douloureuse est atténuée ou bloquée. Il semblerait que la présentation de stimulations sensorielles empêche l'impulsion nociceptive de passer en activant les mécanismes de *gate control* qui régulent la transmission douloureuse (Melzack & Wall, 1965; Melzack, 1999). Cependant, tous les canaux sensoriels n'ont pas le même effet, puisque le fait de simplement tenir l'enfant (sans contact peau-à-peau) dans les bras pendant le prélèvement de sang au talon ne semble pas diminuer les réactions à la douleur (expressions faciales, pleurs, rythme cardiaque; Arditi *et al.*, 2006). De même, la voix de la mère entendue pendant une piqûre paraît sans effet notable (Johnston *et al.*, 2007).

Au total, ces études révèlent que, même dans le cas de la douleur, le nouveau-né doit être considéré comme agent de son environnement, porteur de compétences sensorielles et cognitives qui lui permettent non seulement d'anticiper l'évènement douloureux, mais aussi de gérer la situation lorsqu'il est « soutenu » de façon appropriée.

CONCLUSION

La somesthésie et l'olfaction constituent à plus d'un titre des voies intéressantes de modulation des réponses physiologiques et comportementales des enfants qui ont à faire face à des situations pour lesquelles ils n'ont pas été préparés par l'évolution ou par l'expérience antérieure. Le séjour nécessaire des enfants prématurés dans une écologie sensorielle complètement artificielle va de pair avec, d'une part, une séparation d'avec la mère et, d'autre part, avec des soins corporels techniques plutôt que maternants, une alimentation non orale, et des interventions douloureuses répétées.

Tout d'abord, étant parmi les premières modalités sensorielles à entrer en fonction au cours de la vie fœtale, la somesthésie et l'olfaction sont vraisemblablement à l'origine des attentes sensorielles les plus « primaires ». Etant alors en état de capter et de traiter les entrées sensorielles (au moins dès le second et le troisième trimestre de gestation, respectivement), ces deux systèmes contribuent à structurer les chaînes nerveuses qui supportent les systèmes perceptifs et cognitifs correspondants, et à soutenir leur intégration avec les autres modalités émergentes. Par cette activité fonctionnelle indissociable du développement structural des deux systèmes, leurs potentiels de sensibilité, de discrimination, de répertoire mnésique, de sélectivité, et enfin de mobilisation motrice sont, dans une certaine mesure, déjà orientés par l'expérience antérieure. Les tenants de la thèse nativiste, qui fait l'économie du rôle de l'expérience dans la formation des capacités perceptives initiales, parlent plus volontiers d'activités « programmées ».

Par ailleurs, les différents modes du toucher et les odeurs sont facilement conditionnables, ce qui en fait des cibles privilégiées pour le modelage d'attentes sensorielles « secondaires ». Un odorant artificiel auquel on a ainsi transféré une charge émotionnelle positive (par exemple, par association avec le corps maternel, ou avec des épisodes de massages) peut constituer un signal capable de capter l'attention de l'enfant et de le distraire momentanément d'une situation inconfortable ou douloureuse.

Enfin, l'utilisation clinique du toucher et de l'olfaction est une voie potentiellement avantageuse pour impliquer les parents dans les soins de leur enfant qui doit séjourner dans une unité de néonatalogie. Si la culture locale des soins médicaux les y autorise – ce qui est de plus en plus le cas dans les services de néonatalogie les plus avancés, ces modalités sensorielles peuvent constituer les supports de pratiques encourageant les parents à procurer à l'enfant des stimulations qui émanent d'eux-mêmes, qu'ils contrôlent, et qu'ils jugent efficaces parce qu'ils contribuent à les mettre au point et à les doser. Ils peuvent ainsi faire acquérir ou consolider des propriétés sensorielles, tactiles et olfactives, qui sont à la fois typiques de l'espèce humaine, de leur culture, et caractéristiques de leur individualité. A travers les odeurs, ils peuvent aussi déposer auprès de l'enfant dont ils sont séparés un élément de leur identité sensorielle qui reste actif jusqu'à la prochaine rencontre. Par la persistance de telles traces odorantes lors de l'absence maternelle et la compétence de l'enfant à les intégrer, l'olfaction est alors une modalité « transitionnelle » de choix (Schaal *et al.*, 2004).

En somme, tant dans le domaine des interactions sociales que dans celui de l'alimentation et de la gestion de la qualité de vie de l'enfant prématuré, le toucher et les odeurs sont à même de constituer des « solutions d'invariance » à des situations discontinues imposées par des conditions de développement atypique (Als, 1982). L'élaboration et la prise en compte croissante de la notion de « qualité de vie néonatale », en rapport avec les attentes psychobiologiques des prématurés, tout en assurant l'assistance médicale optimale, constitue désormais une tendance forte dans l'évolution des services de néonatalogie en France (Pierrat *et al.*, 2004; Mallet *et al.*, 2007), comme ailleurs (Nyqvist, 2004; Liu *et al.*, 2007; Laudert *et al.*, 2007).

RÉFÉRENCES

- Als, H. (1982). Toward a synactive theory of development: promise for the assessment and support of infant individuality. *Infant Mental Health Journal*, 3, 229-243.
- Als, H. (1992). Individualized, family-focused developmental care for the very low birth-weight preterm infant in the NICU. In Friedman, S.L., Sigman, M.D. (Eds). *Advances in applied developmental psychology* (vol. 6, pp. 341-388). The psychological development of low-birth-weight children. Norwood, N.J.: Ablex Publishing Company.
- Als, H. (1995). The preterm infant: a model for the study of fetal brain expectations. In Lecanuet J.P., Fifer W.P., Krasnegor N.A., Smotherman W.P. (eds.), *Fetal development: a psychobiological perspective* (p. 295-314). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Anand, K.J. & Hickey, P.R. (1987). Pain and its effects in the human neonate and fetus. *New England Journal of Medicine*, 87, 1321-1329.
- Anand, K.J., & Carr, D.B. (1989). The neuroanatomy, neurophysiology, and neurochemistry of pain, stress, and analgesia in newborns and children. *Pediatric Clinics of North America*, 36, 795-822.
- Anand, K.J.S., & Scalzo, F.M. (2000). Can adverse neonatal experiences alter brain development and subsequent behavior. *Biology of the Neonate*, 77, 69-82.
- Anderson, G.C. (1991). Current knowledge about skin-to-skin (kangaroo) care for preterm infants. *Journal of Perinatology*, 11, 216-226.

- Andrews, K., & Fitzgerald, M. (1994). The cutaneous withdrawal reflex in human neonates: sensitization, receptive fields, and the effects of contralateral stimulation. *Pain, 56*, 95-101.
- Arditi, H., Feldman, R., & Eidelman, A.I. (2006). Effects of human contact and vagal regulation on pain reactivity and visual attention in newborns. *Developmental Psychobiology, 48*, 561-573.
- Bartocci, M., Winberg, J., Papendieck, G., Mustica, T., Serra, G., & Lagercrantz, H. (2001). Cerebral hemodynamic response to unpleasant odors in the preterm newborn measured by near-infrared spectroscopy. *Pediatric Research, 50*, 324-330.
- Bartocci, M., Bergqvist, L.L., Lagercrantz, H., & Anand, K.J. (2006). Pain activates cortical areas in the preterm newborn brain. *Pain, 122*, 109-117.
- Bellieni, C.V., Buonocore, G., Nenci, A., Franci, N., Cordelli, D. M., & Bagnoli, F. (2001). Sensorial saturation: an effective analgesic tool for heel-prick in preterm infants: a prospective randomized trial. *Biology of the Neonate, 80*, 15-18.
- Bellieni, C.V., Bagnoli, F., Perrone, S., Nenci, A., Cordelli, D.M., Fusi, M., Ceccarelli, S., & Buonocore, G. (2002). Effect of multisensory stimulation on analgesia in term neonates: a randomized controlled trial. *Pediatric Research, 51*, 460-463.
- Bingham, P.M., Abassi, S., & Sivieri, E. (2003). A pilot study of milk odor effects on non-nutritive sucking by premature infants. *Archives of Pediatric and Adolescent Medicine, 157*, 72-75.
- Birnholz, J.C. (1988). On observing the human fetus. In Smotherman WP & Robinson SR (Eds), *Behavior of the fetus*. Telford, Caldwell, NJ.
- Blass, E.M. (1990). Suckling: determinants, changes, mechanisms, and lasting impressions. *Developmental Psychology, 26*, 520-533.
- Blass, E.M., & Camp, C.A. (2003). Changing determinants in 6- to 12-week-old human infants. *Developmental Psychobiology, 42*, 312-316.
- Bozzette, M. (2008). Healthy preterm infant responses to taped maternal voice. *Journal of Perinatal and Neonatal Nursing, 22*, 307-316.
- Bushnell, I.W.R. (2001). Mother's face recognition in newborn infants: Learning and memory. *Infant Child Development, 10*, 67-74.
- Carbajal, R., Veerapen, S., Couderc, S., Jugie, M., & Ville, Y. (2003). Analgesic effect of breast feeding in term neonates: randomised controlled trial. *British Medical Journal, 326*, 13.
- Charpak, N., Ruiz-Pelaez, J. G., & Figueroa de Calume, Z. (1996). Current knowledge of kangaroo mother intervention. *Current Opinion in Pediatrics, 8*, 108-112.
- Chaze, B.A., & Ludington-Hoe, S.M. (1984). Sensory stimulation in the NICU. *American Journal of Nursing, January*, 68-71.
- Conde-Agudelo, A., & Belizán, J.M. (2003). Kangaroo mother care to reduce morbidity and mortality. *Cochrane Database Of Systematic Reviews, Issue 2*, CD002771.
- Coureaud, G., Schaal, B., Orgeur, P., Hudson, R., & Coudert, P. (2002). Transnatal olfactory continuity in the rabbit: Behavioral evidence and short-term consequence of its disruption. *Developmental Psychobiology, 40*, 372-390.
- Craig, K.D., Whitfield, M.F., Grunau, R.V., Linton, J., & Hadjistavropoulos, H.D. (1993). Pain in the preterm neonate: Behavioural and physiological indices. *Pain, 52*, 287-299.
- DeCasper, A.J., & Sigafos, A.D. (1983). The intrauterine heartbeat: A potent reinforcer for newborns. *Infant Behavior and Development, 6*, 19-25.
- Delaunay-El Allam, M., Marlier, L., & Schaal, B. (2006). Learning at the breast: Preference formation for an artificial scent and its attraction against to odor of maternal milk. *Infant Behavior and Development, 29*, 308-321.
- Delaunay-El Allam, M., Soussignan, R., Patris, B., & Schaal, B., (2010). Long lasting memory for an odor acquired at the mother's breast. *Developmental Science, 13*, 6, 849-863.
- Doucet, S., Soussignan, R., Sagot, P., & Schaal, B. (2009). The secretion of areolar (Montgomery's) glands from lactating women elicits selective, unconditional responses in neonates. *PLoS One, 4*(10): e7579.
- Escorihuela, R.M., Tobeña, A., & Fernández-Teruel, A. (1994). Environmental enrichment reverses the detrimental action of early inconsistent stimulation and increases the beneficial effects of postnatal handling on shuttlebox learning in adult rats. *Behavioral Brain Research, 61*, 169-173.
- Faas, A.E., Sponton, E.D., Moya, P.R., & Molina, J.C. (2000). Differential responsiveness to alcohol odor in human neonates. Effects of maternal consumption during gestation. *Alcohol, 22*, 7-17.
- Feldman, R., & Eidelman, A.I. (2003). Skin-to-skin contact (Kangaroo Care) accelerates autonomic and neurobehavioural maturation in preterm infants. *Developmental Medicine and Child Neurology, 45*, 274-81.
- Ferber, S.G., Kuint, J., Weller, A., Feldman, R., Dollberg, S., Arbel, E., & Kohelet, D. (2002). Massage therapy by mothers and trained professionals enhances weight gain in preterm infants. *Early Human Development, 67*, 37-45.
- Field, T., Ignatoff, E., Stringer, S., Brennan, J., Greenberg, R., Widmayer, S., & Anderson, G.C. (1982). Nonnutritive sucking during tube feedings: effects on preterm neonates in an intensive care unit. *Pediatrics, 70*, 381-384.
- Field, T., Schanberg, S.M., Scafidi, F., Bauer, C.R., Vega-Lahr, N., Garcia, R., Nystrom, J., & Kuhn, C.M. (1986). Tactile/kinesthetic stimulation effects on preterm neonates. *Pediatrics, 77*, 654-658.
- Field, T., Diego, M. A., Hernandez-Reif, M., Deeds, O. & Figueroa, B. (2006). Moderate Versus Light Pressure Massage Therapy Leads to Greater Weight Gain in Preterm Infants. *Infant Behavior and Development, 29*, 574-578.
- Fitzgerald, M., Millard, C., & McIntosh, N. (1989). Cutaneous hypersensitivity following peripheral tissue damage in newborn infants and its reversal with topical anesthesia. *Pain, 39*, 31-36.
- Fitzgerald, M. (2005). The development of nociceptive circuits. *Nature Reviews Neuroscience, 6*, 507-20.
- Francis, D., Diorio, J., Liu, D., & Meaney, M. (1999). Nongenomic transmission across generations of maternal behavior and stress responses in the rat. *Science, 286*, 1155-1158.
- Freire, N. B., Garcia, J.B., & Lamy, Z.C. (2008). Evaluation of analgesic effect of skin-to-skin contact compared to oral glucose in preterm neonates. *Pain, 139*, 28-33.
- Garcia, A.P. & White-Traut, R. (1993). Preterm infants' responses to taste/smell and tactile stimulation during an apneic episode. *Journal of Pediatric Nursing, 8*, 245-252.
- Geerstma, M.A., Hyams, J.S., Pelletier, J.M., & Reiter, S. (1985). Feeding resistance after parenteral hyperalimentation. *American Journal of Diseases in Childhood, 139*, 255-256.
- Giannakouloupoloulos, X., Sepulveda, W., Kourtis, P., Glover, V., & Fisk, N.M. (1994). Fetal plasma cortisol and beta-endorphin response to intrauterine needling. *Lancet, 344*, 77-81.
- Gibbins, S., Stevens, B., McGrath, P. J., Yamada, J., Beyene, J., Breau, L., Camfield, C., Finley, A., Franck, L., Johnston, C., Howlett, A., McKeever, P., O'Brien, K., & Ohlsson, A. (2008). Comparison of pain responses in infants of different gestational ages. *Neonatology, 93*, 10-18.

- Goldson, E. (1999). The environment of the neonatal intensive care unit. In E. Goldson E. (Ed.), *Nurturing the premature infant: Developmental interventions in the neonatal intensive care nursery* (pp. 3-17), NY: Oxford University Press.
- Gottfried, A.W., Wallace-Land, P., & Sherman-Brown, S. (1981). Physical and social environment of newborn infants in special care units. *Science, 214*, 673-675.
- Gottlieb, G. (1971). Ontogenesis of sensory function in birds and mammals. In E Tobach, I Aronson, & E Shaw (Eds.), *The Biopsychology of Development* (pp. 67-128). Academic Press, New York, NY.
- Gottlieb, G. (1981). Development of species identification in ducklings, VIII. *Journal of Comparative & Physiological Psychology, 94*, 579-587.
- Goubet, N., Clifton, R., & Shah, B. (2001). Learning about pain in preterm newborns. *Journal of Developmental and Behavioral Pediatrics, 22*, 418-424.
- Goubet, N., Rattaz, C., Pierrat, V., Alléman, E., Bullinger, A., & Lequien, P. (2002). Olfactory familiarization and discrimination in preterm and full-term newborns. *Infancy, 3*, 53-75.
- Goubet, N., Rattaz, C., Pierrat, V., Bullinger, A., & Lequien, P. (2003). Olfactory experience mediates response to pain in preterm newborns. *Developmental Psychobiology, 42*, 171-180.
- Goubet, N., Strasbaugh, K., & Chesney, J. (2007). Familiarity breeds content? Soothing effect of a familiar odor on full-term newborns. *Journal of Developmental and Behavioral Pediatrics, 28*, 189-194.
- Gray, L., Watt, L., & Blass, E. (2000). Skin to skin contact is analgesic in healthy newborns. *Pediatrics, 105*, e14-e24.
- Gray, L., Miller, L.W., Philipp, B.L., & Blass, E.M. (2002). Breastfeeding is analgesic in healthy newborns. *Pediatrics, 109*, 590-593.
- Grunau, R.V. & Craig, K.D. (1987). Pain expression in neonates: facial action and cry. *Pain, 28*, 395-410.
- Grunau, R.E. (2002). Early pain in preterm infants. A model of long-term effects. *Clinics in Perinatology, 29*, 373-394.
- Grunau, R.E., Weinberg, J., & Whitfield, M.F. (2004). Neonatal procedural pain and preterm infant cortisol response to novelty at 8 months. *Pediatrics, 114*(1), e77-84.
- Grunau, R.E., Holsti, L., & Peters, J.W.B. (2006). Long-term consequences of pain in human neonates. *Seminars in Fetal and Neonatal Medicine, 11*, 268-275.
- Gunnar, M.R., Isensee, J., & Fust, L.S. (1987). Adrenocortical activity and the Brazelton Neonatal Assessment Scale: moderating effects of the newborn's biomedical status. *Child Development, 58*, 1448-1458.
- Hack, M., Easterbrook, M.M., & Robertson, S.S. (1985). Development of sucking rhythm in preterm infants. *Early Human Development, 11*, 133-140.
- Haith, M.M. (1980). *Rules that babies look by*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Harlow, H.F., & Zimmermann, R.R. (1959). Affectional responses in the infant monkey. *Science, 130*, 421-432.
- Harrison, L.L., Leeper, J.D., & Yoon, M. (1990). Effects of early parent touch on preterm infants' heart rates and arterial oxygen saturation levels. *Journal of Advanced Nursing, 15*, 877-885.
- Hellerud, B.C., & Storm, H. (2002). Skin conductance and behaviour during sensory stimulation of preterm and term infants. *Early Human Development, 70*(1-2), 35-46.
- Henry, S., Richard-Yris, M.-A., Tordjman, S., & Hausberger, M. (2009). Neonatal Handling Affects Durably Bonding and Social Development. *PLoS ONE 4*(4): e5216
- Hepper, P.G., Scott, D., & Shahidullah, S. (1993). Newborn and fetal response to maternal voice. *Journal of Reproductive and Infant Psychology, 11*, 147-153.
- Hernandez-Reif, M., Diego, M., & Field, T. (2007). Preterm Infants Show Reduced Stress Behaviors and Activity after 5 days of Massage Therapy. *Infant Behavior and Development, 30*, 557-561.
- Holsti, L., Grunau, R.E., Oberlander, T.F., & Whitfield, M.F. (2005). Prior pain induces heightened motor responses during clustered care in preterm infants in the NICU. *Early Human Development, 81*, 293-302.
- Hooker, D. (1969). Obstetrics and the general practitioner. *British Medical Journal, 4*, 367.
- Humphrey, T., 1978. Functions of the nervous system during prenatal life in Stave U (ed) *Perinatal Physiology*, 651-683, NY: Plenum.
- Huntley, G.W. (1997). Differential effects of abnormal tactile experience on shaping representation patterns in developing and adult motor cortex. *The Journal of Neuroscience, 17*, 9220-9232.
- Johnson, M.H., Bolhuis, J.J., & Horn, G. (1985). Interaction between acquired preferences and developing predispositions during imprinting. *Animal Behavior, 33*, 1000-1006.
- Johnston, C.C., Stevens, B.J., Yang, F., & Horton, L. (1995). Differential response to pain by very premature neonates. *Pain, 61*, 471-479.
- Johnston, C.C., Filion, F., & Nuyt, AM. (2007). Recorded maternal voice for preterm neonates undergoing heel lance. *Advances in Neonatal Care, 7*, 258-266.
- Johnston, C.C., Filion, F., Campbell-Yeo, M., Goulet, C., Bell, L., McNaughton, K., Byron, J., Aita, M., Finley, G.A., & Walker, C.D. (2008). Kangaroo mother care diminishes pain from heel lance in very preterm neonates: a crossover trial. *Pediatrics [BMC Pediatrics]*, 8, 13.
- Keller, A., Weintraub, N.D., & Miyashita, E. (1996). Tactile experience determines the organization of movement representations in rat motor cortex. *NeuroReport, 7*, 2373-2378.
- Kenny, P.A., & Turkewitz, G. (1986). Effects of unusually early visual stimulation on the development of homing behavior in the rat pup. *Developmental Psychobiology, 19*, 57-66.
- Korner, A.F., Schneider, P. & Forrest, T. (1983). Effects of vestibular-proprioceptive stimulation on the neurobehavioral development of preterm infants: a pilot study. *Neuropediatrics, 14*, 170-175.
- Laudert, S., Liu, W.F., Blackinton, S., Perkins, B., Martin, S., Mac-Millan-York, E., & Graven, S. (2007). Implementing potentially better practices to support neurodevelopment of infants in the NICU. *Journal of Perinatology, 27*, S75-S93 .
- Lecanuet, J. P., & Schaal, B. (1996). Fetal sensory competencies. *European Journal of Obstetrics & Gynecology and Reproductive Biology, 68*, 1-23.
- Lickliter, R. (2000). The role of sensory stimulation in perinatal development: Insights from comparative research for care of the high-risk infant. *Journal of Developmental & Behavioral Pediatrics, 21*, 437-447.
- Liu, W.F., Laudert, S., Perkins, B., Mac-Millan-York, E., Martin, S., & Graven, S. (2007). The development of potentially better practices to support neurodevelopment of infants in the NICU. *Journal of Perinatology, 27*, S48-S74.
- Long, J.G., Philip, A.G., & Lucey, J.F. (1980). Excessive handling as a cause of hypoxemia. *Pediatrics, 65*, 203-207.

- Mallet, I., Bomy, H., Govaert, N., Goudal, I., Brasme, C., Dubois, A., Boudringhien, S., & Pierrat, V. (2007). Le peau à peau en médecine néonatale : connaissances et attentes des professionnels de santé dans deux unités de néonatalogie de niveau III. *Archives de Pédiatrie*, 14, 881-886.
- Marlier, L., Gaugler, C., Soussignan, R., Messer, J., & Schaal, B. (2002). *Early discrimination of odor hedonics in preterm newborns*. 15th Biennial Meeting of the European Chemoreception Research Organisation, Erlangen, Allemagne, Juillet 2002.
- Marlier, L., Schaal, B., & Soussignan R. (1998a). Neonatal responsiveness to the odor of amniotic and lacteal fluids: A test of perinatal chemosensory continuity. *Child Development*, 69, 611-623.
- Marlier, L., Schaal, B., & Soussignan, R. (1998b). Does human milk carry odour cues that are especially attractive to newborns: Breast-fed and bottle-fed infants compared. *Developmental Psychobiology*, 33, 377.
- Marlier, L., Schaal, B., Gaugler, C., & Messer, J. (2001). Olfaction in premature newborns: Detection and discrimination abilities two months before gestational term. In A. Marchlewska-Koj, J. Lepri & D. Müller-Schwarze (Eds.), *Chemical Signals in Vertebrates* (Volume 9). Plenum-Klüwer Academic.
- Marlier, L., Gaugler, C., & Messer, J. (2005). Olfactory stimulation prevents apnea in premature newborns. *Pediatrics*, 115, 86-88.
- Marlier, L., & Schaal, B. (2005). Human newborns prefer human milk: Conspecific milk odor is attractive without postnatal exposure. *Child Development*, 76, 155-168.
- Meaney, M.J., Mitchell, J.B., Aitken, D.H., Bhatnagar, S., Bodnoff, S.R., Iny, L.J., & Sarrieau, A. (1991). The effects of neonatal handling on the development of the adrenocortical response to stress: implications for neuropathology and cognitive deficits in later life. *Psychoneuroendocrinology*, 16, 85-103.
- Measel, C.P., & Anderson, G.C. (1979). Nonnutritive sucking during tube feeding: effect on clinical course in premature infants. *The Journal of Obstetric, Gynecologic and Neonatal Nursing*, 8, 265-272.
- Meier, G.W., & Stuart, J.L. (1959). Effects of handling on the physical and behavioral development of Siamese kittens. *Psychological Reports*, 5, 497-501.
- Mellier, D., Bézard, S., & Caston, J. (1997). Etudes exploratoires des relations intersensorielles olfaction-douleur. In B. Schaal (Ed.), *L'odorat chez l'enfant: Perspectives croisées* (numéro thématique). *Enfance*, 43, 98-111.
- Melzack, R., & Wall, P.D. (1965). Pain mechanisms: A new theory. *Science*, 150, 971-978.
- Melzack, R. (1999). From the gate to the neuromatrix. *Pain*, 6, S121-126.
- Mennella, J.A., & Beauchamp, G.K. (1991). Maternal diet alters the sensory qualities of human milk and the nursing's behavior. *The New England Journal of Medicine*, 325, 8-13.
- Mennella, J.A., & Beauchamp, G.K. (1997). Mother's milk enhances the acceptance of cereal during weaning. *Pediatric Research*, 41, 188-192.
- Mennella, J.A., Jagnow, C.P., & Beauchamp, G.K. (2001). Pre- and post-natal flavor learning by human infants. *Pediatrics*, 107, 1-6.
- Meza, V.V., Powell, N.J., & Covington, C. (1998). The influence of olfactory intervention on non-nutritive sucking skills in a premature infant. *Occupational Therapy Journal of Research*, 18, 71-83.
- Morison, S. J., Holsti, L., Grunau, R. E., Whitfield, M. F., Oberlander, T. F., Chan, H. W., & Williams, L. (2003). Are there developmentally distinct motor indicators of pain in preterm infants? *Early Human Development*, 72, 131-146.
- Newman, L.F. (1981). Social and sensory environment of low birth weight infants in a special care nursery. *Journal of Nervous and Mental Disease*, 169, 448-455.
- Nishitani S, Miyamura T, Tagawa M, Sumi M, Takase R, Doi H, Moriuchi H, & Shinohara K. (2009). The calming effect of a maternal breast milk odor on the human newborn infant. *Neuroscience Research*, 63(1), 66-71.
- Nyqvist, K.H. (2004). How can kangaroo mother care and high technology care be compatible. *Journal of Human Lactation*, 20, 72-74.
- Pauk, J., Kuhn, C., Field, T., & Schanberg, S. (1986). Positive effects of tactile versus kinesthetic or vestibular stimulation on neuroendocrine and ODC activity in maternally deprived rat pups. *Life Sciences*, 39, 2081-2087.
- Pfister, R.E., Launoy, V., Vassant, C., Martinet, M., Picard, C., Bianchi, J.E., Berner, M., & Bullinger, A. (2008). Transition de l'alimentation passive à l'alimentation active chez le bébé prématuré. *Enfance*, 60, 317-335.
- Pierrat, V., Bomy, H., Courcel, C. et al. (2004). Le peau à peau dans la prise en charge des nouveau-nés de faible poids de naissance. *Journal de Pédiatrie et de Puériculture*, 17, 351-357.
- Pihet, S., Mellier, D., Bullinger, A., & Schaal, B. (1997). Réponses comportementales aux odeurs chez le nouveau-né prématuré: étude préliminaire. In B. Schaal (Ed.), *L'odorat chez l'enfant: Perspectives croisées*, numéro thématique. *Enfance*, 43, 33-46.
- Pihet, S., Schaal, B., Bullinger, A., & Mellier, D. (1996). An investigation of olfactory responsiveness in premature newborns. *Infant Behavior Development*, ICIS issue: 676.
- Porter, F.L., Wolf, C.M., & Miller, J.P. (1999). Procedural pain in newborn infants: the influence of intensity and development. *Pediatrics*, 104, 1383-1387.
- Pratt, K., Nelson, A. & Sun, K. (1930). *Behavior of the newborn infant*. Ohio State University, Contributions in Psychology.
- Raddel, P.L., & Gottlieb, G.G. (1992). Developmental intersensory interference: augmented prenatal sensory experience interferes with auditory learning in duck embryos. *Developmental Psychology*, 28, 795-803.
- Raimbault, C., Saliba, E., & Porter, R.H. (2007). The effect of the odour of mother's milk on breastfeeding behaviour of premature neonates. *Acta Paediatrica*, 96, 368-371.
- Rattaz, C., Goubet, N. & Bullinger, A. (2005). The calming effect of a familiar odor on full-term newborns. *Journal of Developmental and Behavioral Pediatrics*, 26, 86-92.
- Riese, M. L. (1998). Patterns of reactivity to an aversive tactile stimulus in full-term and preterm infants. *Merrill-Palmer Quarterly*, 44, 97-113.
- Sarnat, H.B. (1978). Olfactory reflexes in the newborn infant. *The Journal of Pediatrics*, 92, 624-626.
- Scafidi, F., & Field, T. (1996). Massage therapy improves behavior in neonates born to HIV positive mothers. *Journal of Pediatric Psychology*, 21, 889-898.
- Schaal, B. (2005). From amnion to colostrum to milk: Odour bridging in early developmental transitions. In B. Hopkins & S. Johnson (Eds.), *Prenatal Development of Postnatal Functions* (pp. 52-102). Westport, CT: Praeger.
- Schaal, B., Montagner, H., Hertling, E., Bolzoni, D., Moyse, A. & Quichon, R. (1980). Les stimulations olfactives dans les relations entre l'enfant et la mère. *Reproduction Nutrition Development*, 20, 843-856.
- Schaal, B., & Orgeur, P. (1992). Olfaction in utero: can the rodent model be generalized? *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 44B, 245-278.
- Schaal, B., Marlier, L. & Soussignan, R. (1995a). Responsiveness to the odour of amniotic fluid in the human neonate. *Biology of the Neonate*, 67, 397-406.

- Schaal, B., Orgeur, P., & Rognon, C., (1995b). Odor sensing in the human fetus: anatomical, functional and chemo-ecological bases. In Lecanuet, J.P., Krasnegor, N.A., Fifer, W.A. & Smotherman, W. (Eds.), *Prenatal Development, A Psychobiological Perspective* (pp. 205-237). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Schaal, B., Marlier, L., & Soussignan, R. (1998). Olfactory function in the human fetus: evidence from selective neonatal responsiveness to the odor of amniotic fluid. *Behavioral Neuroscience*, 112, 1438-1449.
- Schaal, B., Lecanuet, J.P., & Granier-Deferre, C. (1999). Sensory and integrative development in the human fetus and perinate: the usefulness of animal models. In M. Haug & R.E. Whalen (Eds.), *Animal Models of Human Emotion and Cognition* (pp. 119-142). Washington, DC: A.P.A.
- Schaal, B., Marlier, L., & Soussignan, R. (2000). Human foetuses learn odors from their pregnant mother's diet. *Chemical Senses*, 25, 729-737.
- Schaal, B., Coureaud, G., Langlois, D., Giniès, C., Sémon, E., & Perrier, G. (2003). Chemical and behavioural characterization of the rabbit mammary pheromone. *Nature*, 424 (6944), 68-72.
- Schaal, B., Hummel T., & Soussignan, R. (2004). Olfaction in the fetal and premature infant: functional status and clinical implications. *Clinics in Perinatology*, 31, 261-285.
- Schanberg, F., & Field, T. (1987). Sensory deprivation stress and supplemental stimulation in the rat pup and preterm human neonate. *Child Development*, 58, 1431-1447.
- Schleidt, M. & Genzel, C., 1990. The significance of mother's perfume for infants in the first weeks of their life. *Ethology and Sociobiology*, 11, 145-154.
- Senez, C., & Schaal B. (2009). Réactivité chimiosensorielle et alimentation chez l'enfant atteint de handicap. *Médecine et Enfance*.
- Shah, P.S., Aliwalas, L.L., & Shah, V. (2006). *Breastfeeding or breast milk for procedural pain in neonates*. Cochrane Database Of Systematic Reviews, Issue 3, CD004950.
- Sleigh, M.J., & Lickliter, R. (1995). Augmented prenatal visual stimulation alters postnatal auditory and visual responsiveness in bobwhite quail chicks. *Developmental Psychobiology*, 28, 353-366.
- Smotherman, W.P., Robinson, S.R., La Vallée, P.A., & Hennessy, M.B. (1987). Influences of the early olfactory environment on the survival, behavior, and pituitary-adrenal activity of caesarean-delivered preterm rat pups. *Developmental Psychobiology*, 20, 415-423.
- Stevens, B., Yamada, J., & Ohlsson, A. (2004). *Sucrose for analgesia in newborn infants undergoing painful procedures*. Cochrane Database Of Systematic Reviews, Issue 2, CD001069.
- Stirnemann, F. (1936). Le goût et l'odorat du nouveau-né. *Revue Française de Pédiatrie*, 12, 453-485.
- Streri, A., Pownall, T., & Kinglerlee, S. (1993). *Seeing, reaching, touching: The relations between vision and touch in infancy*. Cambridge, MA, US: The MIT Press.
- Succhecki, D., Rosenfeld, P., & Levine, S. (1993). Maternal regulation of the hypothalamic-pituitary-adrenal axis in the infant rat: the roles of feeding and stroking. *Developmental Brain Research*, 75, 185-192.
- Sullivan, R.M., & Toubas, P. (1998). Clinical usefulness of maternal odor in newborns: Soothing and feeding preparatory responses. *Biology of the Neonate*, 74, 402-408.
- Sullivan, R.M., Taborsky, S.B., Mendoza, R., Itano, A., Leon, M., Cotman, CW, & Lott, I. (1991). Olfactory classical conditioning in neonates. *Pediatrics*, 87, 511-517.
- Suomi, S.J. (1997). Early determinants of behavior: evidence from primate studies. *British Medical Bulletin*, 53, 170-184.
- Sweet, A.Y. (1982). Narcotic withdrawal syndrome in the newborn. *Pediatric Review*, 3, 285-291.
- Taddio, A., Shah, V., Gilbert-MacLeod, C., & Katz, J. (2002). Conditioning and hyperalgesia in newborns exposed to repeated heel lances. *Journal of the American Medical Association*, 288, 857-861.
- Timor-Tritsch, I. (1978). The effect of external stimuli on fetal behaviour. *European Journal of Obstetrics and Gynecology and Reproductive Biology*, 21: 321-329.
- Thoman, E.B., & Ingersoll, E.W. (1993). Learning in premature infants. *Developmental Psychology*, 29, 692-700.
- Turkewitz, G., & Kenny, P.A. (1985). The role of developmental limitations of sensory input on sensory/perceptual organization. *Journal of Developmental & Behavioral Pediatrics*, 6, 302-306.
- Varendi, H., Christensson, K., Porter, R.H., & Winberg, J. (1998). Soothing effect of amniotic fluid smell in newborn infants. *Early Human Development*, 51, 47-55.
- Vergara E.R., & Bigsby R. (2004). *Developmental and therapeutic interventions in the NICU*. Baltimore, MD: Brookes publishing.
- Warren, I. (2002). Facilitating infant adaptation: the nursery environment. *Seminars in Neonatology*, 7, 459-467.
- Weiss, S.J., Wilson, P., Hertenstein, M.J., & Campos, R. (2000). The tactile context of a mother's caregiving: Implications for attachment of low birth weight infants. *Infant Behavior and Development*, 23, 91-111.
- Weiss, S.J., Wilson, P., & Morrison, D. (2004). Maternal tactile stimulation and the neurodevelopment of low birth weight Infants. *Infancy*, 5, 85-107.
- Weiss, S. & Wilson, P. (2006). Origins of tactile vulnerability in high risk infants. *Advances in Neonatal Care*, 6(1), 25-36.
- Widström, A.M., Marchini, G., Matthiesen, A.S., Werner, S., Winberg, J., & Uvnäs-Moberg, K., (1998). Nonnutritive sucking in tube-fed preterm infants: effects on gastric motility and gastric content. *Journal of Pediatric Gastroenterology & Nutrition*, 7, 517-523.